



Οδοποιία II

Ενότητα **11** : Θόρυβος και οδός

Γεώργιος Μίντσης
Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Περιεχόμενα ενότητας (1/1)

1. Θόρυβος
2. Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου
3. Μέθοδοι μείωσης θορύβου
4. Ελληνική Νομοθεσία
5. Μέθοδος μετατροπής του δείκτη $L_{A10,18h}$ του βρετανικού μοντέλου στο ευρωπαϊκό μοντέλο
6. Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου



Σκοποί ενότητας

Σκοπός της Θεματικής Ενότητας είναι η παρουσίαση στους/ στις φοιτητές/ τριες τόσο της έννοιας του θορύβου γενικότερα αλλά και του οδικού θορύβου ειδικότερα καθώς και των στατιστικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του επιπέδου του οδικού θορύβου. Επίσης, η παρουσίαση διεθνώς χρησιμοποιούμενων μεθοδολογιών για τον υπολογισμό του επιπέδου του οδικού θορύβου όπως και της νομοθετημένης ελληνικής μεθόδου.



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Θόρυβος και οδός

Οδοποιία II

Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

Θόρυβος (1/22)

- Ήχος είναι η μεταβολή της πίεσης του αέρα ή άλλου μέσου, που είναι ικανή να ερεθίσει την αίσθηση της ακοής και να γίνει αντιληπτή από τον άνθρωπο.
- Ο ήχος παράγεται από μια πηγή και συλλαμβάνεται από το αυτί μας. Όμως για να φτάσει ο ήχος από την πηγή στο δέκτη, πρέπει να μεσολαβήσει ένα φέρον μέσο. Αυτό συνήθως είναι ο αέρας. Χωρίς μέσο διάδοσης δεν είναι δυνατή η μεταφορά του ήχου.

Θόρυβος (2/22)

- Τα χαρακτηριστικά του ήχου είναι δύο, η συχνότητα και η ένταση. Ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί, να αφομοιώσει και κυρίως να ανεχθεί ένα ορισμένο φάσμα ήχων που βρίσκονται μέσα στην περιοχή συχνοτήτων από 16 έως και 20.000 Hz.
- Ως ένταση ήχου ορίζεται το ποσό της ηχητικής ενέργειας που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου.
- Η στάθμη του ήχου εκφράζεται σε “decibel (dB)”. Για τους συνήθεις ήχους το εύρος της στάθμης ποικίλλει από 0 έως και 120 dB.

Θόρυβος (3/22)

- Η στάθμη δύο ήχων (σε dB) δεν προστίθεται με αριθμητικό τρόπο αλλά με λογαριθμικό.
- Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για στάθμες ήχου που διαφέρουν κατά 3 dB, η ισχυρότερη έχει διπλάσια ένταση σε σχέση με την ασθενέστερη, δηλαδή η στάθμη των 85 dB είναι διπλάσια έντασης από αυτή των 82 dB, ενώ δύο ήχοι 85 dB προστιθέμενοι έχουν στάθμη 88 dB και όχι 170 dB.
- Επομένως η άθροιση 10 ήχων του ίδιου επιπέδου θα καταλήξει σε ένα συνολικό ήχο αυξημένο κατά 10 dB σε σχέση με την κάθε μεμονωμένη στάθμη.

Θόρυβος (4/22)

- Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η διαφορά των 3 dB στην άθροιση δύο ήχων είναι πολύ δύσκολο να γίνει αντιληπτή από το αυτί, ενώ μία αύξηση 10 dB(A) αυξάνει σημαντικά την ηχητική εντύπωση ή γενικότερα την ακουστική όχληση.
- Για τον περιβαλλοντικό θόρυβο χρησιμοποιείται η κλίμακα A, που δίνει έμφαση στις συχνότητες περί τα 2.000Hz και τότε ο θόρυβος που καταγράφεται εκφράζεται σε dB(A).

Θόρυβος (5/22)

- Έχουν προσδιοριστεί και χρησιμοποιούνται ακουστικοί δείκτες, οι οποίοι περιέχονται και σε σχετικά νομοθετήματα, σε διεθνώς αποδεκτές μεθοδολογίες αξιολόγησης, σε μεθοδολογίες υπολογισμού και διαστασιολόγησης αντιθορυβικών διατάξεων, κ.ά.
- Οι δείκτες αυτοί είναι ουσιαστικά στατιστικοί ή ποσοτομετρικοί με τη γενική μορφή L_n και υποδηλώνουν την ηχητική στάθμη, η οποία ξεπερνιέται κατά ένα συγκεκριμένο $n\%$ ποσοστό μιας ορισμένης χρονικής περιόδου (με το n να κυμαίνεται προφανώς από το 1% έως το 99%).

Θόρυβος (6/22)

- 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 ποσοτομετρικοί δείκτες αξιολόγησης, με κυριότερη τη μέση στάθμη κορυφής L_{10} , η οποία ξεπεράστηκε κατά το 10% του χρόνου παρατήρησης.
- Τέλος με τον ίδιο τρόπο προσδιορίζονται η στάθμη κορυφής που ξεπεράστηκε κατά το 1% του χρόνου παρατήρησης L_1 καθώς και η μέση στάθμη θορύβου βάθους που ξεπεράστηκε κατά το 90% του χρόνου παρατήρησης (L_{90}) πάντα σε dB(A).

Θόρυβος (7/22)

- Πρέπει να αναφερθεί ότι ο συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης αξιολόγησης θορύβου είναι η ισοδύναμη συνεχής στάθμη ήχου L_{eq} που 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.

Θόρυβος είναι ο ανεπιθύμητος, ενοχλητικός ή και απλά δυσάρεστος για τον άνθρωπο ήχος

- Η πλέον σημαντική παράμετρος για την περιγραφή του θορύβου είναι το μέγεθος της ακουστικής πίεσης. Η ακουστική πίεση που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί κυμαίνεται μεταξύ του κατωφλίου ακουστότητας και του ορίου μόνιμης βλάβης στο αυτί.

Θόρυβος (8/22)

- Ο λόγος των δύο παραπάνω πιέσεων είναι 1:5.000.000 και για αποτυπωθεί αυτό το μεγάλο εύρος χρησιμοποιείται μία λογαριθμική κλίμακα.
- Για τη μέτρηση του θορύβου, όπως και του ήχου όπως προαναφέρθηκε, έχει καθιερωθεί η μονάδα decibel (dB). Η στάθμη ηχητικής πίεσης σε dB ορίζεται ως το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμου του λόγου έντασης του ήχου που εξετάζουμε, προς την ένταση ενός ήχου αναφοράς.

Θόρυβος (9/22)

- Ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης της ποιότητας του περιβάλλοντος στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Επηρεάζει δυσμενώς τόσο την ποιότητα ζωής των πολιτών όσο και την υγεία τους.
- Η νομοθεσία και οι τεχνικές ηχομόνωσης αποτελούν σήμερα δύο από τις ουσιαστικότερες πρακτικές αντιμετώπισης της ηχητικής ρύπανσης στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.
- Η έννοια της ακουστικής ρύπανσης εξαρτάται από τις πηγές θορύβου και τα χαρακτηριστικά τους, τις κοινωνικές σχέσεις και την υποκειμενική αντίληψη των ανθρώπων που αντιλαμβάνονται την ενόχληση.

Θόρυβος (10/22)

- Οι πιο σημαντικές πηγές θορύβου που ευθύνονται για την υποβάθμιση του ακουστικού περιβάλλοντος είναι οι ακόλουθες:
 - Η κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς κάθε είδους.
 - Οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις.
 - Οι εγκαταστάσεις αναψυχής και διασκέδασης.
- Περιοχές με ιδιαίτερο πρόβλημα υποβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, είναι σχεδόν όλες οι αστικές περιοχές της χώρας.

Θόρυβος (11/22)

- Έρευνες έδειξαν ότι οι επιπτώσεις τόσο στη σωματική όσο και στην ψυχική υγεία από την έκθεση στο θόρυβο είναι κυρίως οι εξής:
 - Ενόχληση.
 - Ακουστικές βλάβες (μόνιμες ή παροδικές).
 - Δυσκολία στην ομιλία.
 - Ψυχολογικές διαταραχές (τέντωμα των μυών, υπέρταση, άγχος).
 - Διαταραχή του ύπνου.
 - Μείωση της παραγωγικότητας του ανθρώπου στον εργασιακό τομέα.
 - Αυξημένος κίνδυνος ατυχημάτων.
 - Βλάβες στο κυοφορούμενο έμβρυο εργαζομένης.

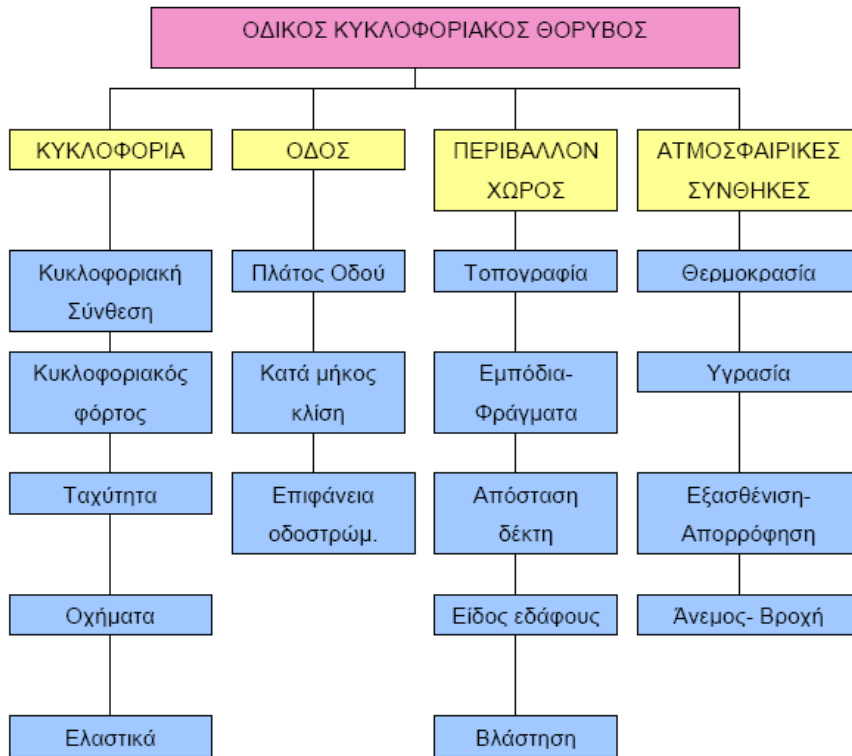
Θόρυβος (12/22)

- Χαρακτηριστικά παραδείγματα θορύβου (ηχοστάθμες) είναι τα ακόλουθα:
 - Συνήθης συζήτηση: 60 dB(A).
 - Αίθουσα διδασκαλίας δημοτικού σχολείου: 74 dB(A).
 - Πυκνή κυκλοφοριακή κίνηση: 85 dB(A).
 - Αερόσφυρα: 100 dB(A).
 - Απογείωση αεροσκάφους jet (B707) σε απόσταση 25 μέτρων: 120 dB(A).

Θόρυβος (13/22)

- Ο θόρυβος σχετίζεται άμεσα με τη χωροθέτηση των χρήσεων γης και με την ιεράρχηση και το σχεδιασμό του οδικού δικτύου και των συγκοινωνιακών συστημάτων γενικότερα.
- Ένας από τους κυριότερους λόγους για την κίνηση και τα ακουστικά περιβαλλοντικά προβλήματα σε αστικές περιοχές είναι ο ακατάλληλος σχεδιασμός του οδικού δικτύου, ιεραρχικά και χωροταξικά, ο οποίος αναπτύχθηκε πριν από την εξάπλωση της χρήσης του ιδιωτικού αυτοκινήτου.
- Τα πλεονεκτήματα ενός κατάλληλα σχεδιασμένου οδικού δικτύου, σε συνδυασμό με τη χωροθέτηση των διαφόρων χρήσεων, εξασφαλίζουν περιορισμένη οδική κυκλοφορία και, συνεπώς μείωση της επιδείνωσης του ακουστικού περιβάλλοντος στις ζώνες κατοικίας.

Θόρυβος (14/22)



- Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (Σχήμα 1):
1. Η κυκλοφορία
 2. Η οδός
 3. Ο περιβάλλον χώρος
 4. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες

Σχήμα 1: Παράγοντες που επηρεάζουν τον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο – Βίζμπα Χ.

Θόρυβος (15/22)

- Το πρόβλημα, όμως, των μεταφορών στο πλαίσιο του γενικότερου πολεοδομικού σχεδιασμού δεν αντιμετωπίζεται πια μόνο ως πρόβλημα της μεταφοράς των ανθρώπων ή των αγαθών από ένα σημείο σε ένα άλλο, αλλά επεκτείνεται στις σχέσεις και στις επιπτώσεις από την ύπαρξη και τη λειτουργία του συστήματος των μεταφορών στο ευρύτερο κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον μιας περιοχής, με έμφαση στο ακουστικό και ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Θόρυβος (16/22)

- Η κοινοτική Νομοθεσία που αφορά στην αντιμετώπιση του θορύβου, μέχρι τη θέση σε ισχύ της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ, ήταν ουσιαστικά ατελής και περιστασιακή. Η πλέον ολοκληρωμένη προσπάθεια, πριν από το 2002, εκφράζεται με την Οδηγία 2000/14/ΕΚ, ο γενικός στόχος της οποίας αφορούσε στην εκπομπή θορύβου από τεχνικό εξοπλισμό χρησιμοποιούμενο σε εξωτερικούς χώρους και επικεντρώνεται στην αντιμετώπιση του θορύβου που εκπέμπεται από πολλές κατηγορίες μηχανημάτων, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του πληθυσμού μέσω του περιορισμού των εκπομπών θορύβου.
- Με την απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 2002/49/CE 25-06-2002 εισάγεται και ορίζεται ο όρος «περιβαλλοντικός θόρυβος».

Θόρυβος (17/22)

- Ως «περιβαλλοντικός θόρυβος» ορίζεται ο ανεπιθύμητος ή επιβλαβής θόρυβος στην ύπαιθρο που δημιουργείται από ανθρώπινες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένου του θορύβου που εκπέμπεται από μεταφορικά μέσα, από οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές και από χώρους βιομηχανικής δραστηριότητας.
- Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/ΕΚ ενσωματώθηκε στο ελληνικό θεσμικό πλαίσιο με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) υπ' αριθμ. 13586/724 (ΦΕΚ Β' 384 28.3.2006) «περί καθορισμού μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της ανωτέρω οδηγίας».

Θόρυβος (18/22)

- Στο άρθρο 5 της ΚΥΑ καθορίζονται ως δείκτες αξιολόγησης περιβαλλοντικού θορύβου, οι L_{den} ($L_{day-evening-night}$) και L_{night} κατά τα αναφερόμενα στο παράρτημα Ι του άρθρου 11 για την προετοιμασία και την αναθεώρηση της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου σύμφωνα με το άρθρο 7, καθώς και για οποιαδήποτε μελέτη αξιολόγησης επιπτώσεων από οδικό, σιδηροδρομικό, αεροπορικό και βιομηχανικό θόρυβο.

Θόρυβος (19/22)

- Οι πηγές θορύβου που σχετίζονται με τις μεταφορές κατανέμονται σε ανάλογες κατηγορίες με αυτές των μεταφορικών συστημάτων, δηλαδή:
 - Πηγές θορύβου σχετιζόμενες με τις οδικές μεταφορές και γενικότερα με την κίνηση των οχημάτων σε αστικές και υπεραστικές συνθήκες, καθώς και σε διαδικασίες στάθμευσης, κ.λπ.
 - Πηγές θορύβου σχετιζόμενες με τις σιδηροδρομικές μεταφορές.
 - Πηγές θορύβου σχετιζόμενες με τις θαλάσσιες μεταφορές.
 - Πηγές θορύβου σχετιζόμενες με τις αεροπορικές μεταφορές.

Θόρυβος (20/22)

- Το πλέον αντιπροσωπευτικό σύστημα παρακολούθησης στην Ελλάδα βρίσκεται σε πλήρη ανάπτυξη και λειτουργία στο έργο της Αττικής Οδού. Οι σχετικοί περιβαλλοντικοί όροι του προέβλεπαν την εγκατάσταση αυτόματων σταθμών μετρήσεων Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου (ΟΚΘ), σε συνδυασμό με σταθμούς παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.
- Η χωροθέτηση των σταθμών αυτών και η υλοποιηθείσα δομή του συστήματος εξασφαλίζει τη συνεχή καταγραφή της στάθμης των δεικτών ΟΚΘ:
 - $L_{10}(18h)$: βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας
 - L_{Aeq} : (08:00-20:00) βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας
 - L_{Aeq} : (24h)
 - L_{day} (07:00-19:00) , $L_{evening}$ (19:00-23:00), L_{night} (23:00-07:00) και L_{den} βάσει της ισχύουσας ευρωπαϊκής οδηγίας 2002/49/ΕΚ.

Θόρυβος (21/22)

- Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των προαναφερθέντων δεικτών κυκλοφοριακού θορύβου καθορίζονται τα ακόλουθα:
 - $L_{10}(18h) = 70 \text{ dB(A)}$
 - $L_{eq} (08:00-20:00) = 67 \text{ dB(A)}$

μετρούμενα σε απόσταση 2,0 μέτρων από την πρόσοψη των πλησιέστερων, προς το οδικό έργο (ή και τις συνοδές του εγκαταστάσεις), κτιρίων της πολεοδομικής ενότητας.

- Σε ό,τι αφορά στους Θορύβους Οδικής Κυκλοφορίας σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 2002/49/ΕΚ στα κράτη-μέλη που δε διαθέτουν κάποιες εθνικές μεθόδους υπολογισμού ή στα κράτη-μέλη που επιθυμούν να υιοθετήσουν κάποια άλλη μέθοδο υπολογισμού από την υφιστάμενη, θα εφαρμόζεται η γαλλική εθνική μέθοδος υπολογισμού “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)” όπως αναφέρεται στο “Article du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, Journal Officiel du mai 1995, Article 6” και στο γαλλικό πρότυπο “XPS 31-133”.

Θόρυβος (22/22)

- Στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές του κανονισμού 2002/49/ΕΚ, η μέθοδος αυτή αναφέρεται ως μέθοδος ΧΡS 31-133 και περιγράφει λεπτομερή διαδικασία για τον υπολογισμό της ηχοστάθμης που προκαλεί η οδική κυκλοφορία πλησίον μιας οδού, λαμβανομένης υπόψη της επίδρασης των καιρικών συνθηκών που επηρεάζουν τη διάδοση.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (1/36)

- Οι μέθοδοι υπολογισμού του εκπεμπόμενου θορύβου λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων σε οδικά τμήματα συνίστανται από δύο υπομεθόδους:
 - Τη μέθοδο υπολογισμού του επιπέδου θορύβου στην πηγή εκπομπής αυτού, και
 - τη μέθοδο η οποία αναλύει τον τρόπο εξάπλωσης του θορύβου στο χώρο.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (2/36)

- Η συγκριτική ανάλυση των μεθόδων υπολογισμού του θορύβου καταδεικνύει πως ενώ όλες οι μέθοδοι σε γενικές γραμμές βασίζονται στην ίδια λογική για τον υπολογισμό του επιπέδου θορύβου και της εξάπλωσής του στο χώρο. Οι λεπτομέρειες και οι εξισώσεις των μεθόδων καταδεικνύουν τις διαφορές μεταξύ τους, οι οποίες είναι:
 - Τα οδικά τμήματα αντιμετωπίζονται ως συλλογή ασυνεχών πηγών εκπομπής θορύβου από ορισμένα μοντέλα πρόβλεψης όπως το γαλλικό μοντέλο NMPB/XPS 13-311 και το μοντέλο Nord 2000. Αντιθέτως το βρετανικό μοντέλο CRTN αντιμετωπίζει τα οδικά τμήματα ως γραμμικές πηγές θορύβου.
 - Η αναπαράσταση της εξάπλωσης του θορύβου από τις πηγές εκπομπής διαφοροποιείται από μοντέλο σε μοντέλο. Για παράδειγμα το γερμανικό μοντέλο RLS περιγράφει την πηγή χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο εκπομπής του θορύβου με τη χρήση του μεγέθους L_{Aeq} σε απόσταση 25μ. από τη λωρίδα κυκλοφορίας, ενώ το μοντέλο Nord 2000 χρησιμοποιεί το επίπεδο θορύβου που είναι εκτεθειμένο σε απόσταση 10μ. κατά τη διέλευση ελαφρών και βαρέων οχημάτων σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης καταγράφοντας το μέγιστο δυνατό επίπεδο εκπομπής θορύβου. Το βρετανικό μοντέλο προσδιορίζει το βασικό μέγεθος θορύβου σε απόσταση 10μ. από την πλησιέστερη άκρη του οδοστρώματος στη βάση του μεγέθους L_{A10} .

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (3/36)

- Το βρετανικό μοντέλο CRTN δε λαμβάνει υπόψη τυχόν ασυνέχειες στη συχνότητα των εκπεμπόμενων θορύβων, ενώ αντίθετα προσφέρει ένα Α-σταθμισμένο αποτέλεσμα (A-weighted result = πρόκειται για ένα διεθνώς αναγνωρισμένο στατιστικό μέγεθος υπολογισμού της πίεσης ενός ήχου). Το γαλλικό μοντέλο βασίζεται στην ανάλυση του ήχου βάσει της οκτάβας στην οποία εντάσσεται ο εκπεμπόμενος ήχος – θόρυβος.
- Το ελβετικό μοντέλο StL-86 θεωρεί την κυκλοφορία των οχημάτων και στις δύο κατευθύνσεις ως ενιαία αντιστοιχώντας την σε έναν οδικό άξονα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν συνέπειες στον υπολογισμό της κλίσης του οδικού άξονα.
- Το γερμανικό μοντέλο RLS 90 συμπεριλαμβάνει μία μέθοδο για τον υπολογισμό του εκπεμπόμενου θορύβου κατά τη διαδικασία στάθμευσης και αντίστοιχα κατά τη διαδικασία εξόδου από μία θέση στάθμευσης.
- Τα μοντέλα πρόβλεψης του εκπεμπόμενου θορύβου στην Ευρώπη, προϋποθέτουν διαφορετικό ύψος στην τοποθέτηση του σημείου εκπομπής του θορύβου το οποίο κυμαίνεται από 0,3m έως 0,75m.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (4/36)

- Η συγκριτική ανάλυση των μοντέλων καταδεικνύει πως ακόμη και για το ίδιο οδικό τμήμα, οι διαφορές στα μοντέλα υπολογισμού του εκπεμπόμενου θορύβου θα επέφεραν και διαφορές στα αποτελέσματα.
- Όλα τα μοντέλα ως αποτέλεσμα εμπειρικής προσέγγισης ενσωματώνουν παραδοχές και απλοποιήσεις ενώ αναπαριστούν με απλοϊκό τρόπο την πηγή εκπομπής του θορύβου.
- Η διαφορά ακόμη και 5 decibels (dB) στον υπολογισμό του εκπεμπόμενου θορύβου λόγω της διαφορετικής προσέγγισης των μοντέλων είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (5/36)

- Σε ερευνητική τους προσπάθεια οι Van den Berg & Gerretsen εντόπισαν διαφορές στον υπολογισμό του επιπέδου του εκπεμπόμενου θορύβου της τάξης των 6-10 dB(A) για διάφορα οδικά τμήματα χρησιμοποιώντας το αυστριακό, το γερμανικό, το γαλλικό και το δανέζικο μοντέλο.
- Στον Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αντίστοιχης (Strategic environmental noise amppring) με την προηγούμενη ερευνητική προσπάθεια σε αποστάσεις 30m και 50m από το σημείο εκπομπής του θορύβου και σε ύψος 2m από το έδαφος εγκατεστημένη η συσκευή σύλληψης και καταγραφής.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (6/36)

	Distance 30 m	Distance 50m including screening	Noise reduction (mainly by screen)
Austria	76	65	11
France	75	64	11
Germany	77	68	9
Great Britain	78	66	12
the Netherlands	74	61	13

Σχήμα 2: Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων για την καταγραφή θορύβου σε ευρωπαϊκές πόλεις – Strategic environmental noise mapping

Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ερευνητικής προσπάθειας για την καταγραφή θορύβου σε αποστάσεις 30m και 50m από το σημείο εκπομπής και σε ύψος 2m με διάφορα μοντέλα.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (7/36)

- Ο δείκτης απόδοσης του επιπέδου του εκπεμπόμενου θορύβου που προτάθηκε προσφάτως από την Ευρωπαϊκή Ένωση και κερδίζει διαρκώς έδαφος έναντι των υπολοίπων είναι ο L_{den} .
- Στο Ηνωμένο Βασίλειο και στην Ιρλανδία χρησιμοποιείται το μοντέλο CRTN το οποίο αναπτύχθηκε στη λογική του υπολογισμού του μεγέθους L_{10} . Ωστόσο το Ηνωμένο Βασίλειο υποχρεώθηκε να το τροποποιήσει ώστε να συνάδει με τα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Το αποτέλεσμα είναι το μοντέλο πλέον να παρέχει τη δυνατότητα του έμμεσου υπολογισμού του μεγέθους L_{den} εφόσον υπολογισθεί το μέγεθος L_{10} .

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (8/36)

- Το πρόβλημα που συνεχίζει εντούτοις να υφίσταται αφορά στον υπολογισμό του επιπέδου του εκπεμπόμενου θορύβου κατά τις νυχτερινές ώρες.
- Η αιτία του προβλήματος έγκειται στο γεγονός πως δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ των δύο μεγεθών $L_{A10,1h}$ και $L_{Aeq,1h}$ για μετρήσεις που αφορούν σε νυχτερινές ώρες.
- Το μέγεθος L_{den} αποτελεί δείκτη απόδοσης της μέσης τιμής κατά τη διάρκεια του πρωινού, του απογεύματος και της νύχτας του επιπέδου του θορύβου για ένα ολόκληρο έτος. Λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στη διάρκεια ενός έτους αναμένεται τα τελικά αποτελέσματα υπολογισμού του δείκτη να διαφοροποιούνται.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (9/36)

Μέθοδοι υπολογισμού του θορύβου σε υπεραστικές οδούς

Το μέσο επίπεδο θορύβου (L_m) το οποίο μετρείται σε dB(A) δίδεται από τη σχέση (CRTN):

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \sum_1^n 10^{0,1L_i} \cdot t_i \right] \quad (1)$$

Όπου

- $t_2 - t_1$: χρονικό διάστημα για το οποίο ζητείται το επίπεδο θορύβου
- L_i : επίπεδο θορύβου κατά τη χρονική στιγμή t_i ($t_1 < t_i < t_2$)
- t_i : χρονικό διάστημα με επίπεδο θορύβου L_i

Η εξίσωση επιτρέπει τον προσδιορισμό του επιπέδου θορύβου διαφόρων εντάσεων (L_i) και συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (10/36)

Έστω ότι κατά τη διάρκεια 12 ωρών έχουμε 65 dB(A) ενώ κατά τη διάρκεια 6 ωρών (στη διάρκεια του 12ώρου) έχουμε επίπεδο θορύβου 68 (dB), το μέσο επίπεδο θορύβου κατά τη διάρκεια του 12ώρου είναι:

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{12} \left(10^{0,1 \cdot 65} \cdot 12 + 10^{0,1 \cdot 68} \cdot 6 \right) \right] = 68 \text{ dB(A)}.$$

Συνήθως καθορίζεται ένα επίπεδο θορύβου, το οποίο για προκαθορισμένη χρονική αναλογία είναι ανώτερο του L_m . Τέτοιες τιμές είναι συνήθως οι:

- L_{95} : δηλαδή στο 95% του χρονικού διαστήματος t_2-t_1 το επίπεδο θορύβου υπερβαίνει την τιμή L_m .
- L_{50} : με την ίδια σημασία αλλά για το 50% του χρόνου.
- L_{10} : όπως προηγουμένως αλλά για το 10% του χρόνου.

Η τιμή L_{eq} είναι το ισοδύναμο σταθερό επίπεδο θορύβου για ορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο αντιστοιχεί στη συνολική ακουστική ενέργεια, της χρονικής περιόδου για την οποία προσδιορίζεται θεωρώντας ομοιόμορφη κατανομή του θορύβου στην υπόψη περίοδο.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (11/36)

Η εξίσωση προσδιορισμού του ισοδύναμου επιπέδου θορύβου αναφέρεται στην ιδεατή περίπτωση κυκλοφορίας οχημάτων σε μία λωρίδα (CRTN).

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \frac{1}{100} \sum 10^{\frac{L_i}{10}} \cdot f_i \quad (2)$$

Όπου

- L_i : επίπεδο θορύβου σε (dB) που αντιστοιχεί στη μέση τιμή της κατηγορίας i
- f_i : χρονική περίοδος κατά την οποία το επίπεδο του θορύβου είναι εντός των ορίων της κατηγορίας i

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (12/36)

Τύπος οχήματος	Ε.Ε.	Η.Π.Α.	Ελβετία	Ιαπωνία	Ο.Ο.Σ.Α. (πρόταση)
Επιβατικά	77	–	75-77*	78	75
Φορτηγά ελαφρά (<3.5t)	78-79**	–	77-79*	78	75
Λεωφορεία <3.5t	78-79**	–	77-79*	78	75
Φορτηγά:					
Ισχύος μέχρι 150 KW	83	86	82	83	80
Άνω των 150 KW	84	86	84	83	80
Λεωφορεία ισχύος					
≤ 150 KW	80	83	80	83	80
>150 KW	83	83	82	83	80
Μοτοσυκλέτες 500 cc	80	83	83	75	75
* οχήματα 4 ταχυτήτων ** αύξηση κατά 1 dB (A) για οχήματα ντήζελ με άμεσο ψεκασμό 1 η μέτρηση της έντασης γίνεται σε απόσταση 7.5μ. από το όχημα και στη φάση επιτάχυνσης (ISO R362)					

Σχήμα 3: Επιτρεπόμενη ένταση θορύβου οχημάτων – Βίζμπα Χ.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (13/36)

- Το επίπεδο θορύβου επηρεάζεται από το πλήθος παραγόντων, όπως είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, η ταχύτητα, η τοπογραφική και πολεοδομική διαμόρφωση, η απόσταση από την πηγή θορύβου, ο τύπος του οχήματος (Σχήμα 3), κ.λπ.
- Για τον υπολογισμό του επιπέδου θορύβου έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα πρόβλεψης, με τη βοήθεια των οποίων χαράσσονται ισοηχορυπαντικές καμπύλες.
- Πέραν αυτών των μοντέλων, τα οποία κυρίως εμφανίζονται στις Η.Π.Α. σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες αναπτύχθηκαν μέθοδοι υπολογισμού της ηχορύπανσης, οι οποίες κατά κανόνα δεν απαιτούν τη χρήση Η/Υ, σε αντίθεση με τα μαθηματικά μοντέλα.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (14/36)

Οι επόμενες μέθοδοι υπολογίζουν το επίπεδο θορύβου.

Γερμανική μέθοδος

Οι επόμενες εξισώσεις υπολογίζουν το επίπεδο θορύβου σε απόσταση 7,5 m από το μέσο της πλησιέστερης λωρίδας κυκλοφορίας για επιβατικά οχήματα (L_E) και για φορτηγά (L_ϕ).

- επιβατικό:
$$L_E = 51,0 + 10 \cdot \log(V + 0,02 \cdot V^3 \cdot V^4) \quad (3)$$

- φορτηγό:
$$L_\phi = 46,4 + 22,5 \cdot \log(V) \quad (4)$$

Όπου V : ταχύτητα (km/h)

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (16/36)

Ιαπωνική μέθοδος

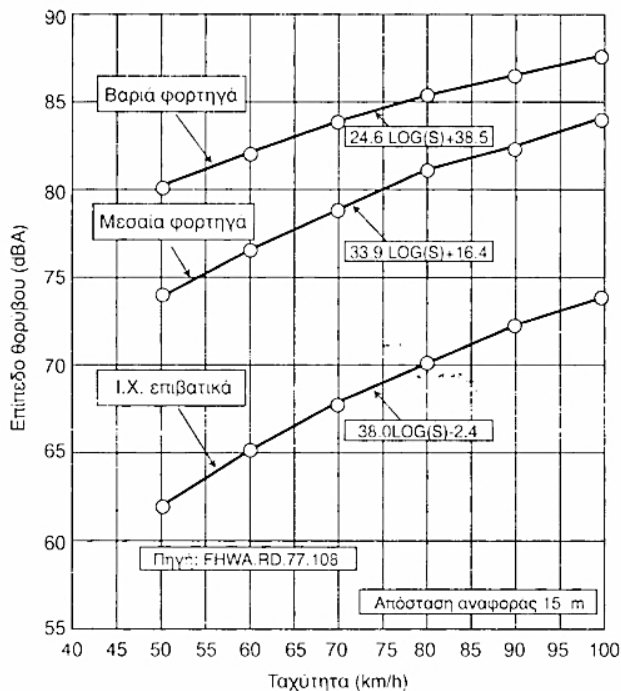
Οι επόμενες εξισώσεις υπολογίζουν το επίπεδο θορύβου σε απόσταση 7,5 m

- επιβατικό: $L_E = 87 + 0,2 \cdot V - 20 \cdot \log(7,5) - 8$ (5)

- φορτηγό: $L_\varphi = 87 + 0,2 \cdot V + 10 \cdot \log(8) - 20 \cdot \log(7,5) - 8$ (6)

Όπου V : ταχύτητα (km/h).

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (17/36)



1. Ι.Χ. επιβατικά: οχήματα με 2 άξονες και 4 τροχούς
2. Μεσαία φορτηγά: οχήματα με 2 άξονες και 6 τροχούς
3. Βαρια φορτηγά: οχήματα με 3 ή περισσότερους άξονες

Σχήμα 4: Νομογράφημα υπολογισμού του επιπέδου θορύβου FHWA TNM®

➤ Αμερικανική μέθοδος

Οι πλέον πρόσφατες αφορούν όχι το επίπεδο θορύβου, αλλά το μέσο επίπεδο εκπομπής ενέργειας.

Το νομογράφημα στο Σχήμα 4 προσδιορίζει το επίπεδο θορύβου για 3 τύπους οχημάτων και προέκυψε από εκτεταμένη σειρά μετρήσεων για διάφορους τύπους οχημάτων.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (18/36)

Καναδική μέθοδος

Οι αρχές του Οντάριο έχουν προτείνει τις ακόλουθες εξισώσεις για τον υπολογισμό του θορύβου:

- Βαρέα φορτηγά: $12,59 \cdot \log S + 60,64$
- Επιμήκη φορτηγά: $10,88 \cdot \log S + 63,98$
- Μέσα φορτηγά: $24,06 \cdot \log S + 34,90$
- Επιβατικά: $30,41 \cdot \log S + 13,59$

Όπου S ταχύτητα (km/h).

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (19/36)

Βρετανική μέθοδος

- Όλες οι τιμές επιπέδων θορύβου εκφράζονται βάσει του στατιστικού ωριαίου δείκτη $L_{10(1h)}$ ή του στατιστικού 18-ωρου δείκτη $L_{10(18h)}$.
- Ο δείκτης $L_{10(1h)}$ ορίζει το επίπεδο του θορύβου το οποίο υπερβαίνει το 10% του χρόνου παρατήρησης για χρονική περίοδο αναφοράς τη μία ώρα.
- Ο δείκτης $L_{10(18h)}$ ορίζει τον αριθμητικό μέσο όρο των τιμών του ωριαίου δείκτη $L_{10(1h)}$ για έκαστη από τις 18 ωριαίες περιόδους από τις 06:00 έως τις 24:00.
- Η πηγή του κυκλοφοριακού θορύβου λαμβάνεται 0,5m από την επιφάνεια του οδοστρώματος σε απόσταση 3,5m από την πλησιέστερη οριογραμμή.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (20/36)

Οι προϋποθέσεις που θέτει η βρετανική μέθοδος για την εφαρμογή της είναι:

1. Το σημείο στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση θα πρέπει να εξασφαλίζει πολύ καλή ορατότητα στον οδικό άξονα για τον οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση.
2. Η απόσταση του σημείου δεν μπορεί να είναι λιγότερη από 5μ. ή μεγαλύτερη από 15μ. από το πλησιέστερο άκρο του οδοστρώματος.
3. Το μέγεθος που μετράται είναι το επίπεδο θορύβου L_{10} (18 hours) με σκοπό να υπολογισθεί και η μελλοντική τιμή του.
4. Οι μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται με στεγνό οδόστρωμα.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (21/36)

5. Οι μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται όταν η ταχύτητα ανέμου σε ύψος 1,2m και στο μέσο της απόστασης του σημείου ελέγχου και του άκρου του οδοστρώματος δεν ξεπερνά τα 2m/s.
6. Η κατεύθυνση του ανέμου θα πρέπει να είναι προς την κατεύθυνση του σημείου ελέγχου και η μέγιστη τιμή στο μικρόφωνο να μην ξεπερνά τα 10 dB(A) ή να είναι πολύ χαμηλότερη από τη μετρηθείσα τιμή του μεγέθους L_{10} . Σε κάθε περίπτωση προτείνεται η χρήση προστατευτικής διάταξης για το μικρόφωνο και οι μετρήσεις να μην πραγματοποιούνται όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από 10m/s.
7. Το μικρόφωνο θα πρέπει να τοποθετείται σε ύψος 1,2m με σκοπό το διάφραγμα ή άλλες ηχοευαίσθητες συσκευές να είναι σε οριζόντια θέση.
8. Ο ελάχιστος χρόνος καταγραφής των επιπέδων θορύβου t_{\min} εξαρτάται από το **ρυθμό καταγραφής** r σε δείγματα ανά λεπτό και το ρυθμό διέλευσης των οχημάτων έμπροσθεν του σημείου ελέγχου, ενώ υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$t_{\min} = \left(\frac{4000}{q} + \frac{120}{r} \right) \text{min} \quad (7)$$

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (22/36)

Τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν κατά τη βρετανική μέθοδο στην περίπτωση υπολογισμού του θορύβου λαμβάνοντας υπόψη τις κυκλοφοριακές παραμέτρους είναι τα ακόλουθα:

1. Διαίρεση της οδού σε επιμέρους τμήματα
2. Υπολογισμός του βασικού επιπέδου θορύβου $L_{10(1h)}$ σε dB(A) σε κάθε επιμέρους τμήμα
 - i. Διόρθωση λόγω βαρέων οχημάτων και ταχύτητας χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση όπου (p) το ποσοστό των βαρέων οχημάτων και (V) η ταχύτητα

$$C_{p,v} = 33 \cdot \log\left(V + 40 + \frac{500}{V}\right) + 10 \cdot \log\left(1 + 5 \cdot \frac{P}{V}\right) - 68,8 \quad (8)$$

- ii. Διόρθωση λόγω κατά μήκος κλίσης της οδού από την εξίσωση: $C_G = 0,3 \cdot G$ (9), όπου G η κατά μήκος κλίση της οδού.

- iii. Διόρθωση λόγω της επιφάνειας του οδοστρώματος (TD = πάχος του οδοστρώματος σε mm)

$$C_{SC} = 10 \cdot \log(90TD + 30) - 20 \text{ dB(A)} \quad (10) \quad \text{για δύσκαμπτα οδοστρώματα}$$

$$C_{SC} = 10 \cdot \log(90TD + 60) - 20 \text{ dB(A)} \quad (11) \quad \text{για εύκαμπτα οδοστρώματα}$$

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (23/36)

iv. Διόρθωση λόγω απόστασης για σημεία σε απόσταση $\geq 4\text{m}$

$$C_d = -10 \cdot \log\left(\frac{d'}{13,5}\right) \text{ dB(A)} \quad (12)$$

– Όπου d' η άμεση απόσταση της θέσης ενεργής πηγής από το δέκτη έτσι ώστε

$$d' = \sqrt{(d + 3,5)^2 + h^2} \quad (13)$$

v. Διόρθωση λόγω απορρόφησης του εδάφους

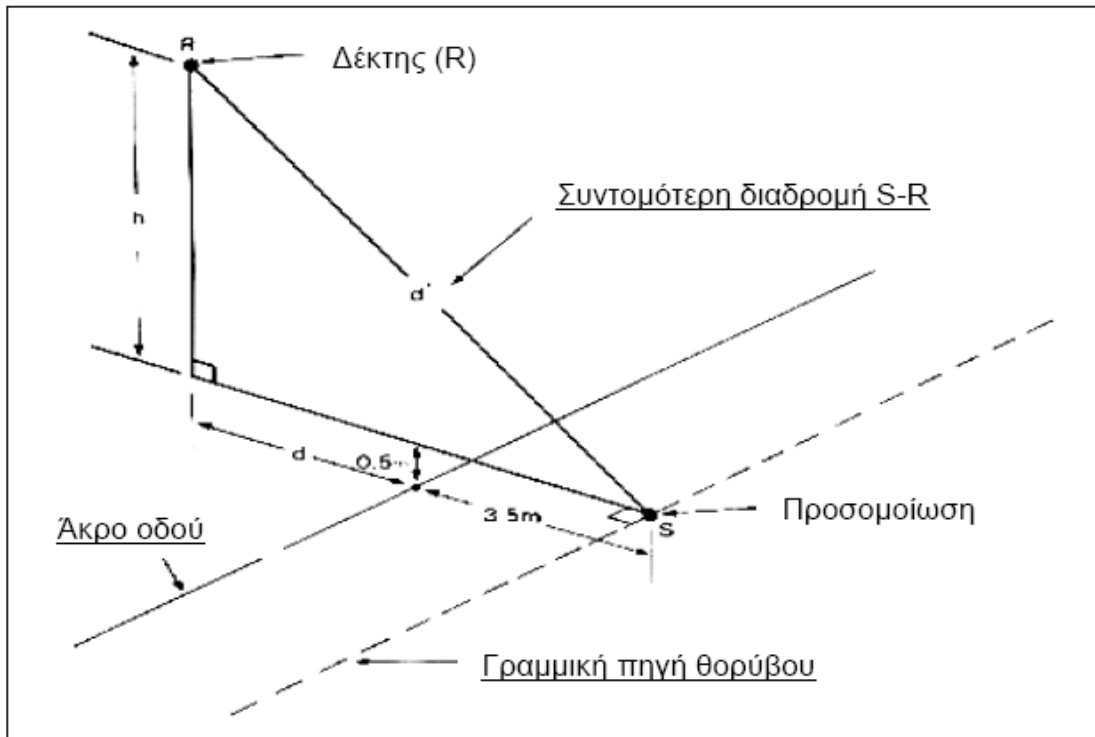
$C_g = 5.2 \cdot \log\left(\frac{3}{d + 3.5}\right) \text{ dB(A),}$	για $H < 0,75$
$C_g = 5.2 \cdot \log\left(\frac{6H - 1.5}{d + 3.5}\right) \text{ dB(A),}$	για $0,75 \leq H < (d+5)/6$
$C_g = 0 \text{ dB(A),}$	για $H \geq (d+5)/6$

(14)

Όπου

- H : η μέση υψομετρική διαφορά της ηχητικής διάδοσης
- d : η απόσταση του δέκτη από την οριογραμμή
- I : η απορροφητικότητα του εδάφους μεταξύ της πλησιέστερης οριογραμμής της οδού και του δέκτη.

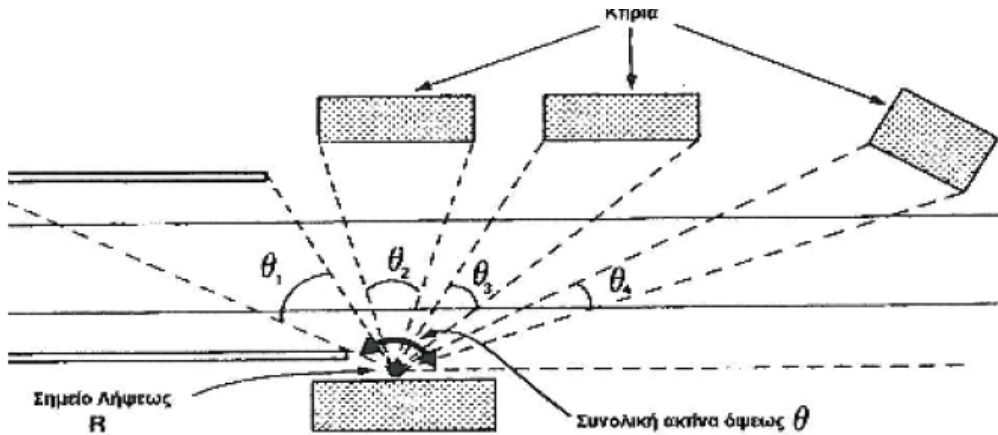
Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (24/36)



d : η οριζόντια απόσταση από την άκρη του οδοστρώματος στην προβολή του δέκτη στο έδαφος και h το ύψος του δέκτη από το επίπεδο του οδοστρώματος.

Σχήμα 5: Σχηματική παράσταση των κυριότερων απαραίτητων μεγεθών για τη χρήση της βρετανικής μεθόδου – Βίζμπα Χ.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (25/36)



Σχήμα 6: Σχηματική παράσταση παραδείγματος διόρθωσης λόγω παρουσίας φράγματος κατά τη βρετανική μέθοδο – Βίζμπα Χ.

- vi. Διόρθωση λόγω της παρουσίας φράγματος σε περίπτωση που υφίσταται αντανακλαστική επιφάνεια στην απέναντι πλευρά του σημείου λήψης με ύψος μεγαλύτερο του 1,5m βάσει της εξίσωσης

$$C_{RO} = +1,5 \cdot \frac{\theta}{\theta'} \quad (15)$$

Όπου θ' το άθροισμα των γωνιών όψεως των εμποδίων ($\theta' = \theta + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4$) και η θ η συνολική τους γωνία όψεως

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (26/36)

Σκανδιναβική μέθοδος

Η Νέα Σκανδιναβική Μέθοδος χωρίζεται σε δύο μέρη, τον προσδιορισμό της πηγής και την ηχητική διάδοση. Βασική αρχή της μεθόδου αποτελεί η υπόθεση πως μία πηγή η οποία κινείται αποτελείται από αριθμό επί μέρους ηχητικών πηγών για ευρύ φάσμα συχνοτήτων.

Ολλανδική μέθοδος SRM II (2002)

Στην Ολλανδία χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι υπολογισμού, η SRM I για απλές περιπτώσεις και η SRM II για πιο σύνθετες. Επιπρόσθετα χρησιμοποιείται μέθοδος βασισμένη στη θεωρία Maekawa για τον προσδιορισμό της επίδρασης φράγματος.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (27/36)

Αυστριακή μέθοδος RVS 3.02

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε συνθήκες ελεύθερης κυκλοφοριακής ροής και τα στοιχεία που τη χαρακτηρίζουν είναι:

- Η απόσταση αναφοράς 25m.
- Ο προσδιορισμός του επιπέδου θορύβου έκαστης κατηγορίας οχημάτων ανάλογα με την επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Η ταχύτητα.

Ελβετική μέθοδος STL

Αποτελεί μέθοδο απλή δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στη διόρθωση λόγω ανάκλασης – αντανάκλασης σε κατοικημένες περιοχές.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (28/36)

Μέθοδοι υπολογισμού του θορύβου σε αστικές οδούς (βρετανική μέθοδος)

Οι μέθοδοι υπολογισμού σε υπεραστικές οδούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε περιπτώσεις πυκνής αστικής δόμησης.

Είναι προφανές όμως ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η εφαρμογή τους είναι πρακτικά αδύνατη.

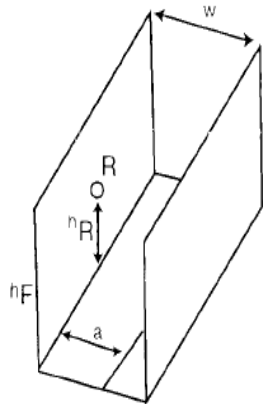
Η μέθοδος υπολογισμού του θορύβου σε αστικές περιοχές εισάγει την έννοια της διόρθωσης λόγω των κτιρίων.

1. Οδός σε ευθεία με συνεχή δόμηση.

Η ακουστική κατάσταση μπορεί να περιγραφεί από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ύψος πρόσοψης κτιρίων (h_F)
- Απόσταση μεταξύ κτιρίων (w)
- Συντελεστής απορρόφησης ήχου κοινός για την πρόσοψη και την οδό (α)
- Βαθμός της διασποράς της ενέργειας λόγω ανάκλασης στις προσόψεις (d)
- Ύψος παρατηρητή (h_R)
- Θέση λωρίδας κυκλοφορίας από τον παρατηρητή (a).

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (29/36)



Λωρίδα κυκλοφορίας

Σχήμα 7: Σχηματική παράσταση λωρίδας κυκλοφορίας κατά τη βρετανική μέθοδο – Calculation of Road Traffic Noise

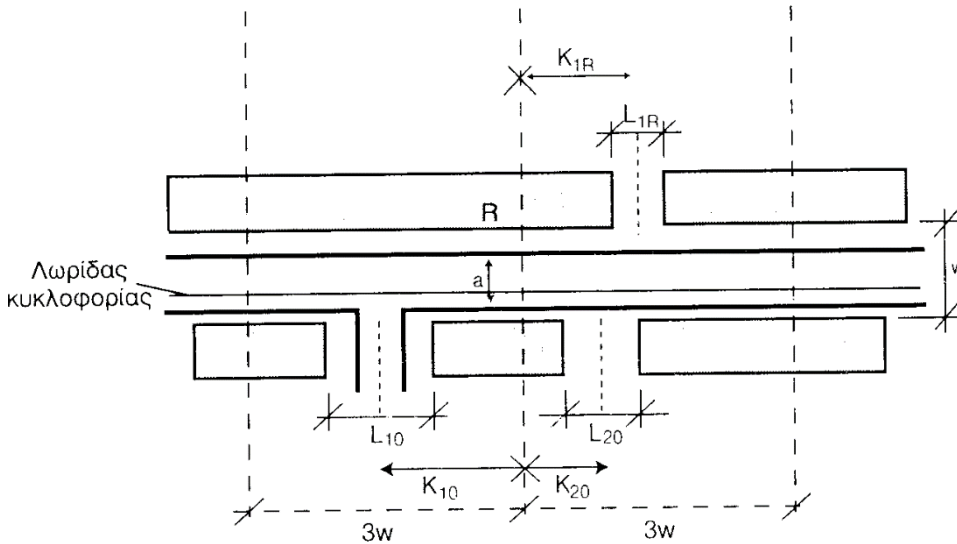
Για τη γεωμετρία του Σχήματος 7 και για οδό με μήκος τουλάχιστον $6 \cdot w$ η παρακάτω εξίσωση υπολογίζει τη διόρθωση λόγω κτιρίων (BC = Building correction) για σημείο θέσης απόστασης (x).

$$BC = 10 \cdot \log \left[\frac{\int_{-3}^3 \frac{1}{x^2 + r^2} \cdot \left(10 \cdot \frac{s \cdot \sqrt{x^2 + r^2}}{10} \right) dx}{\int_{-3}^3 \frac{1}{x^2 + r^2} dx} \right] \quad (16)$$

Η εξίσωση προέκυψε θεωρώντας ότι η προς μέτρηση θέση βρίσκεται στο μέσο του διαστήματος $6 \cdot w$ και για

$$r = \frac{\sqrt{a^2 + h_R^2}}{w} \quad (17)$$

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (30/36)



Σχήμα 8: Σχηματική παράσταση οδού μη πλήρως δομημένης- Calculation of Road Traffic Noise

Για την περίπτωση οδού μη πλήρως δομημένης, η οποία είναι συνήθως περίπτωση αστικών οδών και με τους συμβολισμούς του σχήματος, προέκυψε ότι ο συντελεστής διόρθωσης (BC_k) δίνεται από τη σχέση

$$BC_k = BC \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot x \dots \cdot f_n \quad (18)$$

Όπου

BC_k : συντελεστής διόρθωσης για οδό με κενά

BC : συντελεστής διόρθωσης πλήρως δομημένης οδού

f_i : συντελεστής μείωσης λόγω κενού i

Η εφαρμογή της μεθόδου και οι συντελεστές f_i δίνονται από πίνακες.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (31/36)

Γαλλική μέθοδος (προτεινόμενη να ισχύει ως ευρωπαϊκή μέθοδος)

Πρόκειται για το μοντέλο XPS 13-311 το οποίο καθορίζει ως δείκτες αξιολόγησης περιβαλλοντικού θορύβου τους δείκτες L_{den} και L_{night} για την προετοιμασία και την αναθέωση της Στρατηγικής Χαρτογράφησης Θορύβου οι οποίοι, σύμφωνα με την ΚΥΑ 13586/724 (ΦΕΚ Β' 384 28.3.2006), εφαρμόζονται και για οποιαδήποτε μελέτη αξιολόγησης επιπτώσεων από αεροπορικό θόρυβο.

Ο δείκτης L_{den} (Day-evening-night level) σε dB(A) είναι ο νέος εναρμονισμένος δείκτης στάθμης θορύβου για το 24ωρο με κατηγοριοποίηση κατά την ημέρα, το απόγευμα και τη νύχτα.

Ο δείκτης L_{night} είναι ο δείκτης διαταραχών του ύπνου.

Ο δείκτης L_{den} έχει αποδεδειγμένη σχέση με το βαθμό κοινής όχλησης θορύβου και ειδικότερα με το ποσοστό αντιδράσεων ισχυρής όχλησης (%HA) και προσδιορίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad (19)$$

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (32/36)

Το επίπεδο ακουστικής ισχύος L_{Awi} σε dB(A) μιας μεμονωμένης σημειακής πηγής i για ένα δεδομένο διάστημα οκτάβας προκύπτει από την εξίσωση που ακολουθεί:

$$L_{Awi} = [(E_{VL} + 10 \cdot \log Q_{VL}) + (E_{PL} + 10 \cdot \log Q_{PL})] + 20 + 10 \cdot \log(I_i) + R_{(j)} \quad (20)$$

Όπου

E_{VL} και E_{PL} : είναι τα επίπεδα εκπομπής θορύβου για τα ελαφρά και τα βαρέα οχήματα αντίστοιχα

Q_{VL} και Q_{PL} : είναι οι ωριαίοι φόρτοι για τα ελαφρά και βαρέα οχήματα αντίστοιχα

I_i : είναι το μήκος σε μέτρα του τμήματος της γραμμής της πηγής I

$R_{(j)}$: είναι η τιμή του φάσματος του οδικού θορύβου

Η γαλλική μέθοδος περιγράφει λεπτομερή διαδικασία για τον υπολογισμό της ηχοστάθμης που προκαλεί η οδική κυκλοφορία πλησίον μιας οδού, λαμβανομένης υπόψη της επίδρασης των καιρικών συνθηκών που επηρεάζουν τη διάδοση.

Η μακροπρόθεσμη ηχοστάθμη $L_{i\text{longterm}}$ ή L_{iLT} υπολογίζεται από την εξίσωση:

Όπου LF η ηχοστάθμη που υπολογίζεται υπό ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης του θορύβου και LH η ηχοστάθμη που υπολογίζεται υπό ομοιογενείς συνθήκες διάδοσης του θορύβου.

$$L_{iLT} = 10 \cdot \log(p_i \cdot 10^{\frac{LF}{10}} + (1 - p) \cdot 10^{\frac{LH}{10}}) \quad (21)$$

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (33/36)

- Το επίπεδο εκπομπής θορύβου ενός οχήματος χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη ηχοστάθμη διέλευσης L_{Amax} σε dB, προσδιοριζόμενη σε ύψος 7,5m από τον κεντρικό άξονα της πορείας του οχήματος.
- Ο οδηγός της γαλλικής μεθόδου (Guide du bruit) περιλαμβάνει νομογραφήματα από τα οποία υπολογίζονται οι τιμές ηχοστάθμης L_{eq} (1 ώρας) σε dB(A) (γνωστή και ως εκπομπή θορύβου E).
- Για τους διαφορετικούς τύπους οχημάτων, η εκπομπή θορύβου E αποτελεί συνάρτηση της ταχύτητας, της κυκλοφορίας και του διαμήκους περιτυπώματος.
- Οι διορθώσεις στον υπολογισμό του κυκλοφοριακού θορύβου λόγω του οδοστρώματος συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορίες οδοστρωμάτων	Διόρθωση επιπέδου θορύβου Ψ		
	0-60 km/h	61-80 km/h	81-130 km/h
Πορώδες οδόστρωμα	- 1 dB	- 2 dB	- 3 dB
Λεία άσφαλτος (ασφαλτικό σκυρόδεμα ή ασφαλτική μαστίχη)		0 dB	
Σκυρόδεμα και κυματοειδής άσφαλτος		+ 2 dB	
Λιθόστρωτο λείας υφής		+ 3 dB	
Λιθόστρωτο ανώμαλης υφής		+ 6 dB	

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (34/36)

Συνοπτικά λοιπόν τα βήματα που προτείνει η γαλλική μέθοδος είναι:

1. Ανάλυση των πηγών του θορύβου σε σημειακές ηχητικές πηγές.
2. Καθορισμός του επιπέδου της ακουστικής ισχύος καθεμιάς από τις πηγές.
3. Αναζήτηση των διαδρομών διάδοσης ανάμεσα σε κάθε μια πηγή και τον δέκτη (διαδρομές άμεσες, ανακλώμενες ή περιθλώμενες).
4. Για κάθε διαδρομής διάδοσης:
 - Υπολογισμός της διάδοσης σε ευνοϊκές συνθήκες.
 - Υπολογισμός της διάδοσης σε ομοιογενείς συνθήκες.
 - Υπολογισμός του μακροπρόθεσμου επιπέδου που προκύπτει από τις ευνοϊκές και τις ομοιογενείς συνθήκες.
5. Άθροισμα των μακροπρόθεσμων ηχητικών επιπέδων κάθε διαδρομής που επιτρέπει επιπλέον τον υπολογισμό του συνολικού επιπέδου θορύβου στο δέκτη.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (35/36)

Σε κάθε 24ωρο υπάρχει: ημέρα 12 ωρών, απόγευμα 4 ωρών και νύκτα 8 ωρών. Αν και τα χρονικά διαστήματα ενδέχεται να επανακαθοριστούν σε μελλοντικό στάδιο, οι βασικές ώρες εκκίνησης και λήξης των τριών (3) χρονικών περιόδων αξιολόγησης είναι:

- 07:00-19:00: για την ημέρα (12 ώρες).
- 19:00-23:00: για το απόγευμα (4 ώρες).
- 23:00-07:00: για τη νύκτα (8 ώρες).

Συνεπώς ισχύει:

- Ο δείκτης L_{day} είναι η A-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο 1996-2:1987, προσδιορισμένη επί του συνόλου των περιόδων ημέρας ενός έτους, για την περίοδο 07:00-19:00.
- Ο δείκτης $L_{evening}$ είναι η A-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο ISO 1996-2:1987, προσδιορισμένη επί του συνόλου των βραδινών περιόδων ενός έτους, για την περίοδο 19:00-23:00.
- Ο δείκτης L_{night} είναι η A-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο ISO 1996-2:1987, προσδιορισμένη επί του συνόλου των νυχτερινών περιόδων ενός έτους, για την περίοδο 23:00-07:00.

Μέθοδοι υπολογισμού θορύβου (36/36)

Επισημαίνεται ότι:

- Ένα έτος αντιστοιχεί στο υπόψη έτος όσον αφορά στην εκπομπή θορύβων και σε ένα μέσο έτος όσον αφορά στις καιρικές συνθήκες, και ότι
- λαμβάνεται υπόψη ο προσπίπτων θόρυβος, που σημαίνει ότι ο ήχος που ανακλάται στην πρόσοψη του συγκεκριμένου κτιρίου δε λαμβάνεται υπόψη.

Το ύψος του σημείου αξιολόγησης των ανωτέρω δεικτών, ορίζεται σε ύψος $4,0 \pm 0,2\text{m}$ (3,8 -4,2m) πάνω στο έδαφος και στην πιο εκτεθειμένη πρόσοψη. Για το σκοπό αυτό, η πιο εκτεθειμένη πρόσοψη είναι ο εξωτερικός τοίχος που είναι απέναντι και πιο κοντά προς τη συγκεκριμένη πηγή θορύβου.

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (1/9)

- Οι τεχνικές εφαρμογές για τη μείωση του θορύβου στις ευαίσθητες περιοχές (νοσοκομεία, σχολεία, κ.λπ.) από την οδική κυκλοφορία οδηγούν στη χρήση ενός συνόλου τεχνικών εφαρμογών και μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω επίπεδα επέμβασης:
 - Μείωση του θορύβου των σημειακών πηγών (οχημάτων) με χρήση μοντέλων τελευταίας γενιάς και διαρκής τήρηση των επιτρεπόμενων ορίων θορύβου τους μέσω αστυνομικών ελέγχων.
 - Διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής με αποτέλεσμα είτε τη μείωση του φόρτου σε επιλεγμένες περιοχές είτε με σύμπτυξη των αξόνων κυκλοφορίας κατά περίπτωση.
 - Μείωση της ταχύτητας σε οδούς είτε επιβάλλοντας όρια είτε με κατάλληλη διαμόρφωση της οδού (π.χ. ράμπες).
 - Επέμβαση στην υποδομή με καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών λαμβάνοντας υπόψη το θόρυβο, και κατά συνέπεια, κατασκευή ανάλογων τεχνικών έργων στις οριογραμμές του καταστρώματος.
 - Γενική αναδιοργάνωση του πολεοδομικού ιστού της υπό μελέτη αστικής περιοχής, ώστε να μην αποτελεί το οδικό κυκλοφοριακό δίκτυο πηγή θορύβου.
 - Ειδική ηχομονωτική κατασκευή των κτιρίων, των οποίων η ανέγερση σε περιοχές με χαμηλότερες στάθμες ηχορύπανσης δεν μπορεί να αποφευχθεί.

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (2/9)

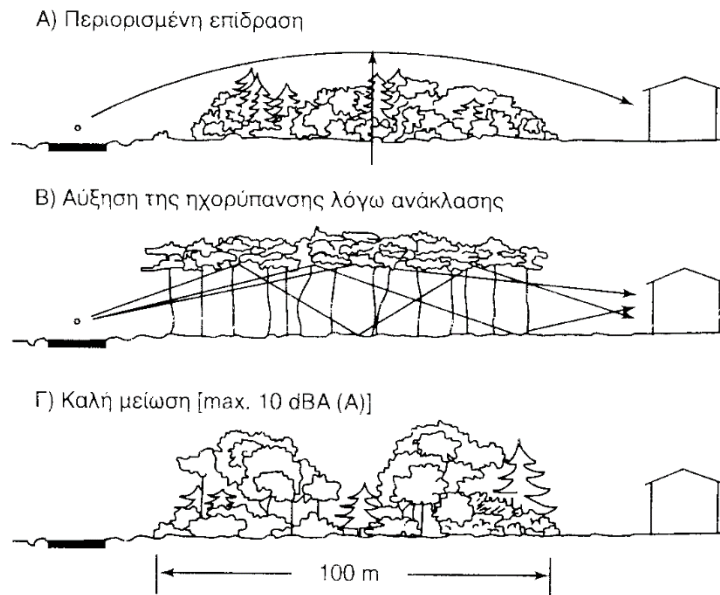
- Τα μέτρα μείωσης της ηχορύπανσης είναι πολλαπλά και καλύπτουν διάφορα επίπεδα, όπως:
 - Την πηγή (το όχημα).
 - Την οδό (ηχοπετάσματα, γεωμετρία οδού, οδόστρωμα).
 - Τον περιβάλλοντα χώρο.
 - Τα κτίρια.
 - Την πολεοδομική διαμόρφωση.

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (3/9)

Μείωση μέσω της πολεοδομικής διαμόρφωσης

- Μεταξύ οδού και κατοικίας παρεμβάλλονται χρήσεις γης των οποίων η όχληση από τον κυκλοφοριακό θόρυβο δεν είναι ουσιαστικός παράγοντας, π.χ. βιομηχανία ή παρεμβάλλονται ελεύθεροι χώροι (με ή χωρίς φύτευση).
- Μειονέκτημα τέτοιων ρυθμίσεων είναι ότι δεν είναι πάντοτε εφικτές ή το κόστος είναι υψηλό ή προσκρούουν σε συμφέροντα, τα οποία επιθυμούν διαφορετική διαμόρφωση.
- Τα αποτελέσματα μετρήσεων και η θεωρητική ανάλυση οδήγησαν στα ακόλουθα συμπεράσματα:
 - Για κλίση της πρόσοψης του κτιρίου ως προς τον άξονα της οδού $< 2,5^\circ$ το έδαφος επιδρά ευεργετικά (λόγω της απορρόφησης).
 - Για σημαντική κλίση των κτιρίων (προσώψεων), μέχρι τον 3^ο όροφο επέρχεται μείωση, για πέραν του 3^{ου} ορόφου η μεταβολή είναι μικρότερη του 1 dB(A)
 - Αύξηση της γωνίας κλίσεως ακόμη και στις 40^ο δεν επιφέρει σημαντική βελτίωση
 - Τα παραπάνω ισχύουν για κτίρια τόσο από τη μία όσο και από τις δύο πλευρές της οδού. Στις περιπτώσεις υψηλών κτιρίων το επίπεδο θορύβου αυξάνει σημαντικά λόγω του φαινομένου της κοιλαδοποίησης (canyon effect).

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (4/9)



Σχήμα 9: Τεχνικές μείωσης του θορύβου – Τσώχος Γ.

Μείωση μέσω φύτευσης (Σχήμα 9)

Η χρησιμοποίηση κατάλληλης φύτευσης μειώνει σημαντικά την ηχορύπανση.

Η εφαρμογή απαιτεί:

- Την ύπαρξη σημαντικής επιφάνειας γης.
- Την κατάλληλη εκλογή και διάταξη.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης της τεχνικής της φύτευσης, αυτή θα πρέπει να τοποθετηθεί πίσω από στα στηθαία ασφαλείας για λόγους αποφυγής πρόσκρουσης των τυχόν εκτρεπομένων οχημάτων επί των δένδρων.

Η ύπαρξη φύτευσης, π.χ. χλόη ή αγροί, επηρεάζει σημαντικά και το βαθμό απορρόφησης του ήχου, ιδίως σε περιπτώσεις κατασκευής προστατευτικών ηχοπετασμάτων, με συνέπεια τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους (μείωση ανάκλασης ήχου).

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (5/9)

- Μείωση μέσω κατασκευαστικών μέτρων στην οδό

Τα μέτρα στην οδό καλύπτουν 3 βασικές κατηγορίες:

- Την κατασκευή ειδικών έργων.
- Την κατασκευή οδοστρωμάτων μειωμένου θορύβου.
- Την κατασκευή προστατευτικών ηχοπετασμάτων.

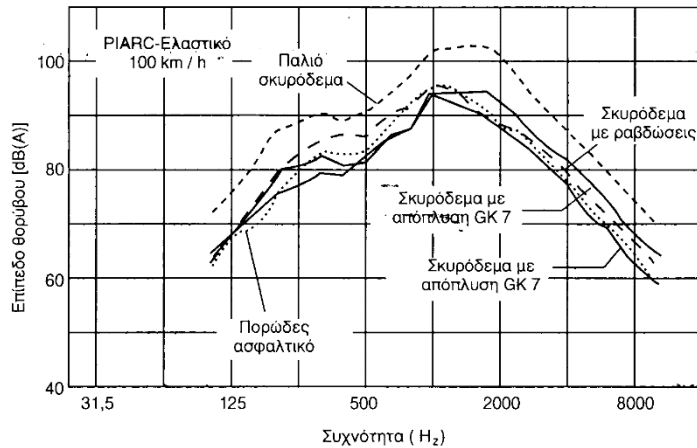
Η κατασκευή ειδικών έργων περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων, κατασκευή σήραγγων, ταπείνωση του άξονα, ώστε η οδός να βρίσκεται σε όρυγμα, κ.λπ.

Πρόκειται για κατασκευές οι οποίες αυξάνουν το κόστος, ορισμένες όμως από αυτές, όπως π.χ. η κατασκευή σήραγγας, μειώνουν ή εξαφανίζουν την ηχορύπανση (η μείωση ανέρχεται μέχρι και 30 dB(A)).

Από ακουστικής άποψης, για να επιτευχθεί μείωση του θορύβου από 75 σε 55dB(A) θα απαιτηθεί ηχοπέτασμα ύψους 18m, μέγεθος απαγορευτικό για αστική περιοχή.

Το είδος του οδοστρώματος, ασφαλτικό, από σκυρόδεμα ή κυβόλιθους, επηρεάζει σημαντικά το επίπεδο θορύβου, το οποίο βέβαια εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως ταχύτητα, υγρό-ξηρό οδόστρωμα, συχνότητα ηχητικής πηγής, κ.λπ.

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (6/9)



Σχήμα 10: Παραγόμενα επίπεδα θορύβου ανάλογα το υλικό του οδοστρώματος – Τσώχος Γ.

- Γενικώς τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα εμφανίζουν υψηλότερο επίπεδο θορύβου.
- Η υφή του οδοστρώματος είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες. Για το θέμα αυτό έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες και τα αποτελέσματα όλων είναι τα «ανοικτά τύπου ή πορώδη» οδοστρώματα (porous or drainage pavements) δίνουν σημαντικά χαμηλότερο επίπεδο θορύβου (Σχήμα 10).

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (7/9)

Τα ηχοπροστατευτικά τοιχώματα (ηχοπετάσματα) αποτελούν το σύνηθες μέτρο. Έτσι σε όλα τα μοντέλα πρόβλεψης υπάρχει μέριμνα για τον προσδιορισμό της ηχοεξασθένισης λόγω ηχοπετάσματος.

Είναι μία λύση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε αστικές όσο και υπεραστικές οδούς.

Συνοπτικά για τους τύπους των ηχοπετασμάτων προκύπτουν τα εξής:

- Η προσθήκη έστω μιας μικρής πρόσθετης επιφάνειας σε απλό κατακόρυφο ηχοπέτασμα, δημιουργώντας 2 ακμές διάθλασης του ήχου βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του πετάσματος.
- Η τοποθέτηση της πρόσθετης επιφάνειας προς την πλευρά της πηγής βελτιώνει ελαφρώς την απόδοση του ηχοπετάσματος.
- Η ύπαρξη οριζόντιου τμήματος συνδέοντος τα δύο τμήματα του ηχοπετάσματος μειώνει την απόδοση.
- Η προσθήκη τρίτου πιο απομακρυσμένου κατακόρυφου τμήματος βελτιώνει ακόμη περισσότερο την απόδοση.

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (8/9)

Θέση ηχοπετασμάτων

1. *Παράλληλα προς τον άξονα:* Η τοποθέτηση των ηχοπετασμάτων κατά κανόνα γίνεται κατακόρυφα και παράλληλα προς τον άξονα της οδού και από τις δύο πλευρές. Εντούτοις η τοποθέτηση μονού ηχοπετάσματος όχι μόνο δεν αποκλείεται, αλλά σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, η ανάκλαση του ήχου στο απέναντι ηχοπέτασμα μπορεί να αυξήσει το επίπεδο θορύβου μέχρι και 5 dB(A).
2. *Επικαλυπτόμενα:* Η περίπτωση αυτή εμφανίζεται, όταν υπάρχει οδός εισόδου εξόδου στην κυρία οδό της περιοχής, της οποίας ζητείται η ηχοπροστασία μέσω ηχοπετασμάτων.
3. *Κεκλιμένα ηχοπετάσματα:* Για αποφυγή αύξησης του θορύβου, σε περίπτωση παράλληλων ηχοπετασμάτων λόγω πολλαπλών ανακλάσεων, τοποθετήθηκαν ηχοπετάσματα όχι κατακόρυφα αλλά με κλίση προς την αντίθετη της οδού πλευρά.

Μέθοδοι μείωσης θορύβου (9/9)

Υλικά ηχοπετασμάτων

Η χρήση απορροφητικών υλικών υπήρξε ένα ακόμη βήμα προς τη βελτίωση της απόδοσης των ηχοπετασμάτων.

Ένα υλικό είναι απορροφητικό, όταν υποχρεώνει τα μόρια του αέρα να κινηθούν στη γειτονία του επαναληπτικά, έτσι ώστε να αλλάξουν κατεύθυνση (όχι ευθεία ανάκλαση) με συνέπεια να χάσουν ενέργεια και κατά συνέπεια να επέρχεται μείωση του θορύβου (ηχοεξασθένιση).

Η απορροφητικότητα προσδιορίζεται για συγκεκριμένη συχνότητα ή για ομάδα συχνοτήτων, συνήθως 63-8000Hz.

Η επιλογή του υλικού ως απορροφητικού για χρήση σε ηχοπετάσματα καθορίζεται από τα ακόλουθα κριτήρια:

- Συντελεστής απορρόφησης α τουλάχιστον 0,6.
- Ανθεκτικότητα στο περιβάλλον (ήλιος, βροχή, διαφορές θερμοκρασίας).
- Ανθεκτικότητα ακουστική, δηλ. μη μείωση της απορροφητικότητας με το χρόνο.
- Η συντήρηση (καθαρισμός-βαφή) να μην επηρεάζει την ακουστικότητα του ηχοπετάσματος.
- Η αντίσταση σε φωτιά, καυσαέρια και καπνό πρέπει να είναι υψηλή.

Ελληνική Νομοθεσία (1/3)

Στις 27 Απριλίου 2012 δημοσιεύθηκε το ΦΕΚ Τεύχος Δεύτερο με Αριθμό Φύλλου 1367 η ΚΥΑ με τίτλο «Καθορισμός Δεικτών Αξιολόγησης Περιβαλλοντικού Θορύβου που προέρχεται από τη λειτουργία συγκοινωνιακών έργων, τεχνικές υπολογισμού και εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων, προδιαγραφές προγραμμάτων παρακολούθησης περιβαλλοντικού θορύβου και άλλες διατάξεις».

Στο Άρθρο 1 της ΚΥΑ «ως δείκτες αξιολόγησης του περιβαλλοντικού θορύβου που προέρχεται από τη λειτουργία οδικών, σιδηροδρομικών και αεροπορικών έργων, ορίζονται, ..., οι:

$L_{den} (L_{day-evening-night}) = \text{σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου 24-ωρου} = (L_{\text{ημέρας-απογεύματος-νύχτας}})$

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad (22)$$

- L_{day} (12-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου ημέρας)
- $L_{evening}$ (4-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης απογευματινού θορύβου) και
- L_{night} (8-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης νυχτερινού θορύβου).

Ελληνική Νομοθεσία (2/3)

Άρθρο 2

«Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των ανωτέρων δεικτών οδικού, σιδηροδρομικού και αεροπορικού θορύβου καθορίζονται τα ακόλουθα:

- Για το δείκτη L_{den} (24-ωρος) : τα 70dB(A)
- Για το δείκτη L_{night} (8-ωρος νυχτερινός): τα 60 dB(A)

Ο υπολογισμός και μέτρηση των ανωτέρω δεικτών και ορίων πραγματοποιείται σε ύψος $4,0 \pm 0,2m$ (3,8 έως 4,2m) πάνω από το έδαφος και σε ελάχιστη απόσταση 2m από την πιο εκτεθειμένη (προς την εκάστοτε γραμμική πηγή συγκοινωνιακού θορύβου), πρόσοψη (εξωτερικός τοίχος ή κούφωμα), των κτιρίων κατοικίας και λοιπών ευαίσθητων χρήσεων που χρήζουν προστασίας.

Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των ανωτέρω περιγραφόμενων δεικτών Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου και/ή Σιδηροδρομικού Θορύβου καθορίζονται επίσης τα ακόλουθα:

- Για το δείκτη $Leq_{\text{ημέρας-απογεύματος}}$ ή L_{de} : τα 67 dB(A), και
- Για το δείκτη $Leq_{\text{νύχτας}}$ ή L_n : τα 60 dB(A)

Ορίζεται ως μετρούμενο μέγεθος η Α-σταθμισμένη στάθμη ηχητική πίεσης η οποία εκφράζεται σε decibel A ή εν συντομία σε dB(A) και επιβάλλεται υποχρεωτικά η ταυτόχρονα τήρηση και των δύο ανωτέρω ορίων των αντίστοιχων δεικτών Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου και Σιδηροδρομικού Θορύβου.

Ελληνική Νομοθεσία (3/3)

Παράρτημα 2 §1

Δείκτες και ανάλυση μετρήσεων: Για να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση της ακουστικής επιβάρυνσης από τη λειτουργία του συγκοινωνιακού έργου θα γίνεται στατιστική ανάλυση του θορύβου σε πραγματικό χρόνο (*real-time*). Η ανάλυση αυτή θα παρέχει στοιχεία για όλες τις παρακάτω αναφερόμενες ηχοστάθμες σε dB(A) και κατά ISO1996/1 (*Description and measurement of Environmental noise – Basic quantities and procedures*) και τις τυχόν αναθεωρήσεις του:

Ποσοτομετρικοί δείκτες θορύβου L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{95} , L_{99} καθώς και οι μέγιστες στάθμες (L_{max}) και ελάχιστες τιμές (L_{min}) στη διάρκεια της 24ωρης καταγραφής.

- Οι δείκτες L_{den} και L_{night}
- Οι δείκτες L_{d-e} και L_n

Ενεργειακά ισοδύναμη μέση ηχοστάθμη $L_{Aeq}(24h)$

Παράρτημα 2 §7

«...οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες για μετρήσεις ορίζονται ως οι περίοδοι όπου δεν υπάρχει καθόλου βροχή ή χιόνι και όταν η ταχύτητα ανέμου δεν υπερβαίνει τα 3m/s στη θέση μέτρησης.

...πρέπει να ελέγχεται τυχόν επιρροή της μέτρησης από άλλες πηγές όπως π.χ. του θορύβου βάθους (*background noise*) της περιοχής. Εφόσον η διαφορά μεταξύ μετρούμενης στάθμης συγκοινωνιακού θορύβου και θορύβου βάθους της περιοχής είναι μεγαλύτερη των 10dB(A) δεν απαιτείται περαιτέρω έλεγχος.»

Μέθοδος μετατροπής του δείκτη $L_{A10,18h}$ του βρετανικού μοντέλου στο ευρωπαϊκό μοντέλο

Τα βήματα που προτείνονται στο βρετανικό υπουργείο μεταφορών από τον διεθνώς αναγνωρισμένο φορέα με την ονομασία Transportation Research Laboratory (TRL) σε πρόσφατη μελέτη του προκειμένου να μετατρέπονται οι δείκτες υπολογισμού του θορύβου από το βρετανικό μοντέλο στο ευρωπαϊκό μοντέλο για λόγους εναρμόνισης είναι τα εξής:

1. Κατακερματισμός του προς εξέταση οδικού τμήματος σε μικρότερα, διατηρώντας την ιδιότητα του οδικού τμήματος ως προς την κατηγοριοποίησή τους σε αυτοκινητοδρόμους ή μη.
2. Για κάθε υποδεέστερο τμήμα υπολογίζεται ο δείκτης $L_{A10,18h}$ με βάση το βρετανικό μοντέλο.
3. Στη συνέχεια η μετατροπή του δείκτη στους δείκτες που απαιτεί το ευρωπαϊκό μοντέλο βασίζεται στις παρακάτω εξισώσεις:

For non-motorway roads:

$$L_{\text{day}} = 0.95 \times L_{A10,18h} + 1.44 \text{ dB} \quad (23)$$

$$L_{\text{evening}} = 0.97 \times L_{A10,18h} - 2.87 \text{ dB} \quad (24)$$

$$L_{\text{night}} = 0.90 \times L_{A10,18h} - 3.77 \text{ dB} \quad (25)$$

For motorways:

$$L_{\text{day}} = 0.98 \times L_{A10,18h} + 0.09 \text{ dB} \quad (26)$$

$$L_{\text{evening}} = 0.89 \times L_{A10,18h} + 5.08 \text{ dB} \quad (27)$$

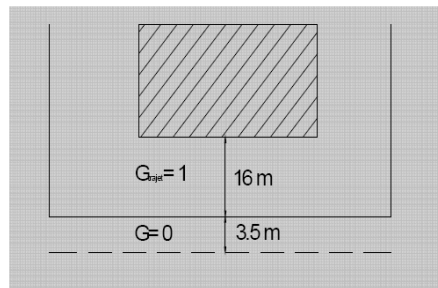
$$L_{\text{night}} = 0.87 \times L_{A10,18h} + 4.24 \text{ dB} \quad (28)$$

Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου (1/7)

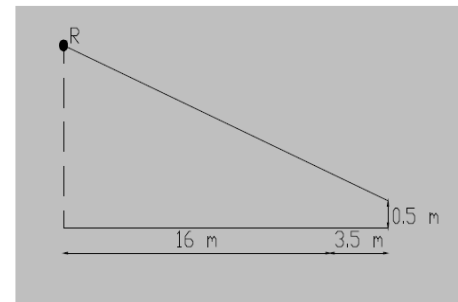
Παράδειγμα υπολογισμού επιπέδου θορύβου χωρίς παρεμβολή εμποδίου ανάμεσα στην πηγή και το δέκτη (Διπλωματική Εργασία, Χ. Βίζμπα, - ΤΠΜ, Α.Π.Θ.)

Στο παράδειγμα υπολογισμού που παρουσιάζεται στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του επιπέδου θορύβου σε μια περιοχή του κέντρου της Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στην Λεωφόρο Μ. Αλεξάνδρου στο ύψος του Νέου Δημαρχείου της πόλης.

Η πηγή θορύβου θεωρείται σε ύψος 0,5m από το επίπεδο του δρόμου ενώ ο δέκτης βρίσκεται σε ύψος 5m από το επίπεδο του δρόμου σε μια απόσταση 19,5m από τη πηγή.



Κάτοψη πηγής και δέκτη



Αποστάσεις μεταξύ πηγής και δέκτη

Σχήμα 10: Παράδειγμα υπολογισμού επιπέδου θορύβου χωρίς παρεμβολή εμποδίου – Βίζμπα Χ..

Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου (2/7)

Η διεύθυνση που ορίζεται από την πηγή και τον δέκτη σχηματίζει γωνία 36° με τον Βορρά. Οι τιμές του συντελεστή G είναι μηδέν (0) για την ζώνη της πηγής και ένα(1) για την ενδιάμεση ζώνη και τη ζώνη του δέκτη.

Στο παράδειγμα γίνεται η υπόθεση ότι τα μετεωρολογικά στοιχεία στην περιοχή είναι παρόμοια με αυτά της πόλης της Νίκαιας στη Γαλλία και η περίοδος αναφοράς είναι η ημέρα.

Όπου
$$d' = \sqrt{(d + 3,5)^2 + h^2}$$

- Το επίπεδο της ακουστικής ισχύος L_{AW} υπολογίζεται για τους εξής φόρτους:
- $Q_{VL}=2107$ VL/h
- $Q_{PL}=90$ PL/h
- και τις αντίστοιχες ταχύτητες
- $V_{VL}=57$ km/h
- $V_{PL}=33$ km/h

Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημειακών πηγών θεωρήθηκε ίση με $L_1=30$ m (σημειακές πηγές θεωρήθηκαν τα διαδοχικά οχήματα οπότε 30m θεωρήθηκε ο χωρικός διαχωρισμός τους) και τα επίπεδα εκπομπής των ελαφρών (E_{VL}) και βαρέων (E_{PL}) οχημάτων σύμφωνα με το Guide de Bruit είναι:

- $E_{VL}=28$ dB(A)
- $E_{PL}=45$ dB(A)

Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου (3/7)

$$L_{Aw} = 10 \lg \left[10^{(38 + 10 \lg(2107)) / 10} + 10^{(45 + 10 \lg(90)) / 10} \right] + 20 + 10 \lg(30) + R_{(j)} = 72 + 20 + 14,7 - R_{(j)} \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aw} = 107 - R_{(j)}$$

Από την προηγούμενη εξίσωση υπολογίζεται ο δείκτης L_{Awi} σε dB(A) μιας μεμονωμένης σημειακής πηγής i για ένα δεδομένο διάστημα οκτάβας. Υπενθυμίζεται πως $R(i)$ είναι η τιμή του φάσματος του οδικού θορύβου που λαμβάνεται από τον ακόλουθο πίνακα

j	Διάστημα οκτάβας	Τιμές (Rj) σε db(A)
1	125 Hz	-14
2	250 Hz	-10
3	500 Hz	-7
4	1 kHz	-4
5	2 kHz	-7
6	4 kHz	-12

Έτσι προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας

j	Συχνότητα (Hz)	$R_{(j)}$ (dB(A))	$L_{Aw(j)}$ (dB(A))
1	125	-14	93
2	250	-10	97
3	500	-7	100
4	1000	-4	103
5	2000	-7	100
6	4000	-12	95

Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου (4/7)

- Για μια σημειακή ηχητική πηγή σε ελεύθερο πεδίο, η εξασθένιση σε dB δίνεται από τη σχέση:

$$A_{div} = 20 \lg(d) + 11$$

Όπου :

d : η άμεση απόσταση ανάμεσα στην πηγή και στον δέκτη (απόσταση απουσία παρεμβαλλόμενου εμποδίου), σε μέτρα

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η εφαρμογή της εξίσωσης δίνει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

$$A_{div} = 20 \lg(d) + 11, \text{ όπου } d \text{ η απευθείας απόσταση μεταξύ πηγής και δέκτη με } d = 20,13 \text{ m}$$

$$A_{div} = 20 \lg(20,13) + 11$$

$$A_{div} = 37,07 \text{ dB(A)}$$

- Η εξασθένιση του ήχου λόγω της ατμοσφαιρικής απορρόφησης A_{atm} σε dB λόγω της διάδοσης σε απόσταση d δίνεται από τη σχέση:

$$A_{atm} = a \cdot d / 1000$$

Όπου :

d : η άμεση απόσταση ανάμεσα στην πηγή και στον δέκτη σε μέτρα

a : ο συντελεστής ατμοσφαιρικής εξασθένησης σε dB/km στην ακριβή κεντρική συχνότητα για κάθε μια ζώνη οκτάβας όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη συχνότητα και την υγρασία:

Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου (5/7)

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η εφαρμογή της εξίσωσης δίνει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

$$A_{atm} = a \cdot d / 1000$$

Κεντρική συχνότητα (Hz)	125	250	500	1	2	4
a (dB/km)	0,38	1,13	2,36	4,08	8,75	26,4
A _{atm} (dB(A))	0,01	0,02	0,05	0,08	0,18	0,53

- Η επίδραση του εδάφους και η εξασθένιση που προκαλείται λόγω της αλληλεπίδρασης του ήχου με το έδαφος αποτελεί σύνθετο φαινόμενο με πολλές παραμέτρους και περιπτώσεις που πρέπει να εξεταστούν.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η μείωση λόγω της αλληλεπίδρασης του ήχου με το έδαφος υπολογίστηκε πως είναι:

$$A_{sol,H} = -3(1 - G_{trajet}) = -2.7 \text{ dB(A)}$$

Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου (6/7)

Το συνολικό επίπεδο στο δέκτη για ευνοϊκές συνθήκες υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L_{i,F} = L_{Awi} - A_{i,F}$$

Όπου:

$A_{i,F}$: το σύνολο των παραγόντων που προκαλούν εξασθένηση του ηχητικού σήματος σε ευνοϊκές συνθήκες, πιο αναλυτικά:

$$A_{i,F} = A_{div} + A_{atm} + A_{sol,F} + A_{dif,F}$$

A_{div} : είναι η εξασθένηση λόγω γεωμετρικής απόκλισης

A_{atm} : είναι η εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης

$A_{sol,F}$: είναι η εξασθένηση λόγω της επίδρασης του εδάφους σε ευνοϊκές συνθήκες.

$A_{dif,F}$: είναι η εξασθένηση λόγω περίθλασης σε ευνοϊκές συνθήκες.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η εφαρμογή της παραπάνω εξίσωσης δίνει τα κάτωθι αποτελέσματα:

Συχνότητα(Hz)	L_{Awi}	A_{div}	A_{atm}	$A_{sol,F}$	$L_{i,F}$
125	93	37,07	0,01	-2,75	53,17
250	97	37,07	0,02	-2,82	62,73
500	100	37,07	0,05	-2,85	65,73
1000	103	37,07	0,08	-2,85	68,7
2000	100	37,07	0,18	-2,85	65,6
4000	95	37,07	0,53	-2,85	60,25

Η λογαριθμική άθροιση* των αποτελεσμάτων της τελευταίας στήλης δίνει:

$$L_{i,F} = 72,53\text{dB(A)}$$

$$*L_{(ολικό)} = 10 \log_{10} [\sum \text{Antilog}_{10}(L_n/10)]$$

Παράδειγμα εφαρμογής της γαλλικής μεθοδολογίας υπολογισμού του οδικού θορύβου (7/7)

Ο υπολογισμός του μακροπρόθεσμου επιπέδου θορύβου στο δέκτη βασίζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$L_{i,LT} = 10 \lg (p_i 10^{L_{i,F}/10} + (1-p_i) 10^{L_{i,H}/10})$$

Για να εφαρμοστεί ωστόσο η εξίσωση, θα πρέπει να είναι γνωστή η μέση πιθανότητα ύπαρξης ευνοϊκών συνθηκών p_2 για τη διαδρομή από την πρώτη σημειακή πηγή του θορύβου έως το δέκτη, η οποία σχηματίζει γωνία 36° με το Βορρά. Το ποσοστό υπολογίστηκε στα πλαίσια του παραδείγματος σε $p_2=50\%$.

Επομένως τα τελικά επίπεδα θορύβου για κάθε μία από τις ζώνες οκτάβων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Το συνολικό μακροπρόθεσμο ηχητικό επίπεδο προκύπτει λαμβάνοντας το λογαριθμικό άθροισμα των επιμέρους επιπέδων.

$$L_{1,LT} = 72,5\text{dB(A)}$$

Συχνότητα (Hz)	$L_{1,F}$ (dB(A))	$L_{1,H}$ (dB(A))	$L_{1,LT}$
125	53,17	58,62	57,37
250	62,73	62,61	62,65
500	65,73	65,58	65,63
1000	68,7	68,55	68,60
2000	65,6	65,45	65,50
4000	60,25	60,1	60,15

Βιβλιογραφία (1/2)

- Γ. Μίντσης, «Πανεπιστημιακές Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία Ι», Τομέας Συγκοινωνιακών & Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Βογιατζής Κ., Χαϊκάλη Σ. & Τζίκα-Χατζοπούλου Α. (2009), «Προστασία του Ελληνικού ακουστικού τοπίου, θεσμικό πλαίσιο για τον περιβαλλοντικό θόρυβο», Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- Τσώχος Γ. (1997), «Περιβαλλοντική Οδοποιία». Εκδόσεις University Studio Press
- Strategic environmental noise mapping: methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications
- Βογιατζής Κ. (2012), «Ο περιβαλλοντικός συγκοινωνιακός θόρυβος και η εφαρμογή της οδηγίας 2002/49/ΕΚ στην Ελλάδα», Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Ακουστικής Συγκοινωνιακών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Παν. Θεσσαλίας
- Calculation of Road Traffic Noise (1975), Department of Transport © Crown copyright 2015, Welsh Office, http://gov.wales/copyright_statement/?lang=en
- Τσοχατζόπουλος Ι.Σ., «Συμβολή στη δημιουργία εμπειρικών μοντέλων πρόβλεψης αστικού οδικού κυκλοφοριακού θορύβου», Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Μεταφορών, Συγκοινωνιακής Υποδομής, Διαχείρισης Έργων και Ανάπτυξης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ., 2005

Βιβλιογραφία (2/2)

- Federal Highway Association (FHWA) “Traffic Noise Model (FHWA TNM®) Technical Manual, Final Report, 1999, http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic_noise_model/
- ΦΕΚ 22005, Τεύχος Δεύτερο, Αριθμός Φύλλου 1367, 27 Απριλίου 2012, http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/1367b_12.1337588317921.pdf
- Abbott P.G. & Nelson P.M., “DEFRA Method for converting the UK road Traffic noise index LA10,18h to the EU noise indices for road noise mapping”, PR/SE/451/02, Transportation Research Laboratory, 2002
- Βίζμπα Χ., «Διερεύνηση μεθόδων υπολογισμού κυκλοφοριακού θορύβου: Το Γαλλικό Μοντέλο», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ, 2008

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/1)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Σχήματα 1, 3, 5, 6, 10: Βίζμπα Χ., «Διερεύνηση μεθόδων υπολογισμού κυκλοφοριακού θορύβου: Το Γαλλικό Μοντέλο», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ, 2008
- Σχήμα 2: Strategic environmental noise mapping: methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications
- Σχήμα 4: Federal Highway Association (FHWA) “Traffic Noise Model (FHWA TNM®) Technical Manual, Final Report, 1999
- Σχήματα 7, 8: Calculation of Road Traffic Noise (1975), Department of Transport © Crown copyright 2015, Welsh Office
- Σχήματα 9, 10: Τσώχος Γ. (1997), «Περιβαλλοντική Οδοποιία». Εκδόσεις University Studio Press

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεώργιος Μίντσης.
«Οδοποιία II. Θόρυβος». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λπ., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Ευστάθιος Μπουχουράς,
Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Οδοποιία II

Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.