

Η ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΩΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΙΟΥ : τεχνικές εφαρμογές & κέρδη ακουστικής άνεσης

Νίκος Κ. Μπάρκας

1. Εισαγωγή

Οι θόρυβοι του περιβάλλοντος προκαλούν σοβαρές ενοχλήσεις, η έκταση και η βαρύτητα των οποίων ποικίλλουν ανάλογα με :

- την απόσταση από την πηγή (συνήθως τον άξονα της κυκλοφορίας),
- τα συχνοτικά χαρακτηριστικά και την διάρκεια της όχλησης (ιδίως την πυκνότητα του κυκλοφοριακού φόρτου),
- τη τοπογραφία και τη πολεοδομική οργάνωση της περιοχής,
- την κοινωνική σύνθεση (κυρίως την προσδοκώμενη άνεση) των κατοίκων.

Στις αστικές περιοχές, εδώ και 50 χρόνια, ο θόρυβος (ανεξαρτήτως σύνθεσης και προέλευσης) ιεραρχείται ως το σημαντικότερο πρόβλημα. Σποραδικά, στη φάση κατασκευής ενός μεγάλου τεχνικού έργου, εμφανίζονται σε ευαίσθητους περιοίκους παθολογικές επιπλοκές (ναυτία, ζάλη, πονοκέφαλος). Συστηματικά όμως, εξαιτίας της νυχτερινής κυκλοφορίας, εντοπίζονται σοβαρές διαταραχές της ψυχικής υγείας ατόμων 1ης και 3ης ηλικίας (νευρικότητα, αϋπνία). [1]

Δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς οι επιπτώσεις των θορύβων του περιβάλλοντος στην ποιότητα ζωής των ημιαστικών και αγροτικών περιοχών. Σε φάση κατασκευής, ένα νέο τεχνικό έργο (δίκτυο ή εγκατάσταση) είναι κοινωνικά ευπρόσδεκτο, ως προϋπόθεση για την ανάπτυξη της περιοχής. Στη συνέχεια, η συσχέτιση των κοινωνικών απολαβών με τις ενδεχόμενες οχλήσεις από τη συστηματική λειτουργία επιφέρουν τη σταδιακή μεταστροφή των, αρχικά θετικών, αντιλήψεων. [2]

Ιδιάζουσα περίπτωση αποτελεί ο θόρυβος των σιδηροδρόμων, μολονότι χαρακτηρίζεται από παρατεταμένες και ισχυρές εκπομπές. Οι σχετικές οχλήσεις θεωρούνται ήπιες (υποφερτές) επειδή, στη συνείδηση των περιοίκων, τα χαρακτηριστικά της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας έχουν περιοδικότητα, η εξέλιξη του βασικού ηχητικού γεγονότος (με εξαίρεση τον πάταγο της διέλευσης από τούνελ) ενεργοποιεί έγκαιρα τους αμυντικούς μηχανισμούς της ακουστικής αίσθησης και κυρίως, το σιδηροδρομικό δίκτυο (στα προάστια των βιομηχανικών πόλεων) αποτελεί μέρος του τοπίου εγκατάστασης. Ωστόσο, η παραπάνω ψυχοακουστική εξοικείωση και ανοχή μεταστρέφεται τάχιστα κατά τις επεκτάσεις του δικτύου ή τις εγκαταστάσεις νέων γραμμών, ιδίως σε περιπτώσεις αυξημένου φόρτου κατά τις ώρες κοινής ησυχίας. [2]

Τέλος, από ακουστικής πλευράς δεν υπάρχουν επαρκείς μελέτες που να συνδέουν τα χαρακτηριστικά ή τις στάθμες των θορύβων του περιβάλλοντος με τον κύκλο ζωής των διαφόρων ειδών της Πανίδας (ειδικά των αγρίων ζώων, ελεύθερων ή σε αιχμαλωσία). Όμως είναι εύλογο πως οι θόρυβοι (οι μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης) επιδρούν καταλυτικά (διευκολύνουν ή επισκιάζουν) στη δυνατότητα επιβίωσης διαφόρων ειδών (προσανατολισμός, διατροφή, ανάπαυση, αναπαραγωγή).

Τα ισχύοντα, μέγιστα ανεκτά όρια θορύβου σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή κέντρα διασκέδασης (με διοικητικές εγκυκλίους ή αστυνομικές διατάξεις) δεν αφορούν την ηχοπροστασία των υπαίθριων δραστηριοτήτων. Υπουργικές διατάξεις σχετικές με τη φάση κατα-

σκευής Τεχνικών Έργων, προσδιορίζουν τις παρακάτω, μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές (σε στατιστικά ισοδύναμες ηχοστάθμες) στα όρια του εργοταξίου :

$-L_{eq}(12) = 50$ ή 65 dB(A), ανάλογα με την επικράτηση οικιστικών ή βιομηχανικών χρήσεων στην περιοχή [3], [4], [5].

Ειδικά για τον κυκλοφοριακό θόρυβο στα νέα συγκοινωνιακά έργα, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή (σε στατιστικά ισοδύναμες ηχοστάθμες) καθορίζεται ως :

$-L_{10}(18) = 67$ dB(A), του βρετανικού δείκτη 18ωρου (6πμ - 24μμ), ή

$-L_{eq}(12) = 70$ dB(A), του γαλλικού δείκτη 12ωρου (8πμ - 20μμ) [6]

Η ισοδύναμη ηχοστάθμη είναι ένα στατιστικό μέγεθος που εξισώνει τη μεταβαλλόμενη ηχητική ενέργεια των θορύβων του περιβάλλοντος (κυκλοφορία οχημάτων διαφόρων τύπων, μουσική, μηχανές ρυθμικής ή ακανόνιστης λειτουργίας) με μια σταθερή, ενεργειακά ισοδύναμη στάθμη, σε δεδομένη χρονική περίοδο (1, 12, 24 ώρες)[7].

Η βαθμονόμηση των ορίων κάθε στατιστικού δείκτη, αλλά και η αξιοπιστία των (θεσπισμένων ως ανεκτών) ηχητικών επιπτώσεων στο ανθρώπινο ή ζωικό περιβάλλον αποτελούν ένα, ερευνητικά ανοικτό, ζήτημα. Σκόπιμο επίσης είναι, να συσχετισθεί ερευνητικά ο (μόνιμος ή περιοδικός) χαρακτήρας των εξωτερικών θορύβων με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τον κύκλο ζωής της άγριας Πανίδας. Η διεθνής πρακτική σε χώρους υψηλής σπουδαιότητας (όπως αρχαιολογικά σύνολα) υιοθετεί τη μέγιστη ένδειξη του εξωτερικού θορύβου (L_{max}), αντί μιας διορθωμένης, στατιστικά ισοδύναμης ηχοστάθμης [8].

Για την αξιολόγηση των οχλήσεων στους υπαίθριους χώρους απαιτείται η συστηματική, ηχητική χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής (ιδίως δρόμων, κυκλοφοριακών ή σιδηροδρομικών αξόνων και αεροδιαδρόμων). Η ελληνική Τεχνική Νομοθεσία δεν προσδιορίζει κριτήρια ακουστικής άνεσης για δραστηριότητες αναψυχής σε υπαίθριους χώρους, με εξαίρεση τη χωροθέτηση βιομηχανικών εγκαταστάσεων κοντά σε υπαίθρια θέατρα. Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (Noise Criteria NC), οι επιβεβλημένες συνθήκες ακουστικής άνεσης σε περιοχές αναψυχής τοποθετούνται μεταξύ NC-35 και NC-40, δηλαδή μέγιστες τιμές 45 ως 50 dB(A) (σε ωριαία ισοδύναμη ηχοστάθμη)[9].

Σε επίπεδο διακηρύξεων, οι μελέτες των Τεχνικών Έργων στοχεύουν στην Ηχοπροστασία των κοινωνικών δραστηριοτήτων και εξασφαλίζουν τις παραμέτρους ησυχίας και ακουστικής άνεσης. Ωστόσο, η ελληνική Τεχνική Νομοθεσία δεν κατοχυρώνει την διάκριση χρήσεων γης ή χρονικών περιόδων αναφοράς (κατά τα αντίστοιχα Outdoor Noise Levels της ΕΕ). Η διόρθωση των κανονιστικών ελλείψεων στα ζητήματα Ηχοπροστασίας, θα μπορούσε να αναπληρωθεί (σύμφωνα με τις οδηγίες της Τεχνικής Επιτροπής ISO) συνυπολογίζοντας πρόσθετα κριτήρια αξιολόγησης, όπως οι Δείκτες Όχλησης G (Noise Rating Numbers, NR) [10]. Δηλαδή είναι τεχνικά θεμιτό, να διορθωθούν οι επιτρεπόμενες τιμές των στατιστικών μεγεθών σύμφωνα με τις ιδιαίτερες συνθήκες της ηχοδιάδοσης κατά τον τύπο :

$$G \text{ (όχληση)} = B \text{ (θόρυβος)} + C \text{ (διόρθωση)} - R \text{ (απομείωση)}$$

Οι συνήθεις παράγοντες διόρθωσης είναι οι χρήσεις γης, η χρονική περίοδος αναφοράς (εποχή, νύχτα ή μέρα), το συχνотικό φάσμα των θορύβων του περιβάλλοντος, η διάρκεια και ο ρυθμός επανάληψης των ηχητικών γεγονότων και ο βαθμός εξοικείωσης - η ανοχή (η προσδοκώμενη άνεση).

2. Παράγοντες απομείωσης των θορύβων του περιβάλλοντος

Κατά την κατάστρωση ενός ελέγχου ηχοπροστασίας, η θεμελιώδης σχέση μεταξύ των μεγεθών της ηχοδιάδοσης τροποποιείται κατάλληλα ώστε να προκύψει η μέγιστη επιτρεπόμενη όχληση (η ελάχιστη αποδεκτή ησυχία) στην προστατευόμενη περιοχή :

$$L_A \text{ (προτεινόμενο)} = L_o - \sum \alpha_i \leq L_{Aeq,h} \text{ (επιτρεπόμενο)} \quad \text{όπου}$$

$L_{Aeq,h}$ το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο θορύβου,

L_A η προσδοκώμενη ησυχία στη θέση προστασίας,

L_0 ο αναμενόμενος εξωτερικός θόρυβος στην πηγή,

$\Sigma \alpha_i$ η διαφορά ηχητικής στάθμης (difference level) μεταξύ των θέσεων που θεωρούνται ως εξωτερικός και ως προστατευόμενος χώρος (α_i οι επιμέρους παράγοντες απομείωσης της εκπεμπόμενης ηχητικής ενέργειας).

Επειδή οι όροι της παραπάνω σχέσης εκφράζονται ως μεγέθη λογαριθμικής κλίμακας (decibel), χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο μετασχηματισμό των υπολοίπων μεγεθών (γραμμικής κλίμακας). Τέλος, επειδή τα ακουστικά μεγέθη έχουν συχνοτική μορφή, η επίλυση ενός ελέγχου ηχοπροστασίας αποτελεί ένα σύστημα πράξεων για την σφαιρική και κάθε συχνοτική τιμή τους (σε οκταβικές ή τριτοκταβικές ζώνες) [11]

Το σύνολο των παραγόντων είναι δυναμικό, το πλήθος τους ποικίλλει ανάλογα με τα δεδομένα κάθε εφαρμογής και η πραγματική συνεισφορά κάθε παράγοντα κυμαίνεται, θετικά ή αρνητικά, σε περιορισμένο εύρος. Με αρχιτεκτονικούς όρους, οι βασικοί παράγοντες ηχομείωσης που επηρεάζουν την υπαίθρια ηχοδιάδοση είναι :

-η περιοχή (επιδράσεις από θερμοκρασία, άνεμο, υγρασία, ηχοπορρόφηση στο έδαφος – φυτεύσεις),

-η χωροθέτηση (απόσταση και σχετική θέση της προστατευόμενης περιοχής, γωνίες εκπομπής - λήψης του θορύβου),

-η παρεμβολή εμποδίων (φυσικά ή τεχνητά ηχοφράγματα).

2.1. η απόσταση

Ανάλογα με το είδος της πηγής και τη μορφή του εκπεμπόμενου θορύβου (σφαιρικό, κυλινδρικό ή επίπεδο κύμα), ανεξάρτητα από τα ελαστικά χαρακτηριστικά του μέσου ηχοδιάδοσης (αποσβέσεις εξαιτίας θερμικών ή μηχανικών αντιστάσεων), η ηχητική ενέργεια υφίσταται απομειώσεις λόγω απόστασης, σύμφωνα με τη σχέση :

$$L_A = L_0 - N * \log (d_A / d_0) \quad \text{όπου συμβολίζεται}$$

L_0 η ηχητική στάθμη αναφοράς του θορύβου της πηγής,

L_A η ηχητική ένταση στη θέση προστασίας,

d_0 η απόσταση αναφοράς κατά την ηχομέτρηση της πηγής,

d_A η ευθεία απόσταση των εξεταζόμενων θέσεων και

N ο παράγων απομείωσης ανάλογα με τη μορφή του ηχητικού κύματος [11].

Εφόσον γίνεται χρήση στατιστικών μεγεθών (ισοδύναμες ηχοστάθμες), στις περιπτώσεις όχλησης από οδικές αρτηρίες (ζώνες μέχρι 200m από τον άξονα κυκλοφορίας), οι συνθήκες προσομοιώνονται με την ηχοδιάδοση κυλινδρικού κύματος ($N = 10$).

Σε ειδικές περιπτώσεις κλειστών τοποθεσιών (όπως κόμβοι και πλατείες του αστικού ιστού) η ηχητική ένταση ανατροφοδοτείται, εκμηδενίζοντας την επίδραση των αποστάσεων (ανάλογα με την περίπτωση $N = 3$ ως 5)

Στις μεμονωμένες ηχητικές πηγές (μηχανήματα, ηχεία), σε σχετική απόσταση από τη θέση εγκατάστασης (min ακτίνα 20m από κόγχες, δώματα ή ορύγματα), ή στη ζώνη επιρροής ενός ηχοφράγματος, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία έχει τη μορφή σφαιρικού κύματος ($N = 20$).

2.2. η σχετική θέση πηγής - δέκτη

Κρίσιμο ζήτημα κατά τη χωροθέτηση της προστατευόμενης περιοχής είναι η σχετική θέση των πηγών όχλησης. Με όρους οδοποιίας, παράγων επίδρασης είναι η θέση του ορύγματος, με όρους αρχιτεκτονικού σχεδιασμού ενδιαφέρον έχει η διαμόρφωση ανισοσταθμιών, με όρους ακουστικής σημασία έχει ο περιορισμός των κώνων εκπομπής και λήψης του θορύβου στην προστατευόμενη περιοχή.

Σε συνεπίπεδες διαμορφώσεις, ο περιορισμός των κώνων εκπομπής - λήψης επαφίεται στην παρεμβολή φυτεύσεων ή τεχνητών ηχοφραγμάτων.

Όταν η πηγή όχλησης βρίσκεται σχετικά υψηλότερα από την προστατευόμενη περιοχή, η ηχοδιάδοση παρεμποδίζεται με ηχοφράγματα (η τοποθέτηση πάνω στο κατάντι πρηνές αυξάνει το ενεργό ύψος), ενώ αντίθετα, η διαμόρφωση ενός ανάντι ορύγματος μπορεί να αποβεί αρνητική (εξαιτίας πιθανών ηχοανακλάσεων).

Σε περίπτωση που η πηγή όχλησης βρίσκεται σχετικά χαμηλότερα, η επίδραση του ορύγματος περιγράφεται με τον παράγοντα διόρθωσης :

$$a = - 10 * \log [\cos(\varphi)] \quad \text{όπου}$$

φ η απόκλιση της σχετικής γωνίας εκπομπής - λήψης από το οριζόντιο επίπεδο στη θέση της πηγής (σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 1).

Πίνακας 1. Η επίδραση της θέσης του ορύγματος στην προστατευόμενη περιοχή. Ο παράγων διόρθωσης της ηχοδιάδοσης, ως συνάρτηση της σχετικής απόκλισης από το οριζόντιο επίπεδο στη θέση της πηγής [11]

ΑΠΟΚΛΙΣΗ σε μοίρες	ΗΧΟΜΕΙΩΣΗ σε dB(A)
15° ή 165°	-6
30° ή 150°	-3
45° ή 135°	-1,5
60° ή 120°	-0,5
75° ως 105°	0

2.3. η ηχοπορρόφηση στην ατμόσφαιρα (άνεμος, θερμοκρασία, υγρασία)

Σημαντικό ζήτημα κατά τη χωροθέτηση της προστατευόμενης θέσης είναι οι επικρατούσες διευθύνσεις των ανέμων της περιοχής. Στην ακριβή αποτίμηση των φαινομένων υπεισέρχεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και η τοπογραφία. Γενικά, τα φαινόμενα υποπίεσης κοντά σε φυσικά εξογκώματα ή ψηλά κτίρια, σε περιπτώσεις απροστάτευτων περιοχών (χωρίς ανεμοφράκτες ή στέγαστρα), τροποποιούν σημαντικά την ένταση και το εύρος της ηχοδιάδοσης (ανομοιόμορφες κατανομές).

Ο άνεμος, του οποίου η ταχύτητα αυξάνει με το υψόμετρο, προκαλεί κύρτωση των ηχητικών ακτίνων κατά τη διεύθυνση πνοής ή αύξηση των αποσβέσεων και τροποποίηση του ηχητικού φάσματος σε περιπτώσεις διαφορετικών κατευθύνσεων (εγκάρσια ή αντίθετα στην ηχοδιάδοση).

Κύρτωση των ακτίνων της ηχοδιάδοσης (αύξηση της ηχητικής έντασης στις πλαγιές, ανομοιόμορφη ηχητική πυκνότητα στα ανοίγματα) προκαλεί επίσης η υπερθέρμανση των ανοικτών, επίπεδων περιοχών κατά την διάρκεια της ημέρας (ανοδικά ρεύματα αέρα με θερμικές εκπομπές από το έδαφος, ταμιευτήρες νερού, μηχανολογικές εγκαταστάσεις, ανθρώπινο πλήθος κλπ) [8].

Η υγρασία της ατμόσφαιρας έχει περιορισμένο ρόλο στην υπαίθρια ηχοδιάδοση (αφορά τις υψηλές συχνότητες). Η μέγιστη ηχοαπορροφητική ικανότητα του αέρα αντιστοιχεί σε πυκνότητα υδρατμών μεταξύ 1,5 - 4 gr/m³. Η συχνотικά επιλεκτική επίδραση της υγρασίας οδηγεί σε πενιχρά ηχοαπορροφητικά αποτελέσματα (0 - 3dB, σε απόσταση 1 Km, στα 1000Hz) [12].

2.4. η ηχοαπορρόφηση στο έδαφος (φυτεύσεις)

Η απορρόφηση των εξωτερικών θορύβων στο έδαφος και στις φυτεύσεις αποτελούν την πλέον δημοφιλή (και κακοπαθημένη) επιχειρηματολογία των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Σε φάση αισθητικής αποκατάστασης του τοπίου, η ηχοαπορρόφηση, η διάχυση και ο σκεδασμός (διασκορπισμός) της ηχητικής ενέργειας στο έδαφος και τη βλάστηση είναι τα πλέον ευπρόσδεκτα επακόλουθα της κατασκευής ενός τεχνικού (κυρίως κυκλοφοριακού) έργου. Ωστόσο η επίκληση της αντιθρομβικής αποτελεσματικότητας τους απαιτεί τεχνική φειδώ και γεωτεχνική περίσκεψη. Κατ' επανάληψη, για τεχνικά έργα στον ελληνικό χώρο, οι μελετητές επιστράτευαν συντελεστές ηχοαπορρόφησης από σιβηρικά δάση με σημύδες, ενώ οι δημόσιοι οργανισμοί δεν απέφυγαν τις παραγγελίες καλλωπιστικών θάμνων πικροδάφνης στις απόκρημνες πλαγιές της Πίνδου.

Οι αρχικές προδιαγραφές των φυτεύσεων και κατ' επέκταση η σταθερή ηχοαπορροφητική τους επίδραση δεν θα εξελιχθούν σε συνθήκες θερμοκηπίου. Η βλάστηση σε υπαίθρια (αστική, περιαστική ή υπεραστική) κλίμακα δεν διατηρείται αναλλοίωτη, ούτε παραμένει απρόσβλητη. Έχει, λοιπόν, μεγάλη σημασία η πρόβλεψη φυτεύσεων που ευδοκίμουν στο συγκεκριμένο κλίμα και έδαφος, η διασφάλιση της ανάπτυξης τους (ύψος και πυκνότητα φυλλώματος) στις δεδομένες τοπικές συνθήκες, αλλά κυρίως ο συνυπολογισμός των εποχιακών μεταβολών της ηχοαπορρόφησης (αιθιαλή ή φυλλοβόλα είδη).

Οι βασικές έρευνες σχετικά με τη ηχοαπορροφητική ικανότητα των φυτεύσεων πραγματοποιήθηκαν από τον C. Eyring (στη ζούγκλα του Παναμά, τη δεκαετία του '30) και εμπλουτίστηκαν έκτοτε με ηχομετρήσεις σε περιαστικές ή δασικές περιοχές του Βορείου Ημισφαιρίου (Κεντρική Ευρώπη, Ρωσία, ΗΠΑ, Καναδάς) [13]. Δεν διατίθενται επαρκή και αξιόπιστα ερευνητικά δεδομένα, ιδίως για τις ελιές ή τις ξηροφυτικές καλλιέργειες, για τον ελληνικό χώρο (γενικά τα άνυδρα παράλια και την λιτή ενδοχώρα της Μεσογείου). Η ηχοαπορροφητική ικανότητα ποικίλει ανάλογα με την πυκνότητα ή τον όγκο της Χλωρίδας. Στον Πίνακα 2 καταγράφονται ενδεικτικοί συντελεστές, προσαρμοσμένοι από την ευρεία κατηγοριοποίηση περιαστικών και υπεραστικών περιοχών της Κεντρικής Ευρώπης [12].

Πίνακας 2 Οι συντελεστές ηχοαπορρόφησης σε μονάδες dB/ m απόστασης [12].

ΒΛΑΣΤΗΣΗ	50 - 250 Hz	500 - 1000 Hz	2000 - 8000 Hz
Αραιό χόρτο 10-20cm	0,03	0,05	-
Πυκνό χόρτο 40-50cm	0,05	0,07	0,10
Καλλιέργειες ύψους 1,80m	0,15	0,20	0,25
Δάσος	0,10	0,15	0,30

Τροποποιώντας κατάλληλα τον τύπο της υπαίθριας ηχοδιάδοσης, η ακτίνα επιρροής μιας φύτευσης εκτείνεται σε ζώνη :

$$R = [R_o / (1 + R_o * a)] * 10^{(dl/10)} \quad \text{όπου}$$

R η ακτίνα επιρροής των φυτεύσεων

R_o η απόσταση αναφοράς του κυκλοφοριακού θορύβου,

dI η προσδοκώμενη (επιβεβλημένη) στάθμη ηχομείωσης και
a ο συχνοτικός συντελεστής ηχοαπορρόφησης.

2.5. ακουστική περίθλαση και ηχοφράγματα

Σε περιπτώσεις παρεμβολής φυσικών ή τεχνητών εμποδίων δεν ισχύουν οι συνθήκες της γεωμετρικής ακουστικής (η ηχοανάκλαση αφορά ένα περιορισμένο φάσμα του θορύβου, με μήκη κύματος παραπλήσια των διαστάσεων του εμποδίου). Η εξέλιξη της υπαίθριας ηχοδιάδοσης προσδιορίζεται από τα φαινόμενα της ακουστικής περίθλασης. Ανάλογα με τη κυματομορφή, τις αρχικές και οριακές συνθήκες του προβλήματος, τα φαινόμενα της περίθλασης προσομοιώνονται και επιλύονται σύμφωνα με διάφορες θεωρητικές προσεγγίσεις [14].

Με ποιοτικούς όρους, η ακουστική περίθλαση δημιουργεί διακυμάνσεις της ηχητικής έντασης στη γειτονιά του εμποδίου, προκαλεί υποδιπλασιασμό της μέγιστης έντασης στο όριο του ηχοφράγματος και εκμηδενίζει την ηχητική ένταση στο εσωτερικό της σκιασμένης περιοχής. Η εφαρμογή ηχοφραγμάτων, ανάμεσα στη πηγή του θορύβου και την προστατευόμενη περιοχή, αποτελεί την ουσιαστικότερη μέθοδο επίλυσης των προβλημάτων της υπαίθριας ηχοπροστασίας. Στόχος σχεδιασμού είναι η εξασφάλιση μιας ανακουφιστικής ελάττωσης του θορύβου, με εξάπλωση της ηχητικής σκιάς και φασματικό περιορισμό του ανακλώμενου κύματος [14], [15].

Μια προσεγγιστική, γεωμετρική διερεύνηση του προβλήματος επιτρέπει το διάγραμμα Harris [16]. Την αναλυτική επίλυση (ηχοδιάδοση σφαιρικού ή επίπεδου κύματος) δίδει η σχέση :

$$R_w = 10 \cdot \log(40/\lambda) \cdot \{ r \cdot [1 + (h/r)^2]^{1/2} - 1 \} + d \cdot [1 + (h/d)^2]^{1/2} - 1 \} / [1 + (h/r)^2]$$

όπου συμβολίζεται

R_w η ηχομείωση (σε dB),

r και **d** οι αποστάσεις της πηγής και της προστατευμένης περιοχής από το ηχοφράγμα (σε m)

h το ενεργό ύψος του ηχοφράγματος (σε m) και

λ το μήκος του προσπίπτοντος κύματος ήχου (σε m) [12].

Η δημιουργία μιας εκτεταμένης ακουστικής σκιάς δεν είναι πάντοτε εφικτή, ούτε εύκολη. Η συχνοτική φύση των θορύβων του περιβάλλοντος (μεγάλα μήκη κύματος), οδηγεί σε ακουστικά σκίαστρα τεραστίων διαστάσεων, καταλήγοντας στον τεμαχισμό της προστατευόμενης περιοχής.

3. Τεχνικές εφαρμογές και ακουστικά κέρδη

Η ακουστική αξιολόγηση και αποτίμηση ενδεικτικών τεχνικών εφαρμογών σε αστικούς, υπαίθριους χώρους αναψυχής, εκπονήθηκε με αφορμή τον Διαγωνισμό «Ανάπλαση Νέας Παραλίας» του Δήμου Θεσσαλονίκης (Δεκέμβριος 2000 - Μάιος 2001), στο πλαίσιο της μελετητικής ομάδας «Πρ. Νικηφορίδης, Atelier R. Castro - S. Denissof και συνεργάτες» (1^ο βραβείο, σε τμηματική υλοποίηση).

Για τη διερεύνηση των θορύβων του περιβάλλοντος εφαρμόστηκε μια αναλυτική διαδικασία ηχομετρήσεων κατά μήκος της Λεωφόρου Μ. Αλεξάνδρου, στο ύψος της Ηλεκτρικής Εταιρείας, στο πάρκο Φωκά (διασταύρωση Καλλιδοπούλου) και στη διασταύρωση της οδού Π. Συνδίκας. Τα δεδομένα των ηχομετρήσεων και το υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης του κυκλοφοριακού θορύβου, διασταυρώθηκαν με στοιχεία από προσωπικές έρευνες (της ίδιας περιόδου) στην ευρύτερη περιοχή των ελεύθερων, υπαίθριων χώρων της Θεσσαλονίκης που περιλαμβάνει το γραμμικό μέτωπο Παλιάς - Νέας Παραλίας και το τριγωνικό ανά-

πτυγμα του πάρκου της ΧΑΝΘ. (Πίνακας 3). Η παραδοχή της ισχύος των ηχητικών εκτιμήσεων, σε επίκαιρο χρονικό ορίζοντα, είναι βάσιμη, καθώς τα οφέλη της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας (-2 ως 3dB στα επιβατικά αυτοκίνητα), αντισταθμίζονται από την επιδείνωση του κυκλοφοριακού φόρτου (+ 1,5 ως 3dB ανά πενταετία).

Οι ηχομετρήσεις και οι υπολογισμοί της ηχοδιάδοσης περιέλαβαν μια λεπτομερή, σφαιρική αποτίμηση και συχνοτική ανάλυση διάφορων περιστάσεων, οχημάτων και φόρτων (σηματοδότες, πράσινο ρεύμα, φρενάρισμα - μαρσάρισμα, ελαφρά - βαριά οχήματα και μοτοσικλέτες, προσπεράσεις ή κορναρίσματα, αλλαγή λωρίδας και επιβράδυνση για στροφή κλπ). Η κατάστρωση του μοντέλου προσομοίωσης, με επιμέρους στατιστικά μεγέθη θορύβου ακολούθησε τη γαλλική μέθοδο συγκοινωνιακής τεχνικής [11]. Αξιολογήθηκαν επίσης ηχητικά γεγονότα από θρόισμα, άνεμο, πουλιά και τζιτζίκια, συζητήσεις, παιδικά παιχνίδια, πλανόδιους πωλητές και ηχητικές εγκαταστάσεις στα αναψυκτήρια (52 ως 58dB(A), θόρυβος βάθους).

Πίνακας 3 Μοντέλο προσομοίωσης κυκλοφοριακού θορύβου (ωριαίος φόρτος 2000 / 2001, απόσταση αναφοράς 6m).

ΘΕΣΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Leq,h (dB)
Παλιά Παραλία (διασταύρωση Καλάρη)	Απογευματινή αιχμή	70,2
Κόμβος Λ. Πύργου (πάρκο ΧΑΝΘ)	Ρεύμα Νίκης και Π. Μελά	71,5
Προέκταση Λ. Νίκης (Βασιλικό Θέατρο)	Πράσινο ρεύμα	76,5
	Επιβράδυνση	69
Ν. Γερμανού (πάρκο ΧΑΝΘ)		72,7
Κόμβος ΧΑΝΘ (πάρκο ΧΑΝΘ)	Ρεύμα Μ. Ανδρόνικου	70,7
Νέα Παραλία	Καθημερινή αιχμή	78,5
	Αιχμή αργίας	74,5

Ο κυκλοφοριακός φόρτος της Λεωφόρου Μ. Αλεξάνδρου σε ώρες καθημερινής αιχμής (μεσημβρινή και βραδινή κίνηση προς τις ανατολικές συνοικίες της πόλης) ανέρχεται σε 6.250 οχήματα/ώρα, ενώ σε ώρα αιχμής τις αργίες (μετακινήσεις αναψυχής) περιορίζεται κατά 50% περίπου. Με τις μετριοπαθέστερες εκτιμήσεις (74,5dB(A) στις αργίες), η ωριαία ισοδύναμη ηχοστάθμη ξεπερνά τουλάχιστον 1,5dB(A) το νομοθετημένο κυκλοφοριακό όριο, υπερβαίνοντας κατά 15 ως 20dB(A) τα διεθνή πρότυπα ακουστικής άνεσης σε υπαίθριους χώρους αναψυχής.

Η παραδειγματική αποτίμηση των επιμέρους παρεμβάσεων εφαρμόστηκε σε μια ενδεικτική διατομή της Λεωφόρου Μ. Αλεξάνδρου, στο εγκάρσιο ανάπτυγμα του θεματικού «Κήπου της Γλυπτικής». Για εποπτικούς λόγους, στην ενιαία διατομή ορίστηκαν τρεις (3) θέσεις παρατήρησης :

- γειτονικά της λεωφόρου (θέση Α, απόσταση 32,1m από τον άξονα κυκλοφορίας),
- ενδιάμεσα (θέση Β, απόσταση 67,15m από τον άξονα),
- στην πλευρά της θάλασσας (θέση Γ, απόσταση 91,8m από τον άξονα).

Στις παρεμβάσεις, που αξιολογήθηκαν ως μέτρα ηχοπροστασίας, περιλαμβάνονται :

-η διαμόρφωση ενός γήινου αναχώματος (στηθαίο ύψους 1,5m) και ο παράλληλος υποβιβασμός της παρακαμπτηρίου οδού (κατά 1,2m), δηλαδή ένας συνδυασμός φράγματος και ορύγματος ανάντι (αύξηση στο ενεργό ύψος του ηχοφράγματος),

-ο διπλός στίχος πλατανιών (φυλλοβόλα κοντά στο ηχώφραγμα, με αναμενόμενο ύψος 12,5m και πλάτος φυλλώματος 12m) και ο διπλός στίχος πεύκων (βελονόφυλλα κοντά στο κρηπίδωμα, με αναμενόμενο ύψος 10m και πλάτος φυλλώματος 10m), δηλαδή η ηχοαπορρόφηση στις φυτεύσεις,

-το πυκνό γρασίδι (θέση Α), το χώμα και το νερό του σιντριβανιού (θέση Β), το πλακόστρωτο του κρηπιδώματος (θέση Γ), δηλαδή η ηχοαπορρόφηση στο έδαφος.

Το αναμενόμενο, ακουστικό κέρδος, σε κάθε θέση, υπολογίστηκε αναλυτικά με συχνοτική επίλυση του διαφορικού τύπου κατά Bruckmayer. Ο κυκλοφοριακός θόρυβος προσομοιώθηκε με κυλινδρικά και σκεδασμένα (σφαιρικά) ηχητικά κύματα (πριν και μετά το ηχώφραγμα). Κατά περίπτωση, εντοπίστηκε η υπερκάλυψη της κυκλοφοριακής όχλησης από το θόρυβο βάθους. Για τον υπολογισμό της ηχοαπορρόφησης στις επιμέρους φυτεύσεις τροποποιήθηκαν ανάλογα οι δείκτες του Eyring (στην ζώνη 250 - 1000Hz). Τέλος η αποτίμηση των βασικών μεγεθών ακουστικής άνεσης επικεντρώθηκε στο φάσμα των μέσων συχνοτήτων (δραστηριότητες αναψυχής, 250 - 2000Hz).

Τα υπολογιστικά δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 και εμφανίζουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε επίπεδο ηχοπροστασίας. Τα αναμενόμενα κέρδη από τις φυτεύσεις και τις διαμορφώσεις του εδάφους παραμένουν περιορισμένα (3 ως 6dB, με προβλεπόμενη πτώση της απόδοσης κατά -2dB περίπου, τους χειμερινούς μήνες, εξαιτίας των φυλλοβόλων δέντρων), αλλά η συνδυασμένη παρέμβαση του γήινου αναχώματος και της υποβιβασμένης παρακαμπτηρίου εμφανίζεται ιδιαίτερα αποδοτική (ηχομείωση 8 έως 20dB).

Πίνακας 4 Ακουστική αξιολόγηση των τεχνικών εφαρμογών και παρεμβάσεων στην ενδεικτική διατομή «Κήπος Γλυπτικής»

ΘΕΣΗ	ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ [- dB]		ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΗΧΟΣΤΑΘΜΗ, dB(A)
	ηχώφραγμα	φυτεύσεις, έδαφος	
A	8,5	3,2	55,5
B	11,4	4,4	48,3
Γ	19,7	6	36,9

Από τη συνολική αποτίμηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων προκύπτει ότι η μεγαλύτερη ζώνη του αναπτύγματος (θέσεις Β και Γ, περίπου 40m μετά το υπάρχον πεζοδρόμιο) θα βρεθεί σε ακουστικό περιβάλλον κατάλληλο για δραστηριότητες αναψυχής [NC-40, μέγιστη κυκλοφοριακή όχληση < 50dB(A)]. Στην υπόλοιπη έκταση (θέση Α, εγγύς της λεωφόρου, ποσοστό περίπου 43% της εγκάρσιας διατομής) εντοπίζονται υπερβάσεις (μέχρι 5,5dB), ωστόσο η κυκλοφοριακή όχληση βελτιώνεται σημαντικά (-12dB της υφιστάμενης) και τείνει να εξισωθεί με τις στάθμες των υπολοίπων θορύβων του περιβάλλοντος.

4. Οι ανακουφιστικές ηχητικές εκπομπές των καταιονισμών

Η προηγούμενη διαπραγμάτευση επιχείρησε να αναδείξει το πρόβλημα της ηχοπροστασίας των υπαίθριων, αστικών χώρων αναψυχής. Εξωτερικές οχλήσεις, κυρίως θόρυβοι κυκλοφορίας (55 ως 75dB(A) περίπου) κυριαρχούν στους αστικούς και περιαστικούς κήπους (σε περιμετρικές ζώνες βάθους 50 ως 100m). Οι ασφυκτικά εντεινόμενες, ηχητικές πιέσεις των μετακινήσεων και των δραστηριοτήτων της σύγχρονης πόλης θέτουν σε δοκιμασία τις προσπάθειες σχεδιασμού θυλάκων ηρεμίας, οάσεων ακουστικής άνεσης (μέχρι 50 dB(A) ωριαίας ισοδύναμης ηχοστάθμης). Στην πραγματικότητα, οι αστικές λειτουργίες, πριν ακόμα καταπατήσουν το έδαφος των ελεύθερων, πράσινων χώρων ιδιοποιούνται την ατμόσφαιρα και το χαρακτήρα τους.

Η ακουστική αξιολόγηση ορισμένων τεχνικών εφαρμογών ηχοπροστασίας έδειξε ότι, σε παρεμβάσεις μέσης ή μεγάλης κλίμακας, οι απλές διαμορφώσεις του εδάφους και οι φυτεύσεις έχουν περιορισμένες δυνατότητες (μέχρι -6dB), ενώ οι σύνθετες τεχνητές διευθετήσεις (ανισοσταθμίες, αναχώματα) προσφέρουν πεπερασμένα ακουστικά κέρδη (15 dB(A) κατά μέσο όρο) στις κρίσιμες συχνότητες αναψυχής και επικοινωνίας (250 – 2000Hz).

Η κυριαρχία των ηχητικών οχλήσεων του σύγχρονου αστικού περιβάλλοντος ανάγεται στη φύση της ανθρώπινης ακουστικής αίσθησης. Απόρροια της βιομηχανικής εποχής, τα οχήματα και οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις λειτουργούν με ισχυρούς θορύβους συνεχούς φάσματος, δηλαδή εκπέμπουν και διαδίδουν σε μεγάλες αποστάσεις τις χαμηλές - μέσες συχνότητες [8]. Αυτά τα παρασιτικά σήματα επικαλύπτουν βλαπτικά τις κρανιοεγκεφαλικές λειτουργίες (προκαλούν μασκάρισμα, παρεμβάλουν φίλτρα). Οι επιπτώσεις της ακουστικής επικάλυψης στις ανθρώπινες δραστηριότητες (συζήτηση, επικοινωνία) εμφανίζονται σε περιστάσεις ανεπαίσθητων ή μικρών υπερβάσεων (0 ως +10dB, για θορύβους χαμηλών συχνοτήτων), αλλά παραμένουν δραστικές ακόμη και σε αρνητικές διαφορές έντασης (μέχρι -20dB, για θορύβους συνεχούς φάσματος) [17]. Όμως η επικαλυπτική ικανότητα των ήχων συνεχούς φάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα, ένα ανακουφιστικό αντίδοτο εκπομπών συνεχούς φάσματος από καταιονισμούς ή κινήσεις υδάτινων ρευμάτων, σε συγκεκριμένες θέσεις και για περιορισμένη ακτίνα επιρροής σε υπαίθριους χώρους αναψυχής.

Στον Πίνακα 5 εμφανίζονται τα αρχικά αποτελέσματα των ηχομετρήσεων μιας ευρύτερης έρευνας για τις ηχητικές εκπομπές και τη διασπορά των ηχητικών εντάσεων σε (τεχνητές ή φυσικές) διαμορφώσεις με καταρράχτες, σιντριβάνια, αναβαθμούς, υπερχειλιστές και λίμνες ηρεμίας σε ανοικτούς αγωγούς, ποτάμια και ρυάκια. Αφορούν εκπομπές ενθυμητικών και ευδιάκριτων σημάτων λευκού θορύβου (σχεδόν σταθερή φασματική ισχύς σε περιπτώσεις μεγάλης υδροδυναμικής ενέργειας) ή έστω ροζ θορύβου (σχεδόν σταθερή πτώση -3dB/oct, σε μικρές παροχές ή ομαλές ροές) [17].

Πίνακας 5 Ηχητικές εκπομπές από καταιονισμούς (απόσταση αναφοράς 6m)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΣΤΑΘΜΕΣ dB(A)
Μεγάλος καταρράκτης	πτώση σε αναβαθμούς > 30m	80
Μικρός καταρράκτης	πτώση σε αναβαθμούς 2 ως 3m	71 – 74
Εγκιβωτισμένη κοίτη Μικρός υπερχειλιστής	τυρβώδης ροή (διατομή 3 ως 5m ³)	70 – 73
Μεγάλο σιντριβάνι	5-8 πίδακες, εκτεταμένη λίμνη ηρεμίας	64 -68
Εγκιβωτισμένη κοίτη Μικρός αναβαθμός	ομαλή ροή (διατομή < 3m ³)	60 -63
Μικρό σιντριβάνι	1-4 πίδακες, μικρή λίμνη ηρεμίας	56 - 59

Η αναλυτική διερεύνηση των επιμέρους υδροδυναμικών παραμέτρων όπως :

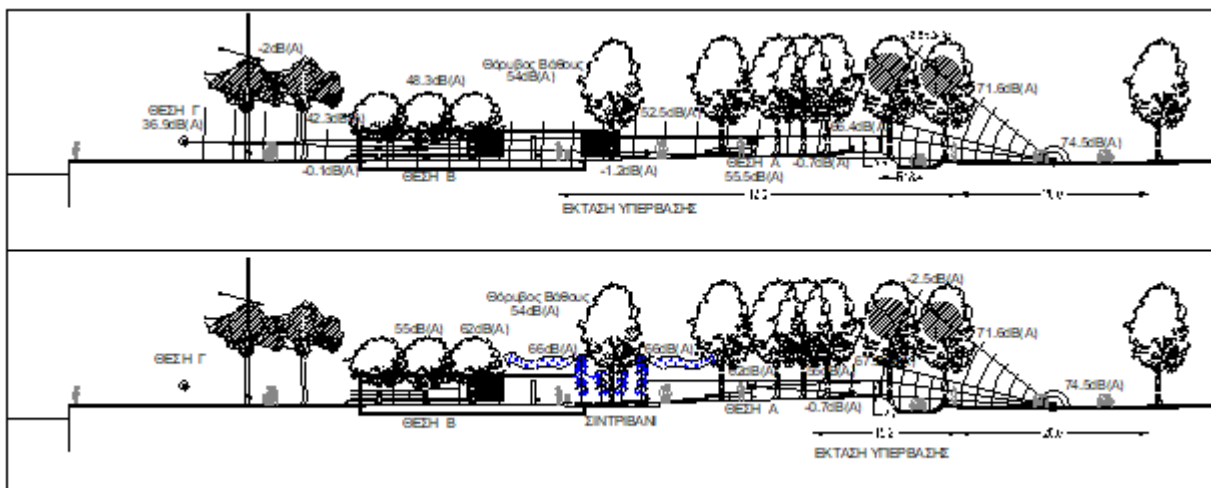
- παροχή, ταχύτητα και δυναμικό ύψος του υδάτινου ρεύματος,
- κλίση και ωφέλιμη διατομή αγωγού,
- ομαλή ή τυρβώδης ροή,
- διαστάσεις και διαμόρφωση αναβαθμών - υπερχειλιστών,
- πυκνότητα, παροχή, ύψος και διασπορά καταιονιστήρων και
- διαστάσεις της δεξαμενής - λεκάνης ηρεμίας

σε συνάρτηση με τις ηχητικές εκπομπές και την ηχοδιάδοση του ανακουφιστικού σήματός τους, θα παρουσιαστεί σε άλλη διαπραγμάτευση. Είναι επίσης ευνόητο πως άλλες, σημαντικές και ενδιαφέρουσες πτυχές του θέματος, όπως η ευεργετική συνεισφορά των καταιονισμών στον φυσικό δροσισμό των υπαίθριων χώρων, η ανακύκλωση και ο καθαρισμός του υδάτινου αποθέματος κάθε εφαρμογής, ή η χρήση ήπιων - ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία των υδροδυναμικών μηχανισμών βρίσκονται πέρα από την ακουστική διάσταση του ζητήματος.

Γενικά, οι καταιονισμοί και τα υδάτινα ρεύματα σε τεχνικές εφαρμογές μέσης κλίμακας, εμφανίζουν ισχυρές ηχητικές εντάσεις 55 ως 75 dB(A), με ανακουφιστικές εκπομπές (> 50dB) σε ακτίνα επιρροής 20 ως 30m. Η σημειακή και περιορισμένη επίδραση παρόμοιων, πολλαπλών αντιθρομβικών εφαρμογών σε υπαίθριους χώρους ανοίγει ευοίωνα πεδία μελέτης, καθώς αυξάνει το σχεδιαστικό ενδιαφέρον (χωροθέτηση, ποικιλία, διασπορά), και προστατεύει αποτελεσματικά τους χρήστες.

Για παράδειγμα, ένα σιντριβάνι μέσης κλίμακας (κυκλική δεξαμενή ακτίνας 10m, βάθους 0,5m, 8 πίδακες ύψους 4,5m) με ηχητική στάθμη αναφοράς 66dB(A) στα 6m, υπερκαλύπτει αποτελεσματικά τους υπόλοιπους θορύβους του περιβάλλοντος (οχλήσεις 50 ως 65dB) και εξασφαλίζει την επιβαλλόμενη ακουστική άνεση (NC-40) σε ζώνη σε ακτίνας 25 - 30m. Στην υποθετική περίπτωση μιας τέτοιας εφαρμογής στη θορυβικά ευάλωτη περιοχή μεταξύ των θέσεων A και B (για εποπτικούς λόγους στο προηγούμενο μοντέλο ηχοπροστασίας του σχήματος 6) η αρχική έκταση των προβλεπόμενων υπερβάσεων περιορίζεται σε ζώνη 10 - 15m, εγγύς του αυτοκινητόδρομου (15% του συνολικού εγκάρσιου αναπτύγματος).

Σχήμα 6 (πάνω) Ακουστική αξιολόγηση ενδεικτικών εφαρμογών και παρεμβάσεων στη διατομή «Κήπος Γλυπτικής», η ζώνη υπέρβασης του ορίου ακουστικής άνεσης
(κάτω) Στην ίδια διατομή, ο περιορισμός της ζώνης υπέρβασης στην υποθετική περίπτωση ανακουφιστικών ηχητικών εκπομπών από καταιονισμούς



5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] *Noise Final Report*, British Committee on the Problem of Noise, 1963, London
- [2] *La lutte contre le bruit*, Conseil Federal Suisse, 1963, Berne
- [3] *Προσδιορισμός ηχητικής εκπομπής μηχανημάτων και συσκευών εργοταξίου 56206/163*, ΦΕΚ Β570/ 9.9.86,

- [4] Οριακή τιμή στάθμης θορύβου μηχανημάτων και συσκευών εργοταξίου 69001/ 1921, ΦΕΚ Β751/18.10.88,
- [5] Περί της χρήσεως κατασιγασμένων αεροσφυρών Α5/2375, ΦΕΚ Β6 89,
- [6] Γενικές Προδιαγραφές ΜΠΕ Α` κατηγορίας, ΥΠΕΧΩΔΕ 17252/20.5.92, ΦΕΚ Β 395/ 13.6.92
- [7] Lienard P. : *Decibels et Indices de Bruit*, Masson, 1978, Paris.
- [8] Μπάρκας Ν.Κ.: *Η Ακουστική ως Παράμετρος Σχεδιασμού στο Αρχαίο Ελληνικό Θέατρο*, περιοδικό «Μνημείο & Περιβάλλον», τεύχος 2, 1994, Θεσσαλονίκη
- [9] Αθανασόπουλος Χ.Γ. : *Προστασία Κτιρίων*, 1991, Αθήνα.
- [10] *Recommandations et documentations de l' ISO*, 1966, Geneve
- [11] Μπάρκας Ν.Κ. : *Δομική Φυσική - Ηχομόνωση*, εκδόσεις Δ.Π.Θ. 2004, Ξάνθη
- [12] Stryjenski J.: *L' Acoustique Applique a l' Urbanisme*, ed. Techniques, 1968, Genève.
- [13] Lehmann R. : *L' Acoustique des Batiments*, 3^e edition, PUF, 1977
- [14] Bruneau M. : *Introduction aux Théories de l' Acoustique*, 1984, Le Mans.
- [15] Κεραμίδας Δ.- Μπάρκας Ν.Κ.: *Εγκατάσταση ΚΚΜ στην Αυλή Ιστορικών Κτιρίων: Ηχοπροστασία & Εφαρμογές Κατασιγασμού*, πρακτικά 2^{ου} εθνικού συνεδρίου «Ήπιες Επεμβάσεις για την Προστασία Ιστορικών Κατασκευών», 1^{ος} τόμος, 2004, Θεσσαλονίκη
- [16] Harris C.M : *Handbook of Noise Control*, Mc Graw Hill, 1957, New York
- [17] Lehmann R.: *Elements de Physio et de Psychoacoustique*, Dunod, 1969, Paris