



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ | ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2002/49/ΕΚ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΣΙΑΜΠΟΥΡΑ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ε. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ
ΑΝ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2018

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο

Η εξέλιξη της οδηγίας 2002/49/ΕΚ

Υπεβλήθη από την

Κατσιαμπούρα Σταυρούλα

Για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

Η Διπλωματική Εργασία έλαβε την έγκριση των μελών της τριμελούς εξεταστικής
Επιτροπής

Κωνσταντίνος Ε. Βογιατζής
Αν. Καθηγητής Π.Θ.

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ε. ΗΛΙΟΥ
Καθηγητής Π.Θ.

Παντελεήμων Κοπελιάς
Επ. Καθηγητής Π.Θ.

Βόλος,
4 Ιουλίου 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Αναπληρωτή Καθηγητή, κύριο Κωνσταντίνο Βογιατζή, για την πολύτιμη συμβολή του στην περάτωση της Διπλωματικής Εργασίας μου, και γενικότερα για το εκπαιδευτικό έργο του. Η διαρκής καθοδήγηση, η παροχή χρήσιμων συμβουλών και υποδείξεων στάθηκαν καίριοι παράγοντες για την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης. Οφείλω ευχαριστίες και στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητή Νικόλαο Ηλιού και Επίκουρο Καθηγητή Παντελεήμονα Κοπελιά για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου κ τις υποδείξεις τους.

Τέλος να ευχαριστήσω τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Γεωργία Γερολυμάτου για την πολύτιμη βοήθεια της σε αυτή τη μελέτη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1. Η ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΘΟΡΥΒΟ	11
1.2. Η Οδηγία 2002/49/ΕΚ	11
2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	13
2.1. Η ΓΑΛΛΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ NMPB-Routes-96	14
2.1.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2002/49/ΕΚ	16
2.1.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	16
2.1.3. Μοντέλο διάδοσης ήχου	18
2.1.4 Υπολογισμός της διάδοσης λόγω εξασθενήσεων	20
2.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	28
Η ΜΕΘΟΔΟΣ SRMII	28
2.2.1.ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	29
3.Η CNOSSOS ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ	31
3.1. Η ΝΕΑ ΟΔΗΓΙΑ 2015/996.....	31
3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΟΔΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	32
3.2.1. Δεδομένα εκπομπής	32
3.3.Υπολογισμός της διάδοσης.....	39
3.3.1. Πεδίο εφαρμογής και εφαρμογή της μεθόδου	39
3.3.3 Μοντέλο διάδοσης του ήχου	40
3.3.4. Διαδικασία υπολογισμού	40
3.3.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΛΟΓΩ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΕΩΝ	42
Γεωμετρική απόκλιση	42
3.4. Ανάλυση μεθόδου για σιδηροδρομική κυκλοφορία	53
3.4.1 Περιγραφή της πηγής	53
3.4.2. Εκπομπές ηχητικής ισχύος	56
4.Συγκριτική ανάλυση της NMPB-Routes 96 με την Cnossos-EU(για την οδική κυκλοφορία)	65
NMPB-ROUTES-96	65

5.Συγκριτική ανάλυση της SRM -II με την Cnossos-EU(για το σιδηροδρομικό θόρυβο)	72
SRM-II	72
6.Η ανάγκη εξέλιξης της οδηγίας 2002/49/EK	77
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας [2.1.α]: Προτεινόμενη μέθοδος διορθώσεων για το οδόστρωμα	18
Πίνακας[2.1..β]: Διαστήματα οκτάβας και οι αντίστοιχες τιμές του φάσματος του οδικού θορύβου.	20
Πίνακας [2.1.γ]: Συνελεστής ατμοσφαιρικής απορρόφησης a σε dB/km ανά κεντρική ζώνη οκτάβας	21
Πίνακας [2.1.δ]: Σχέσεις υπολογισμού της επίδρασης του εδάφους σε ευνοϊκές συνθήκες	23
Σχήμα[2.1.4.γ](Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)	25
Σχήμα [2.1.4.ε]: ΑΠΛΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ	26
Πίνακας[2.2.α]:(Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012): Κατηγορίες αμαξοστοιχιών	29
Πίνακας [3.2.α]: Παράμετροι θορύβου	32
Πίνακας [3.2.β]: Διόρθωση για την επίδραση των κλίσεων της οδού	37
Σχήμα[3.3.5.α] G_{path}	44
Πίνακας [3.3.α]: Αντιστοιχία μεταξύ G_w και G_m και (G_{path} , G'_{path})	44
Σχήμα [3.3.5.δ.]: Υπολογισμός της διαφοράς διαδρομής υπό ευνοϊκές συνθήκες (μεμονωμένη περίθλαση)	48
Σχήμα [3.3.5.στ.]: Η ηχητική ακτίνα ανακλάται σε 4η τάξη σε μια τροχιά που βρίσκεται σε τάφρο: πραγματική διατομή (άνω σχήμα), διατομή σε ευθεία γραμμή (κάτω σχήμα)	52
Σχήμα[3.3.5.ι]: Η διαφορά διαδρομής για τη δεύτερη ανάκλαση	52
Πίνακας[3.4.1.α.]: Ταξινόμηση αμαξοστοιχιών (Ε. & Επιτροπή, 2015)	54
Πίνακας [4.α]: Παρουσίαση διαφορών μεταξύ των δύο μοντέλων	68
Πίνακας [4.β]: Μετατροπή δεδομένων από NMPB-96 στην CNOSSOS.(Paviotti, Shilton, Jones, & Jones, 2015).....	69
Πίνακας [4.γ]: Απόκλιση μεταξύ μετρήσεων και εκτίμησης με XPS31-133 (Cicoira, Gerola, Clementel, & Scaramuzza, 2016)	70
Πίνακας[4.δ]: Απόκλιση μεταξύ μετρήσεων και εκτίμησης με CNOSSOS-EU (Cicoira et al., 2016)	71
Πίνακας [5.α]: παρουσίαση διαφορών των δύο μοντέλων	73
Σχήμα [5.γ]: διάδοση ήχου πηγής στα 0,5 μ, σε μικρόφωνο σε 25, 50,200,500,1000 πάνω από το έδαφος	74
Σχήμα[6.α]: υπολογισμός LA_{eq} με τις διάφορες μεθόδους. (Desarnaulds, 2017).....	78

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η μελέτη της εξέλιξης της ευρωπαϊκής οδηγίας 2002/49/ΕΚ για τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Ειδικότερα πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των μεθοδολογιών υπολογισμού του θορύβου της οδηγίας 2002/49/ΕΚ και της τελευταίας αναθεώρησης της, 2015/996.

Σε πρώτο στάδιο αναλύθηκε η μέθοδος υπολογισμού θορύβου οδικής και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, σύμφωνα με τις προτεινόμενες μεθόδους της 2002/49/ΕΚ.

Σε δεύτερο στάδιο παρουσιάστηκαν οι νέες μέθοδοι υπολογισμού για τον οδικό και σιδηροδρομικό θόρυβο.

Τέλος έγινε η συγκριτική ανάλυση των μεθοδολογιών και για την οδική, αλλά και τη σιδηροδρομική κυκλοφορία. Αποτελέσματα της σύγκρισης αποτυπώνονται στους πίνακες και τα διαγράμματα του τέταρτου και πέμπτου κεφαλαίου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΘΟΡΥΒΟ

Μπροστά στην πραγματικότητα των ανεπαρκών στοιχείων σχετικά με την έκθεση στο θόρυβο, αλλά και των προβλημάτων που εντοπίζονταν στην ανάλυση υφιστάμενων θεσμικών μέτρων η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεώρησε ότι απαιτείται μια αποτελεσματική πολιτική για την καταπολέμηση του θορύβου. Εμφανίστηκε λοιπόν η ανάγκη ύπαρξης ενός πλαισίου για την καθιέρωση, επόπτευση και συντονισμό διαφόρων δράσεων. Αυτή η θέση αποτέλεσε τη βάση για να προχωρήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση στην εφαρμογή μιας αποτελεσματικής πολιτικής. Θεμελιώδης βάση της πολιτικής αυτής, αποτέλεσε η οδηγία 2002/49/ΕΚ, η οποία έχει ως κύριους στόχους της την εναρμόνιση των μεθόδων αξιολόγησης της έκθεσης στο θόρυβο, τη χαρτογράφηση του θορύβου και την παροχή, στο κοινό, πληροφοριών για την έκθεση του στο θόρυβο.

1.2. Η Οδηγία 2002/49/ΕΚ

Κύριος σκοπός της οδηγίας 2002/49/ΕΚ λοιπόν, είναι ο καθορισμός μιας κοινής προσέγγισης για την αποφυγή, πρόληψη ή περιορισμό, βάσει ιεράρχησης προτεραιοτήτων, των δυσμενών επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της ενόχλησης από έκθεση στον περιβάλλοντα θόρυβο. Για τον σκοπό αυτό, τα κράτη μέλη καθορίζουν την έκθεση στον περιβαλλοντικό θόρυβο μέσω χαρτογράφησης θορύβου, με μεθόδους αξιολόγησης κοινές στα κράτη μέλη, εξασφαλίζουν ότι οι πληροφορίες σχετικά με τον περιβαλλοντικό θόρυβο και τις επιπτώσεις του είναι διαθέσιμες στο κοινό και θεσπίζουν σχέδια δράσης βασισμένα στα αποτελέσματα της χαρτογράφησης του θορύβου, με στόχο την πρόληψη και τον περιορισμό του περιβαλλοντικού θορύβου όπου κρίνεται απαραίτητο, και, ιδίως, όπου τα επίπεδα έκθεσης μπορούν να έχουν επιβλαβείς επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων, καθώς και τη διαφύλαξη της ηχητικής ποιότητας του περιβάλλοντος όπου είναι καλή.

Έτσι αποφασίσθηκε η ευρωπαϊκά εναρμονισμένη εισαγωγή και καθιέρωση

- Νέων δεικτών αξιολόγησης ακουστικού περιβάλλοντος (L_{den} , L_{night} σε db(A) σε θέματα αξιολόγησης
- Νέων ορίων περιβαλλοντικού θορύβου
- νέας εναρμονισμένης διαδικασίας συλλογής στοιχείων εισόδου υπολογισμών
- Νέας μεθόδου αξιολόγησης επιπτώσεων θορύβου
- Νέας μεθοδολογίας επεξεργασίας στοιχείων έκθεσης πληθυσμού στο θόρυβο
- Διερεύνησης και επιλογής βέλτιστης διαδικασίας παρουσίασης
- Καθορισμού στόχων και δεικτών ποιότητας ακουστικού περιβάλλοντος
- Καθορισμού στοιχείων ενιαίας σύνταξης έκθεσης κατάστασης ακουστικού περιβάλλοντος προς την ευρωπαϊκή επιτροπή.

Η οδηγία 2002/49/ΕΚ προβλέπει σχέδια δράσης που βασίζονται σε στρατηγικούς χάρτες θορύβου. Οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου συντάσσονται με τις κοινές μεθόδους αξιολόγησης, όταν οι μέθοδοι αυτές έχουν εγκριθεί από τα κράτη μέλη. Ωστόσο, τα κράτη μέλη μπορούν να χρησιμοποιούν άλλες μεθόδους για τον σχεδιασμό μέτρων για την

αντιμετώπιση των προτεραιοτήτων που προσδιορίζονται με τη χρήση κοινών μεθόδων, καθώς και για την αξιολόγηση των άλλων εθνικών μέτρων για την πρόληψη και τον περιορισμό του περιβαλλοντικού θορύβου

2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Οι μέθοδοι αξιολόγησης που αφορούν τον υπολογισμό της ακουστικής διάδοσης μεταξύ της πηγής και του δέκτη που έχουν καθοριστεί από την ευρωπαϊκή επιτροπή για την ενδιάμεση φάση εφαρμογής της οδηγίας 2002/49/ΕΚ είναι:

Για την **οδική** κυκλοφορία: Η γαλλική εθνική μέθοδος υπολογισμού NMPB Routes 96 (SETRA- CERTU – LCPC-CSTB), όπως αναφέρεται στο «Arrete du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» και στο γαλλικό πρότυπο « XPS 31-133».

Αναφορικά με τα εισερχόμενα δεδομένα που αφορούν τις εκπομπές τα έγγραφα αυτά αναφέρονται στον «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prevision des niveaux sonores, CETUR 1980». Η Γαλλική Μέθοδος θορύβου NMBB – Routes – 96 περιγράφει λεπτομερή διαδικασία για τον υπολογισμό της στάθμης θορύβου που προκαλεί η οδική κυκλοφορία, λαμβανομένης υπόψη της επίδρασης των μετεωρολογικών συνθηκών που επηρεάζουν τη διάδοση.

Για τους **σιδηροδρόμους**: η εθνική μέθοδος υπολογισμού των Κάτω Χωρών όπως δημοσιεύτηκε στο «Reken en Meetvoorschrift Railverkeerslawai 96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996»

Για το **βιομηχανικό θόρυβο**: ISO 9613-2: «Acoustics — Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2· General method of calculation». Για τη μέθοδο αυτή, τα κατάλληλα στοιχεία για τις εκπομπές θορύβου (εισερχόμενα δεδομένα) λαμβάνονται από μετρήσεις σύμφωνα με μια από τις ακόλουθες μεθόδους: — ISO 8297:1994 «Acoustics — Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment — Engineering method». — EN ISO 3744: 1995 «Acoustics — Determination of sound power levels of noise using sound pressure — Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane». — EN ISO 3746: 1995 «Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using an enveloping measurementsurface over a reflecting plane»

Για τον **αεροπορικό θόρυβο**: ECAC.CEAC Doc. 29 «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997. Από τις διάφορες μεθόδους προσομοίωσης των πτητικών οδών, χρησιμοποιείται η τεχνική τμηματοποίησης, όπως αναφέρεται στο μέρος 7.5 του ECAC.CEAC Doc. 29. Ο αεροπορικός θόρυβος αναφέρεται στο θόρυβο κατά τη διάρκεια που το αεροπλάνο βρίσκεται στον αέρα.

Στη συνέχεια θα αναλυθούν μόνο οι μέθοδοι που αφορούν στο θόρυβο από την οδική και την σιδηροδρομική κυκλοφορία.

Στην παρούσα διπλωματική θα αναλυθούν οι μέθοδοι υπολογισμού του οδικού και του σιδηροδρομικού θορύβου σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 2002/49/ΕΚ, αλλά και σύμφωνα με τη νέα οδηγία 2015.Και στη συνέχεια θα γίνει η σύγκριση των παλιών με των νέων μεθόδων.

2.1. Η ΓΑΛΛΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ NMPB-Routes-96

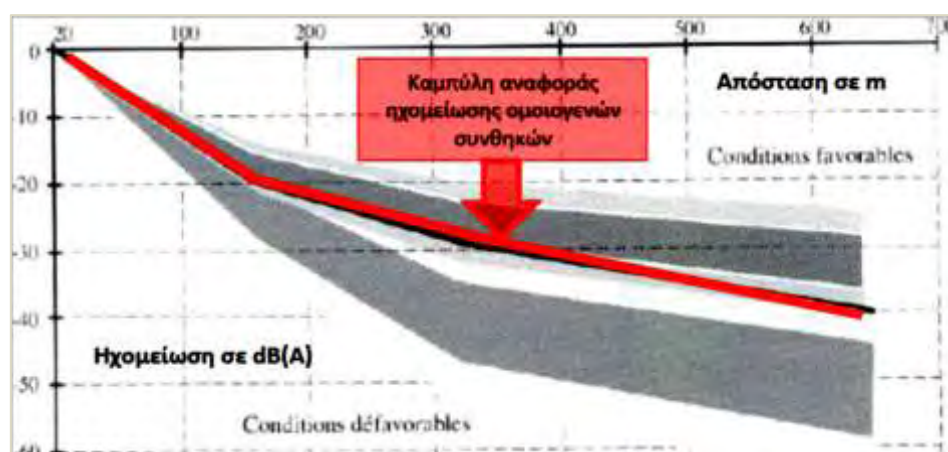
Η γαλλική μέθοδος NMPB-Routes- 96 περιγράφει λεπτομερή διαδικασία για τον υπολογισμό της στάθμης θορύβου που προκαλεί η οδική κυκλοφορία, λαμβανομένης υπόψη της επίδρασης των μετεωρολογικών συνθηκών που επηρεάζουν τη διάδοση.

Η μέθοδος είναι συμβατή με τις αρχές του προτύπου ISO 9613-242 και ουσιαστικά επαναχρησιμοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις ίδιες σχέσεις, αλλά διαφέρει ουσιαστικά τόσο σε ο,τι αφορά τη διόρθωση για τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών που επηρεάζουν τη διάδοση, όσο και στον υπολογισμό των μακροπρόθεσμων επιπέδων θορύβου σε μια περιοχή.

Το ανωτέρω πρότυπο ISO περιγράφει μια λεπτομερή μέθοδο υπολογισμού για ατμοσφαιρικές συνθήκες ευνοϊκές στη διάδοση του ήχου (οι συνθήκες αυτές δεν είναι παρά ένα μέρος του συνόλου των παρατηρούμενων μετεωρολογικών συνθηκών σε μια περιοχή) και προτείνει μια συμβατική διόρθωση που επιτρέπει την εκτίμηση της τιμής των πραγματικών μακροπρόθεσμων επιπέδων θόρυβου.

Η μέθοδος αυτή προτείνει μια εναλλακτική προσέγγιση του προτύπου ISO 9613-2 με έμφαση σε:

- **ευνοϊκές συνθήκες** για τη διάδοση του ήχου (σύνολο ατμοσφαιρικών συνθηκών που παράγουν μια επανακάθοδο της ακουστικής ενέργειας προς το έδαφος και οδηγούν σε ηχητικές στάθμες στο δέκτη ανώτερες από αυτές που παρατηρούνται σε ομοιογενείς συνθήκες)
- **ομοιογενείς ατμοσφαιρικές συνθήκες**(σύνολο ατμοσφαιρικών συνθηκών που οδηγούν σε μια ατμόσφαιρα ομοιογενή όσον αφορά τη διάδοση του ήχου με αποτέλεσμα η ακουστική ενέργεια να διαδίδεται σε ευθεία γραμμή)



Σχήμα [2.1.α](Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012): Επίδραση των ομοιογενών συνθηκών στην ακουστική διάδοση.

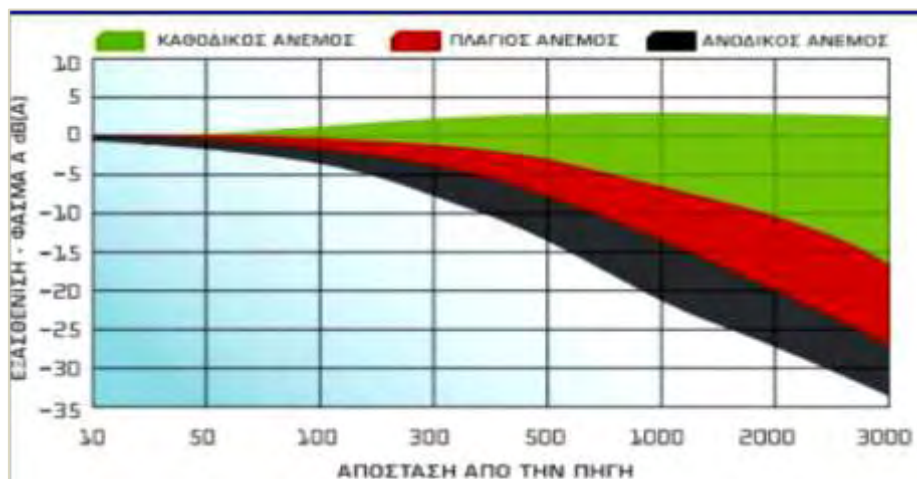
Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από την άθροιση των ηχητικών επιπέδων που παρατηρούνται σε αυτούς τους δυο τύπους συνθηκών, ενισχυόμενο από την πιθανότητα εμφάνισης τους στην υπό μελέτη περιοχή. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην ανακατασκευή ενός προφίλ με ποικίλες ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης χρονικής περιόδου εξομοιώνοντας τις μη ευνοϊκές συνθήκες στη διάδοση του ήχου με τις ομοιογενείς που οδεύουν σε μια μεγαλύτερη προστασία των παρόδιων κατοίκων.

Η μέθοδος αυτή προσπαθεί να προσεγγίσει το σύνολο των παρατηρούμενων μετεωρολογικών φαινομένων μιας περιοχής και αποτελεί μία λεπτομερή μέθοδο υπολογισμού που λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων από 125-4000 Hz.

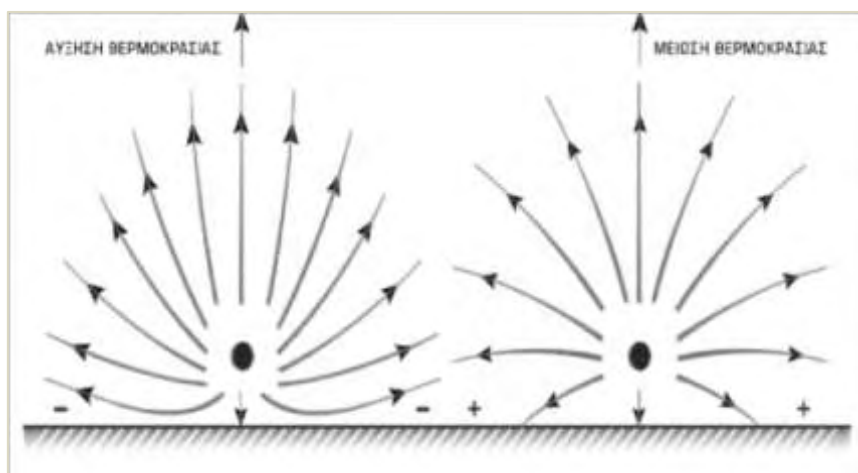
Η διακύμανση της ηχητικής στάθμης σε μεγάλη απόσταση οφείλεται στο φαινόμενο της διάθλασης των ακουστικών κυμάτων. Αυτή η διάθλαση οφείλεται στην ποικιλία της ταχύτητας του ήχου στη ζώνη διάδοσης που προκαλείται από τις διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου.

Ανάλογα με αυτά τα χαρακτηριστικά η διάδοση του ήχου γίνεται σε διαφορετικές συνθήκες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου είναι:

- **Θερμικοί παράγοντες:** οι θερμικές εναλλαγές στο έδαφος και τα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας οδηγούν σε ποικιλία θερμοκρασιών του αέρα σε σχέση με το ύψος πάνω από το έδαφος και άρα σε ποικιλία της ταχύτητας του ήχου.
- **αεροδυναμικά χαρακτηριστικά:** Η επίδραση του ανέμου στην ηχητική διάδοση είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαδρομή του ήχου σε μικρή απόσταση από το έδαφος, διότι ο ήχος κοντά στην εδαφική επιφάνεια κινείται με πολύ μικρότερη ταχύτητα λόγω τριβής



Σχήμα [2.1.β]: Ηχητική εξασθένηση του φάσματος A ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου και την απόσταση από την πηγή (m). (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)



Σχήμα [2.1.γ]: Επίδραση θερμοκρασίας στην ηχητική διάδοση (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

2.1.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2002/49/ΕΚ

Η διαδικασία υπολογισμού του οδικού θορύβου με την NMPB –Routes-96 περιλαμβάνει τα παρακάτω.

1. αναλυση των πηγών του θορύβου σε σημειακές ηχητικές πηγές
2. καθορισμός της στάθμης ακουστικής ισχύος καθεμιάς από τις πηγές
3. αναζήτηση των διαδρομών διάδοσης ανάμεσα σε κάθε μια επιμέρους πηγή και δέκτη (διαδρομές άμεσες ,ανακλώμενες ή περιθλώμενες)
4. για κάθε διαδρομή διάδοσης:
 - Υπολογισμός της διάδοσης σε ευνοϊκές συνθήκες
 - Υπολογισμός της διάδοσης σε ομοιογενείς συνθήκες
 - Υπολογισμός μακροπρόθεσμου επιπέδου που προκύπτει από τις ευνοϊκές και ομοιογενείς συνθήκες.
 - άθροιση των μακροπρόθεσμων τιμών ηχητικής στάθμης κάθε διαδρομής ,που επιτρέπει επιπλέον τον υπολογισμό της συνολικής συνδυασμένης στάθμης θορύβου στο δέκτη. (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

2.1.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Για την αξιολόγηση του θορύβου χρησιμοποιούνται οι τύποι οχημάτων:

(α) ελαφρά οχήματα (οχήματα με καθαρό φορτίο κάτω των 3,5 τόνων), και (β) βαρέα οχήματα (οχήματα με καθαρό φορτίο μεγαλύτερο ή ίσο των 3,5 τόνων).

Για λόγους απλούστευσης, η παράμετρος της ταχύτητας του οχήματος χρησιμοποιείται στο συνολικό μέσο εύρος ταχυτήτων (από 20 έως 120 χιλιόμετρα/ώρα).

Ωστόσο, στην περίπτωση των μικρότερων ταχυτήτων (< 60 ή/και 70 χιλιομέτρων/ώρα ανάλογα με την περίπτωση), η μέθοδος τελειοποιείται με την παράμετρο της κυκλοφορίας που περιγράφεται στην συνέχεια:

Για τον προσδιορισμό της μακροπρόθεσμης ηχοστάθμης L_{eq} αρκεί να είναι γνωστή η μέση ταχύτητα στόλου οχημάτων, οριζόμενη ως:

- η μέση ταχύτητα V50 ή η ταχύτητα την οποία επιτυγχάνουν ή υπερβαίνουν τα οχήματα σε ποσοστό 50 % επί του συνόλου ή
- η μέση ταχύτητα V50 συν το ήμισυ της τυπικής απόκλισης των ταχυτήτων.

Για όλες τις μέσες ταχύτητες που προσδιορίζονται με μια από τις δύο αυτές μεθόδους και υπολείπονται των 20 χιλιομέτρων/ώρα ορίζεται η τιμή 20 χιλιόμετρα/ώρα. Εάν τα διαθέσιμα δεδομένα δεν επαρκούν για την ακριβή εκτίμηση της μέσης ταχύτητας, πρέπει να εφαρμόζεται ο ακόλουθος γενικός κανόνας: για κάθε τμήμα της οδού χρησιμοποιείται η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα αυτού του τμήματος. Σε κάθε περίπτωση τροποποίησης της μέγιστης επιτρεπτής ταχύτητας πρέπει να ορίζεται νέο τμήμα οδού. Για τις μικρότερες ταχύτητες (κάτω των 60-70 χιλιομέτρων/ώρα ανάλογα με την περίπτωση) εφαρμόζεται πρόσθετη διόρθωση· υπό αυτές τις συνθήκες πρέπει να εφαρμόζονται διορθώσεις για ένα από τα τέσσερα είδη κυκλοφορίας. Τέλος, όλες οι ταχύτητες κάτω των 20 χιλιομέτρων/ώρα υπολογίζονται εξ ορισμού ως 20 χιλιόμετρα/ώρα.

Για το είδος της οδικής κυκλοφορίας ορίζονται τέσσερις κατηγορίες :

- Σταθερή συνεχής κυκλοφορία: αντιστοιχεί στην κυκλοφορία των αυτοκινητοδρόμων ή των εθνικών οδών, των αστικών οδών ταχείας κυκλοφορίας (εκτός των ωρών αιχμής) και των

κύριων αστικών οδών.

- Αυξομειούμενη συνεχής κυκλοφορία: αντιστοιχεί στην κυκλοφορία των οδών στο κέντρο των πόλεων, των κύριων οδών στα όρια της συμφόρησης, των συνδετήριων οδών με πολυάριθμες διαβάσεις, των χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων, των διαβάσεων πεζών και των διασταυρώσεων προς οικισμούς.

- Αυξομειούμενη επιταχυνόμενη κυκλοφορία: συνήθως σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας ύστερα από διασταυρώσεις ή σε συνδετήριους κλάδους κόμβων αυτοκινητοδρόμων, σε σταθμούς διοδίων κ.λπ.

- Αυξομειούμενη επιβραδυνόμενη κυκλοφορία: παρατηρείται συνήθως στα σημεία προσέγγισης σημαντικών αστικών κόμβων, σε εξόδους αυτοκινητοδρόμων ή οδών ταχείας κυκλοφορίας, ή στα σημεία προσέγγισης σταθμών διοδίων κ.λπ.

Ορίζονται τρεις διαμήκεις κατατομές προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές εκπομπές θορύβου σε συνάρτηση με την κλίση της οδού:

- οριζόντια οδός ή οριζόντιο τμήμα οδού με κλίση στην κατεύθυνση της κυκλοφορίας κατώτερη του 2 %,
- ανερχόμενη οδός είναι η οδός με ανιούσα κλίση στην κατεύθυνση της κυκλοφορίας ανώτερη του 2 %,
- κατερχόμενη οδός είναι η οδός με κατιούσα κλίση στην κατεύθυνση της κυκλοφορίας ανώτερη του 2 %.

Είδη οδοστρώματος:

- Λεία ασφαλτος (ασφαλτικό σκυρόδεμα ή ασφαλτική μαστίχη): αυτό είναι το οδόστρωμα αναφοράς που ορίζει το πρότυπο EN ISO 11819-1. Πρόκειται για πυκνό, λείας υφής οδόστρωμα από ασφαλτικό σκυρόδεμα ή μείγμα σκύρων ασφαλτικής μαστίχης, με μέγιστο μέγεθος σκύρων 11-16 χιλιοστά.

- Πορώδες οδόστρωμα: πρόκειται για οδόστρωμα με όγκο πόρων τουλάχιστον 20 %. Η παλαιότητα του οδοστρώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα πέντε έτη (ο περιορισμός για την παλαιότητα λαμβάνει υπόψη την τάση πορωδών οδοστρωμάτων να καθίστανται λιγότερο απορροφητικά με την πάροδο του χρόνου λόγω της πλήρωσης των πόρων. Ο περιορισμός για την παλαιότητα επιτρέπεται να παραβλεφθεί στην περίπτωση ειδικής συντήρησης. Ωστόσο, μετά τα πρώτα πέντε έτη πρέπει να διεξαχθούν μετρήσεις για τον προσδιορισμό των ηχητικών ιδιοτήτων του οδοστρώματος. (Η ιδιότητα περιορισμού του θορύβου αυτού του οδοστρώματος είναι συνάρτηση της ταχύτητας του οχήματος).

- Σκυρόδεμα και κυματοειδής ασφαλτος: συνίσταται από σκυρόδεμα και ασφαλτο ανώμαλης υφής.

- Λιθόστρωτο λείας υφής: κυβόλιθοι σε απόσταση μικρότερη από 5 χιλιοστά μεταξύ τους.

- Λιθόστρωτο ανώμαλης υφής: κυβόλιθοι σε απόσταση μεγαλύτερη ή ίση από 5 χιλιοστά μεταξύ τους.

- Λοιπά οδοστρώματα: πρόκειται για ανοικτή κατηγορία, στην οποία τα κράτη μέλη μπορούν να προβλέψουν διορθώσεις για άλλα οδοστρώματα.

Για την αξιολόγηση των συνεπειών του ποσοστού βαρέων οχημάτων χρησιμοποιείται η εξίσωση υπολογισμού του στατιστικού δείκτη διέλευσης (SPBI). Κατά τον υπολογισμό του εν λόγω δείκτη χρησιμοποιείται ποσοστό 10%, 20%, 30% αντίστοιχα για καθένα από τα τρία ποσοστιαία πεδία που ορίζονται στο σχετικό πίνακα (0-15 %, 16-25 % και > 25 %).

Επιφάνεια οδοστρώματος	Διόρθωση στάθμης θορύβου.	
Λιθόστρωτο ανώμαλης υφής	+6 dB	
Λιθόστρωτο λείας υφής	+3 dB	
Σκυρόδεμα και κυματοειδής άσφαλτος	+2 dB	
Λεία άσφαλτος	+0 dB	
Πορώδες οδόστρωμα	-1 για V<60km/h -2, για Vm=61-80km/h -3 ,για Vm=81-130km/h	

Πίνακας [2.1.α]:Προτεινόμενη μέθοδος διορθώσεων για το οδόστρωμα

2.1.3. Μοντέλο διάδοσης ήχου

Οι δέκτες θα πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον σε ύψος 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και άλλα 2m μπροστά από τις προσόψεις των κτιρίων.

Η μέθοδος υπολογίζει τα ηχητικά επίπεδα σε ελεύθερο πεδίο.

Ο περιβαλλοντικός οδικός κυκλοφοριακός θόρυβος ακολουθεί μια διαδρομή έως ότου καταλήξει στο δέκτη και οι διαδρομές αυτές είναι δύο τύπων:

- **Διαδρομές άμεσες** από την πηγή προς το δέκτη: πρόκειται για ευθύγραμμες διαδρομές του διαδιδόμενου θορύβου, στις οποίες ενσωματώνονται ενδεχόμενες περιθλάσεις ή ανακλάσεις πάνω στο έδαφος.
- **Διαδρομές ανακλώμενες**, όπου ο θόρυβος ανακλάται πάνω σε κάθετα εμπόδια που συναντάει κατά τη διάδοσή του. Αυτός ο τύπος της διάδοσης επιλύεται με τη βοήθεια της μεθόδου των εικονικών πηγών.

Για μια σημειακή πηγή **Si** ακουστικής ισχύος L_{Awi} και για μια διαδεδομένη ζώνη οκτάβας ,το συνεχές ισοδύναμο επίπεδο θορύβου σε ένα σημείο δέκτη R σε δεδομένες ατμοσφαιρικές συνθήκες δίνεται με βάση τους παρακάτω υπολογισμούς:

Για μια διαδεδομένη ζώνη οκτάβας

- Στάθμη θορύβου σε ευνοϊκές συνθήκες για τη διαδρομή Si-R

$$Li, f = Lawi - Ai, f \quad \text{εξ(2.1.1.)}$$

Όπου,

Ai, f : το σύνολο των παραγόντων που προκαλούν εξασθένιση του ηχητικού σήματος σε ευνοϊκές συνθήκες, και πιο αναλυτικά.

$$Ai, f = Adiv + Aatm + Asol, f + Adiv, f \quad (2.1.2)$$

Όπου,

A_{div} είναι η εξασθένιση του ήχου λόγω γεωμετρικής απόκλισης

A_{atm} ,η εξασθένιση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης

$A_{sol,F}$ η εξασθένιση λόγω της επίδρασης του εδάφους σε ευνοϊκές συνθήκες

$A_{div,F}$ η εξασθένιση λόγω περίθλασης σε ευνοϊκές συνθήκες

- Στάθμη θορύβου σε ομοιογενείς συνθήκες για την διαδρομή Si-R

$$Li, H = LA_{wi} - A_{i, H} \quad (2.1.3)$$

Όπου,

$A_{i,H}$: το σύνολο των παραγόντων που προκαλούν εξασθένιση του ηχητικού σήματος σε ομοιογενείς συνθήκες ,και πιο αναλυτικά:

$$A_{i, H} = A_{div} + A_{atm} + A_{sol, H} + A_{div, H} \quad (2.1.4)$$

Όπου,

$A_{sol,H}$ είναι η εξασθένιση λόγω της επίδρασης του εδάφους σε ομοιογενείς συνθήκες

$A_{div,H}$ η εξασθένιση λόγω περίθλασης σε ομοιογενείς συνθήκες

- Μακροπρόθεσμη στάθμη θορύβου για τη διαδρομή Si-R: Η μακροπρόθεσμη στάθμη θορύβου που οφείλεται στη σημειακή πηγή I επιτυγχάνεται από το ενεργητικό άθροισμα των επιπέδων θορύβου σε ομοιογενείς και ευνοϊκές συνθήκες, που παράγονται από την ύπαρξη μέσων ευνοϊκών συνθηκών p_i στη διαδρομή Si-R.:

$$Li, LT = 10 \log (p_i 10^{Li, F/10} + (L - p_i) 10^{Li, H/10}) \quad (2.1.5)$$

- Μακροπρόθεσμη στάθμη θορύβου στο σημείο R για όλες τις διαδρομές:

Η συνολική στάθμη θορύβου στο δέκτη για μια διαδομένη ζώνη οκτάβας προκύπτει από το άθροισμα των ηχητικών συνεισφορών του συνόλου των σημειακών πηγών και των ενδεχόμενων εικονικών πηγών τους:

$$Leq, LT = 10 \log (\sum_i 10^{0,1 Li, lt} + \sum_i 10^{0,1 Li, LT}) \quad (2.1.6)$$

Όπου,

i: αντιπροσωπεύει το σύνολο των σημειακών πηγών ,

ι': το σύνολο των εικονικών πηγών που αντιστοιχούν στις ανακλάσεις πάνω στα κάθετα εμπόδια

- Συνολική μακροπρόθεσμη στάθμη θορύβου στο σημείο R: Η συνολική στάθμη θορύβου μετρημένη σε db (A) προκύπτει από το άθροισμα των επιπέδων σε καθεμία από τις ζώνες οκτάβων:

$$L_{AEq, LT} = 10 \log (\sum_{j=1}^b 10^{0,1 L_{eq, LT}}) \quad (2.1.7)$$

Ως επίπεδο $L_{Aeq, LT}$ θεωρείται η τελική μακροπρόθεσμη ηχητική στάθμη στο σημείο του δέκτη.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

Αρχικά γίνεται ο διαχωρισμός του οδικού άξονα σε σειρά γραμμικών πηγών (lignes de sources). Ο αριθμός και η θέση αυτών των γραμμικών πηγών εξαρτάται από την επιδιωκόμενη ακρίβεια. Συνήθως επιλέγεται μια γραμμή στο κέντρο κάθε λωρίδας κυκλοφορίας. Ακόμα είναι πιθανόν ανάλογα με τις συνθήκες διάδοσης η επιλογή της γραμμικής πηγής να είναι μια για κάθε πλευρά κίνησης της κυκλοφορίας η από μία μόνο γραμμική πηγή τοποθετημένη στον άξονα του δρόμου. Στη συνέχεια γίνεται και ο διαχωρισμός κάθε γραμμικής πηγής σε μεμονωμένες σημειακές πηγές. Η εξαρτώμενη από τη συχνότητα βασική στάθμη ηχητικής ισχύος LA_{wi} σε dB(A) μιας σύνθετης σημειακής πηγής i, σε ένα δεδομένο διάστημα οκτάβας j, υπολογίζεται από τις επιμέρους τιμές της ηχοστάθμης των ελαφρών και των βαρέων οχημάτων προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{Awi} = \{(E_{VL} + 10\log Q_{VL}) + (E_{PL} + 10\log Q_{PL})\} + 20 + 10\log l_i + R_j \quad (2.1.8)$$

Όπου,

E_{VL} και E_{PL} : οι στάθμες εκπομπής του θορύβου, έτσι όπως ορίζονται "Quide du Bruit"

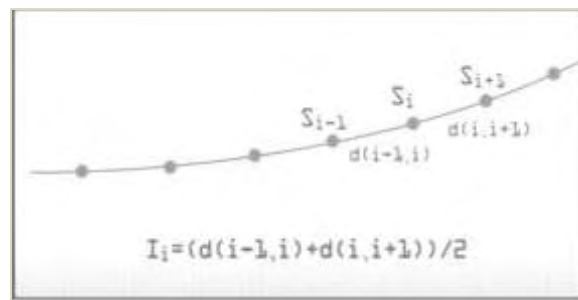
Q_{VL} , Q_{PL} : οι αντίστοιχοι ωριαίοι φόρτοι για τα ελαφριά και βαριά οχήματα για την υπό μελέτη περίοδο

l_i : ο χωρικός διαχωρισμός σε μέτρα

R_i : η τιμή του φάσματος του οδικού θορύβου που δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

j	Διαστήματα οκτάβας	Τιμές (R) 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

Πίνακας[2.1..β]: Διαστήματα οκτάβας και οι αντίστοιχες τιμές του φάσματος του οδικού θορύβου.



Σχήμα [2.1.δ]: (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

2.1.4 Υπολογισμός της διάδοσης λόγω εξασθενήσεων

Οι δέκτες θα πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον σε ύψος 2 μέτρων πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και άλλα 2 μέτρα μπροστά από τις προσόψεις των κτιρίων. Η μέθοδος υπολογίζει τα ηχητικά επίπεδα σε ελεύθερο πεδίο. Ο θόρυβος ακολουθεί μια διαδρομή έως ότου καταλήξει στο δέκτη και οι διαδρομές αυτές είναι δύο τύπων:

- Διαδρομές **άμεσες** από την πηγή προς τον δέκτη: πρόκειται για ευθύγραμμες διαδρομές του διαδιδόμενου θορύβου, στις οποίες ενσωματώνονται ενδεχόμενες περιθλάσεις ή ανακλάσεις πάνω στο έδαφος.
- Διαδρομές **ανακλώμενες**, όπου ο θόρυβος ανακλάται πάνω σε κάθετα εμπόδια που συναντάει κατά τη διάδοση του. Αυτός ο τύπος της διάδοσης επιλύεται με τη βοήθεια της μεθόδου των εικονικών πηγών.

Αξίζει να σημειωθεί πως η βασική διαφορά ανάμεσα στις ομοιογενείς και ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης οφείλεται στην κάμψη των ακτινών: ευθύγραμμες στις πρώτες και καμπύλες στις ευνοϊκές.

Αναλυτικά:

Γεωμετρική απόκλιση:

Η εξασθένηση του ήχου εξαιτίας της γεωμετρικής απόκλισης λαμβάνει υπόψη της την αποδυνάμωση του επιπέδου θορύβου εξαιτίας της απόστασης διάδοσης. Για μια σημειακή ηχητική πηγή σε ελεύθερο πεδίο, η εξασθένηση σε Db δίνεται από τη σχέση:

$$A_{div} = 20 \log(d) + 11 \quad (2.1.9.)$$

Όπου,

d : η άμεση απόσταση πηγής –δέκτη (απόσταση απουσία τυχόν παρεμβαλλόμενου εμποδίου) σε μέτρα.

Ατμοσφαιρική απορρόφηση : Καθώς ένα ηχητικό κύμα διαδίδεται σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον απορροφάται μικρή ποσότητα της ηχητικής ενέργειας από την ατμόσφαιρα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική απορρόφηση είναι η θερμοκρασία, η συχνότητα του ηχητικού κύματος και κυρίως η υγρασία. Η εξασθένηση του ήχου λόγω της ατμοσφαιρικής απορρόφησης A_{atm} (σε db) ,λόγω της διάδοσης σε μια απόσταση d δίνεται από τη σχέση:

$$A_{atm} = \frac{ad}{1000} \quad (2.1.10)$$

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 .

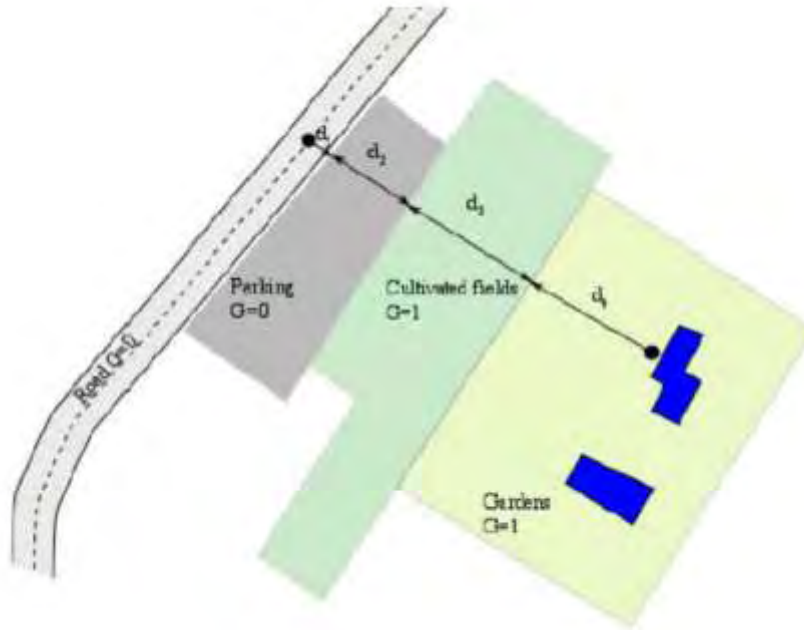
Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
a (dB/km)	0,38	1,13	2,36	4,08	8,75	26,4

Πίνακας [2.1.γ]: Συντελεστής ατμοσφαιρικής απορρόφησης a σε dB/km ανά κεντρική ζώνη οκτάβας

Οι τιμές του συντελεστή απορρόφησης a δίνονται για θερμοκρασία 15ο^c και σχετική υγρασία 70%.

Επίδραση εδάφους: Η εξασθένηση της επίδρασης του εδάφους είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο θόρυβο που ανακλάται από την επιφάνεια του εδάφους και του θορύβου που διαδίδεται από την πηγή προς το δέκτη. Η εξασθένηση λοιπόν του θορύβου σε σχέση με το έδαφος εξαρτάται από τη φύση όσο και με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάδοση του θορύβου. Η παρούσα μέθοδος περιγράφει δύο διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού βασισμένες όμως στις ίδιες αρχές, τον υπολογισμό της εξασθένησης εξαιτίας της επίδρασης του εδάφους σε ατμοσφαιρικές συνθήκες ευνοϊκές και ομοιογενείς. Στις ευνοϊκές, η διαδικασία υπολογισμού είναι σχεδόν ίδια με αυτήν που προτείνει και το πρότυπο ISO 9613-2 που προαναφέρθηκε. Οι απορροφητικές ιδιότητες των εδαφών εξαρτώνται από τα πορώδη χαρακτηριστικά τους. Τα σκληρά εδάφη προκαλούν γενικά ηχο-ανακλάσεις, ενώ τα πορώδη απορροφούν σημαντικά την ηχητική ενέργεια. Η ηχητική απορρόφηση του εδάφους διάδοσης συμβολίζεται με τον αδιάστατο συντελεστή G με τιμές από 0 έως 1.

- G=0 αντιστοιχεί σε ανακλαστική εδαφική επιφάνεια (οδοστρώματα, νερό, πάγος, σκυρόδεμα και όλες οι επιφάνειες με χαμηλό πορώδες),



Σχήμα [2.1.4.α] (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

- $G=1$ σε απορροφητική εδαφική επιφάνεια (χορτολιβαδικές εκτάσεις, εδάφη, με ξυλώδη βλάστηση, καλλιεργήσιμες εκτάσεις) και τέλος,
- $0 < G < 1$ στην περίπτωση εδαφών που το πορώδες τους διαφέρει κατά μήκος μιας διαδρομής.

$$G_{trajet} = \frac{0 * d1 + 0 * d2 + 1 * d3 + 1 * d4}{d} = \frac{d3 + d4}{d}$$

Και $d = d1 + d2 + d3 + d4$ (2.1.11)

Όταν η πηγή και ο δέκτης βρίσκονται σε πλήρως ανακλαστική εδαφική επιφάνεια, τότε ο θόρυβος ανακλάται και στο σημείο λήψης ισχύει το φαινόμενο της συμβολής (α) του απευθείας διαδιδόμενου θορύβου με (β) τον ανακλώμενο, με αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης θορύβου, αφού λόγω της ανάκλασης του θορύβου εκπέμπεται διπλάσια ενέργεια από τη συνθήκη «μη ανάκλασης». Στην περίπτωση αυτή, που η επιφάνεια είναι απορροφητική όπως πχ. γκαζόν, βλάστηση κλπ, τότε η ανάκλαση τείνει να είναι μηδενική λόγω της απορρόφησης της ηχητικής ακτινικής ενέργειας από την εδαφική επιφάνεια.

Ύψη πάνω από το έδαφος: Με την ένδειξη h σημειώνονται τα πραγματικά ύψη μετρημένα κάθετα από το επίπεδο εδάφους, ενώ με το γράμμα z σημειώνονται τα ισοδύναμα ύψη σε μέτρα, μετρημένα ορθογώνια με αναφορά στο επίπεδο του μέσου εδάφους (plan moyen : μέσο έδαφος το οποίο προκύπτει με την εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων στο προφίλ του πραγματικού επιπέδου μεταξύ της πηγής και του δέκτη). Οι δείκτες r και s υποδηλώνουν αντίστοιχα την πλευρά του δέκτη (R -recepteur) και της πηγής (S -source).

Υπολογισμός της επίδρασης του εδάφους σε ευνοϊκές συνθήκες : Οι τιμές της επίδρασης του εδάφους υπολογίζονται χωριστά για : (α) την ζώνη της πηγής, (β) την ενδιάμεση ζώνη

διαδρομής και (γ) την ζώνη του δέκτη. Σε καθεμία από τις ζώνες αντιστοιχεί και ένας διαφορετικός συντελεστής: G_s , G_m , G_r για τις ανωτέρω διακριτές ζώνες: πηγής (Source, Media, και Receptor αντίστοιχα. Θεωρούνται δύο συντελεστές: (α) ένας συντελεστής G_s στην περιοχή της πηγής και (β) ένας συντελεστής G_{trajet} που αντιστοιχεί στα μέσα χαρακτηριστικά του εδάφους της διαδρομής διάδοσης που εφαρμόζεται στη μεσαία ζώνη και στη ζώνη του δέκτη ($G_m = G_r = G_{trajet}$). Το έδαφος που βρίσκεται κοντά στη πηγή είναι ανακλώμενης φύσης ($G_s=0$). Στην μεσαία ζώνη και τη ζώνη του δέκτη, ο συντελεστής G_{trajet} θεωρείται ίσος με το λόγο του απορροφούμενου εδάφους στο σύνολο της διαδρομής διάδοσης. Όταν η πηγή και ο δέκτης βρίσκονται κοντά - συνθήκη $D_p \leq 30(z_s+z_r)$ - η διάκριση του εδάφους έχει περιορισμένη σημασία. Αν ο δέκτης είναι πολύ κοντά στην άκρη του οδοστρώματος, το έδαφος στην πλευρά του δέκτη δεν υπολογίζεται ως απορροφητικό και η διόρθωση του εδάφους G_{trajet} είναι:

$$\text{Για } dp \leq 30(z_s+z_r): \quad G'_{trajet} = G_{trajet} \quad (2.1.12)$$

$$\text{Για } dp > 30(z_s+z_r): \quad G'_{trajet} = G_{trajet} \left[\frac{dp}{30(z_s+z_r)} \right] \quad (2.1.13)$$

Η εξασθένηση λόγω της επίδρασης του εδάφους σε ευνοϊκές συνθήκες στο σύνολο της διαδρομής διάδοσης δίνεται από τη σχέση:

$$A_{sol,F} = A_{s,F} + A_{m,F} + A_{r,F} \quad (2.1.14)$$

Όπου,

$A_{s,F}$, $A_{m,F}$, $A_{r,F}$ είναι οι εξασθενήσεις λόγω της επίδρασης του εδάφους κοντά στην πηγή, στην ενδιάμεση ζώνη και κοντά στον δέκτη αντίστοιχα, υπολογισμένες σύμφωνα με τον πίνακα στη συνέχεια (προσαρμοσμένες σε αυτές του προτύπου ISO 9613-2).

Ονομαστική κεντρική συχνότητα (Hz)	$A_{s,F}$ ή $A_{r,F}$ (dB)	$A_{m,F}$ (dB)
125	$-1.5 + G a'(z)$	$-3q(1-G)$
250	$-1.5 + G b'(z)$	
500	$-1.5 + G c'(z)$	
1000	$-1.5 + G d'(z)$	
2000	$-1.5(1-G)$	
4000	$-1.5(1-G)$	

Πίνακας [2.1.6]: Σχέσεις υπολογισμού της επίδρασης του εδάφους σε ευνοϊκές συνθήκες

όπου

$$a'(z) = 1.5 + 3.0e^{-0.12(z-5)^2} \left(1 - e^{-\frac{dp}{50}} \right) + 5.7e^{-0.009z^2} \left(1 - e^{-2.8 \cdot \frac{10(-b)dp}{2}} \right)$$

$$b'(z) = 1.5 + 8.6e^{-0.09z^2} \left(1 - e^{-\frac{dp}{50}} \right)$$

$$c'(z) = 1.5 + 14e^{-0.46bz^2} \left(1 - e^{-dp/50} \right)$$

$$d'(z) = 1.5 + 5.0e^{-0.9z^2} \left(1 - e^{-\frac{dp}{50}} \right)$$

$$q=0 \text{ εάν } dp \leq 30(z_s + z_r)$$

$$q=1 - \frac{30(z_s+z_r)}{d_p} \text{ εάν } d_p > 30(z_s + z_r)$$

- για τον υπολογισμό του $A^{s,F}$ θεωρείται $z=z^s+z^r$ και $G=G^s$
- για τον υπολογισμό του $A^{r,F}$ θεωρείται $z=z^r$ και $G=G^{trajet}$
- για τον υπολογισμό του $A^{m,F}$ θεωρείται $G=G^{trajet}$.

Υπολογισμός επίδρασης του εδάφους σε ομοιογενείς συνθήκες :

ηχητικές ακτίνες είναι ευθύγραμμες, δεν υπάρχει τρόπος να γίνει διακρίση μεταξύ των ζωνών πηγής ,την ενδιάμεση και του δέκτη. Ετσι, εδώ θεωρείται ένας συντελεστής εδάφους G_{trajet} μοναδικός για το σύνολο της διαδρομής διάδοσης και ταυτόσημος με αυτόν που χρησιμοποιείται για τη δάδοση σε ευνοϊκες συνθήκες. Η εξασθένηση λόγω της επίδρασης του εδάφους σε ομοιογενείς συνθήκες υπολογίζεται από τις σχέσεις:

1) Αν $G \gg 0$

$$A_{sol,H} = -10 \left[\frac{4k^2}{d_p \left(z_s^2 - \frac{\sqrt{2C_f z_c}}{k} + \frac{C_f}{k} \right) \left(z_r^2 - \frac{\sqrt{2C_f z_r}}{k} + \frac{C_f}{k} \right)} \right] \geq -3(1 - G'_{trajet}) \quad (2.1.15.)$$

Όπου,

$k=2\pi f/c$ και f είναι η κεντρική συχνότητα της οκτάβας υπολογισμού σε Hertz (125,250,500,1000,2000,4000 Hz) και c η ταχύτητα του ήχου στον αέρα που ισούται με 340m/sec και

$$C_f = dp * ((1 + 3\omega dp (e^{\sqrt{\omega dp}})) / (1 + \omega dp)) \quad (2.1.16)$$

Οι τιμές του w υπολογίζονται συναρτήσει των f και G_{trajet} .

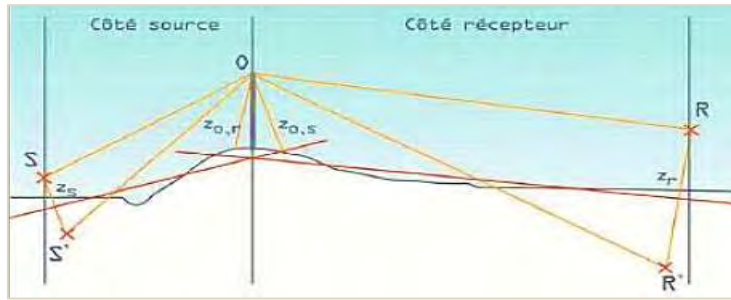
$$w = (0.0185[f^{2.5}G^{2.6}]/(f^{1.5}G^{2.6} + 1.3 * 10^3 * f^{0.75}G^{1.3} + 1.16 * 10^6) \quad (2.1.17.)$$

Αν το $A_{sol,H}$ είναι κάτω από $-3(1-G'_{trajet})$ παίρνουμε $A_{sol,H}=-3(1-G'_{trajet})$. Ο όρος $-3(1-G'_{trajet})$ λαμβάνει υπόψιν το γεγονός ότι, καθώς η πηγή και ο δέκτης βρίσκονται μακριά, η πρώτη ανάκλαση στην πλευρά της πηγής δε θα συμβεί πάνω στο οδόστρωμα, αλλά πάνω στο φυσικό έδαφος.

2)

$$G_{trajet}=0: \text{ τότε } A_{sol}=-3 \text{ db} \quad (2.1.18.)$$

Περίθλαση: Σε ό,τι αφορά το φαινόμενο της περίθλασης που εμφανίζεται σε κάθε εμπόδιο Ο στη διαδρομή διάδοσης του θορύβου το σχήμα στη συνέχεια απεικονίζει τη γενική μέθοδο υπολογισμού της σχετικής εξασθένησης. Η μέθοδος υπολογισμού βασίζεται στην ανάλυση της διαδρομής διάδοσης σε δύο μέρη: την πλευρά της πηγής που βρίσκεται ανάμεσα στο σημείο περίθλασης και το δέκτη. Επισημαίνεται ότι όταν η διαδρομή του θορύβου διέρθει άνωθεν εμποδίου που παρεμβάλλεται χ.π. αντιθορυβικού πετάσματος ,η εξασθένηση του υπολογίζεται όπως ανωτέρω ,στην περίπτωση της επίδρασης του εδάφους. Η μέθοδος εξασφαλίζει τη σύγκριση στην κεντρική συχνότητα των 500 Hz ,που εκφράζει τη διαφοροποίηση του βήματος δ βάσει της ποσότητας $-\lambda/20$ (ίση με -0.034m στα 500 Hz). Στην περίπτωση που η διαφορά βήματος δ είναι μικρότερη <-0.034 , τότε δεν υπάρχει τρόπος να υπολογιστεί η περίθλαση. Η πηγή και ο δέκτης θεωρούνται ότι είναι άμεσα ορατά και ο υπολογισμός γίνεται για όλες τις ζώνες συχνοτήτων σε επίπεδο 1/1 οκτάβας, όπως ανωτέρω. Στην αντίθετη περίπτωση εφαρμόζεται ο υπολογισμός της περίθλασης ,όπως περιγράφεται στη συνέχεια για όλες τις συχνότητες 1/1 οκτάβας .Λαμβάνεται υπόψη ο όρος A_{sol} της εξασθένησης λόγω της επίδρασης του εδάφους. Γι αυτό το λόγο ο



Σχήμα[2.1.4.β] Απεικόνιση μεθόδου υπολογισμού εξασθένησης λόγω περίθλασης (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

παραπάνω όρος δεν επαναυπολογίζεται στις σχέσεις υπολογισμού των παραγόντων εξασθένησης ανωτέρω.

Αναλυτικά υπολογίζονται:

1. η επίδραση του εδάφους στην πλευρά της πηγής, $\Delta_{sol}(S,O)$
2. η επίδραση του εδάφους στην πλευρά του δέκτη, $\Delta_{sol}(O,R)$ και
3. οι τρεις περιθλάσεις: ανάμεσα στην πηγή S και τον δέκτη R, $\Delta_{div,f}(S,R)$ ανάμεσα στην εικονική πηγή S' και τον δέκτη R, $\Delta_{div,f}(S',R)$ και ανάμεσα στην πηγή S και τον εικονικό δέκτη R', $\Delta_{div,f}(S',R')$

Καθαρή περίθλαση: Στην περίπτωση αυτή λόγω της απουσίας της επίδρασης του εδάφους, η εξασθένηση Δ_{dif} είναι :

$$1) \text{ Εάν } \left(\frac{40}{\lambda}\right) C'' \delta \geq -2 \text{ τότε } \Delta_{dif} = 10 \log \left(3 + \left(\frac{40}{\lambda}\right) C'' \delta \right) \quad (2.1.19)$$

$$2) \text{ Εάν } \left(\frac{40}{\lambda}\right) C'' \delta < -2 \text{ τότε } \Delta_{dif} = 0 = 0 \text{ dB} \quad (2.1.20)$$

όπου

l: το μήκος κύματος στην κεντρική ονομαστική συχνότητα της ζώνης 1/1 οκτάβας που υπολογίζεται

δ : η μεταβολή του βήματος ανάμεσα στη διαδρομή με περίθλαση και στην άμεση διαδρομή C'': ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις πολλαπλές περιθλάσεις και $C'' = 1$ για μια απλή περίθλαση και για μια πολλαπλή περίθλαση όπου e είναι η συνολική απόσταση ανάμεσα στις ακραίες περιθλάσεις στην περίπτωση των πολλαπλών περιθλάσεων. Ισχύει:

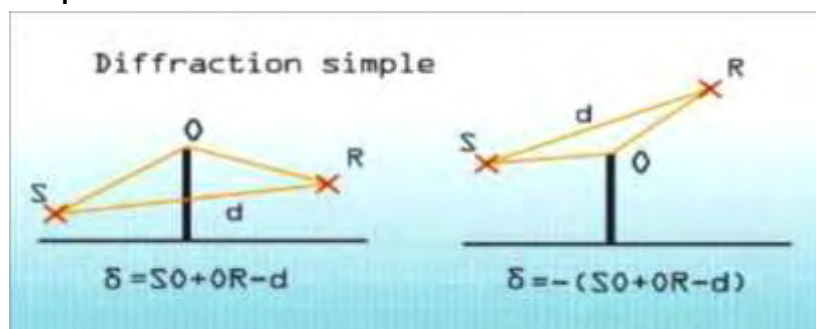
(α) για $\Delta_{dif} < 0$: $\Delta_{dif} = 0 \text{ dB}$

(β) για $\Delta_{dif} > 25$: $\Delta_{dif} = 25 \text{ dB}$ για περίθλαση σε μια οριζόντια ακμή

Υπολογισμός της μεταβολής του βήματος δ : η μεταβολή του βήματος δ υπολογίζεται για ένα οριζόντιο επίπεδο που περιλαμβάνει την πηγή και τον δέκτη σε:

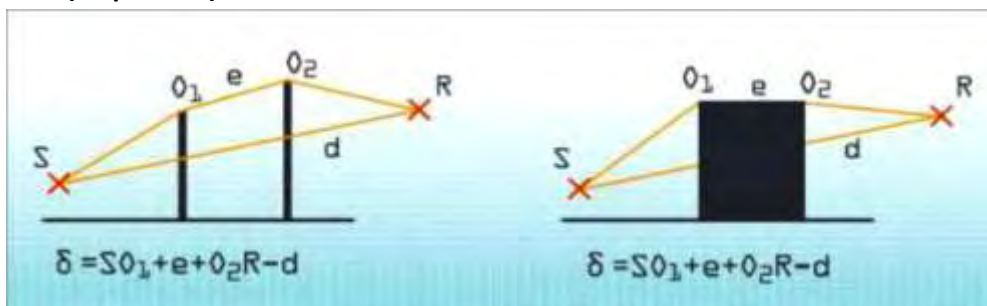
- Ομοιογενείς συνθήκες:

Απλή περίθλαση:



Σχήμα[2.1.4.γ](Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

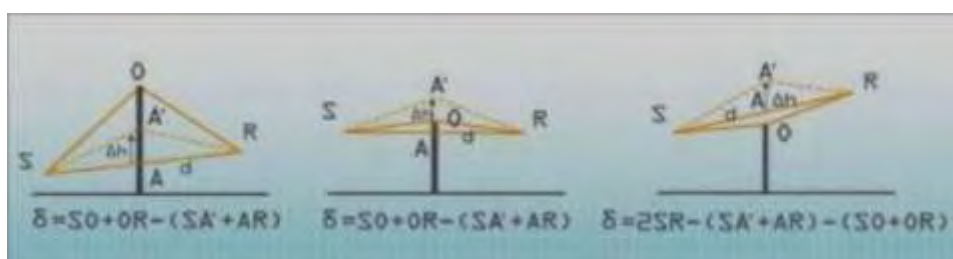
Πολλαπλή περίθλαση:



Σχήμα[2.1.4.δ](Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

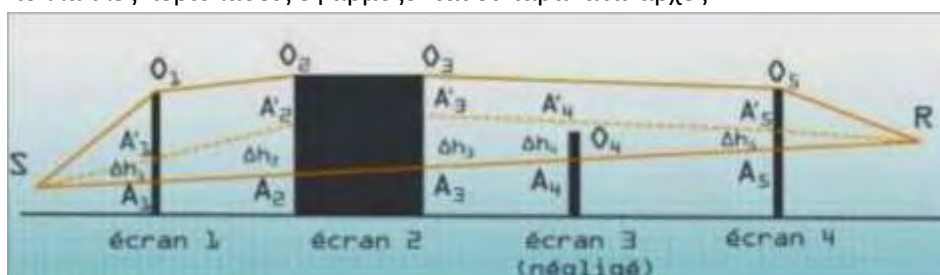
- **Ευνοϊκές συνθήκες:** όπου γίνεται μετακίνηση του σημείου A που βρίσκεται στο δεξί τμήμα της ακμής περίθλασης ,προς το άνω μέρος της ποσότητας Δh της ακμής περίθλασης. Σε αντίθεση με τις ομοιογενείς συνθήκες όπου τα σημεία S και R μπορεί και να είναι κρυμμένα μεταξύ τους, στις ευνοϊκές συνθήκες τα σημεία αυτά είναι άμεσα ορατά μεταξύ τους.

ΑΠΛΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ



Σχήμα [2.1.4.ε] . ΑΠΛΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ (παραδοχή τροποποίησης της ακτίνας SR σε ακτίνα SA'R όπου AA'=Δh) (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

Για τις πολλαπλές περιθλάσεις εφαρμόζονται οι παρακάτω αρχές:



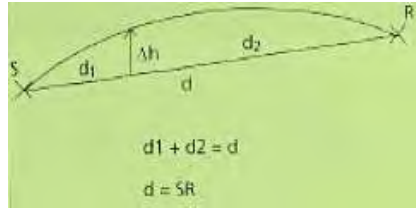
Σχήμα [2.1.4.στ.]:ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

$$\delta = SO_1 + O_1O_2 + O_2O_3 + O_3O_5 + O_5R - (SA'1 + A'1A'2 + A'2A'3 + A'3A'5 + A'5R)$$

η ποσότητα Δh (σε μέτρα) υπολογίζεται με τη σχέση: $\Delta h = (d_1 d_2 / 2\gamma)$

γ: ακτίνα της καμπύλης της ακουστικής διαδρομής, σε μ. $\gamma = 8d$, όπου d η απευθείας απόσταση διάδοσης για $\geq 1000\mu$. (εάν $\gamma \leq 1000\mu$, $\gamma = 1000\mu$.)



Σχήμα[2.1.4.ι]: Απόσταση μεταξύ πηγής και δέκτη. (Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012)

Υπολογισμός της εξασθένησης λόγω περίθλασης A_{dif} :

Η εξασθένηση του θορύβου λόγω του φαινομένου της περίθλασης λαμβάνει υπόψη της τόσο την επίδραση του εδάφους στην πλευρά της πηγής όσο και στην πλευρά του δέκτη και υπολογίζεται σύμφωνα με τη γενική σχέση:

$$A_{dif} = A_{dif}(S, R) + A_{sol}(S, O) + A_{sol}(O, R) \quad (2.1.21)$$

$A_{dif}(S, R)$: η εξασθένηση λόγω περίθλασης ανάμεσα στην πηγή S και R

$A_{sol}(S, O)$: η εξασθένηση λόγω της επίδρασης του εδάφους στην πλευρά της πηγής ενισχυμένη από την περίθλαση στην πλευρά της πηγής

$A_{sol}(O, R)$: η εξασθένηση λόγω της επίδρασης του εδάφους στην πλευρά του δέκτη, ενισχυόμενη από την περίθλαση στην πλευρά του δέκτη.

Ο υπολογισμός του όρου $A_{sol}(S, O)$ δίνεται από τη σχέση:

$$A_{sol}(S, O) = -20 \log \left[1 + \left(10^{-\frac{A_{sol}(S, O)}{20}} - 1 \right) 10^{-A_{dif}(S, R) - \frac{\Delta did(S, R)}{20}} \right] \quad (2.1.22.)$$

Όπου,

$A_{sol}(S, O)$: η εξασθένηση του θορύβου της επίδρασης του εδάφους ανάμεσα στην πηγή S και το σημείο περίθλασης O. Για τις οδικές κατασκευές και εφόσον η ακμή περίθλασης δεν είναι πολύ απομακρυσμένη γίνεται παραδοχή της τιμής των -3 db, λαμβάνοντας υπόψη την ανάκλαση πάνω στην υποδομή

$A_{sol}(S, O) = -3$ db (σε ομοιογενείς και ευνοϊκές συνθήκες), ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις, ο όρος $A_{sol}(S, O)$, υπολογίζεται σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν στις ομοιογενείς με τις παρακάτω υποθέσεις:

$Z_r = z_o, s$ και $d = SO$ σε ευνοϊκές συνθήκες

$G_s = 0, G_m = G_r = G'_{trajet}$

Ανάμεσα στα S και O σε ομοιογενείς συνθήκες

$G = G'_{trajet}$ υπολογισμένο ανάμεσα στα S και O

$\Delta dif(S', R)$: η εξασθένηση λόγω της περίθλασης ανάμεσα στην εικονική πηγή S' και R' υπολογισμένη σύμφωνα με το ανωτέρω σχήμα

$\Delta dif(S, R)$: είναι η εξασθένηση λόγω της περίθλασης ανάμεσα S και R υπολογισμένη σύμφωνα με το σχήμα ανωτέρω

Ο υπολογισμός του όρου $A_{sol}(S, R)$ δίνεται από τη σχέση :

$$A_{sol}(O, R) = -20 \log \left[1 + \left(10^{-\frac{A_{sol}(O, R)}{20}} - 1 \right) 10^{-A_{dif}(S, R) - \Delta dif(S, R)/20} \right] \quad (2.1.23.)$$

Όπου,

$A_{sol}(O, R)$: η εξασθένηση του ήχου λόγω της επίδρασης του εδάφους ανάμεσα στο σημείο περίθλασης O και R υπολογισμένο ανάλογα με την περίπτωση για ευνοϊκές ή ομοιογενείς συνθήκες σύμφωνα με τις παρακάτω υποθέσεις:

$Z_r = z_o, r$ και $d = OR$ σε ευνοϊκές συνθήκες

$G_s = G_m = G_r = G_{trajet}$ ανάμεσα στα O και R σε ομοιογενείς συνθήκες

$G = G_{trajet}$ υπολογισμένο ανάμεσα στα O και R

$\Delta dif (S,R')$: η εξασθένηση λόγω της περίθλασης ανάμεσα στην πηγή S και τον Εικονικό δέκτη R υπολογισμένη σύμφωνα με το σχήμα ανωτέρω

$\Delta dif (S,R)$: η εξασθένηση λόγω της περίθλασης ανάμεσα στην πηγή S και R υπολογισμένη σύμφωνα με το σχήμα ανωτέρω.

Σύμφωνα με την ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 6ης Αυγούστου 2003 (2003/613/EK) σε ότι αφορά στην διόρθωση για τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών και τον υπολογισμό τιμών της μακροπρόθεσμης στάθμης, επισημαίνεται ότι η "Longterm" υπολογίζεται - όπως αναλύθηκε ανωτέρω - ως εξής :

$$L_{longterm} = 10 \log [p 10^{\frac{LF}{20}} + (1 - p) 10^{LH/20}] \quad (2.1.24)$$

Όπου,

LF, : η ηχοστάθμη που υπολογίζεται υπό ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης του θορύβου,

LH : η ηχοστάθμη που υπολογίζεται υπό ομοιογενείς συνθήκες διάδοσης του θορύβου,

p : η μακροπρόθεσμη συχνότητα εμφάνισης καιρικών συνθηκών, ευνοϊκών για τη διάδοση του θορύβου

2.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Η ΜΕΘΟΔΟΣ SRMII

Δείκτες, εύρος συχνοτήτων και ορισμοί ζωνών συχνοτήτων

Οι υπολογισμοί του θορύβου ορίζονται στο φάσμα συχνότητας από 63 Hz έως 8 kHz. Τα αποτελέσματα των ζωνών συχνοτήτων παρέχονται στο αντίστοιχο διάστημα συχνοτήτων.

Οι υπολογισμοί εκτελούνται σε οκταβικές ζώνες για τους θορύβους οδικής και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας και τους βιομηχανικούς θορύβους, εκτός από την ηχητική ισχύ πηγών θορύβου σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, για την οποία χρησιμοποιούνται τριτοκταβικές ζώνες. Για τους θορύβους οδικής και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας και τους βιομηχανικούς θορύβους, με βάση αυτά τα αποτελέσματα οκταβικών ζωνών, η Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση στάθμη ηχητικής πίεσης για την περίοδο της ημέρας, του βραδιού και της νύχτας, όπως ορίζεται στο παράρτημα Ι και αναφέρεται στο άρθρο 5 της οδηγίας 2002/49/EK, υπολογίζεται με άθροιση όλων των συχνοτήτων:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \log \sum_{i=1} 10^{(Leq,LT + Ai)/10} \quad (2.1.24)$$

Περιγραφή της μεθόδου υπολογισμού.

Η συνιστώμενη προσωρινή μέθοδος υπολογισμού για το θόρυβο της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας είναι η εθνική μέθοδος υπολογισμού των Κάτω Χωρών «RMR» όπως δημοσιεύθηκε στο "Reken en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai 96, Ministrie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996" — η οποία προβλέπει δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού: τη μέθοδο SRM I (απλουστευμένος υπολογισμός) και τη μέθοδο SRM II (λεπτομερής υπολογισμός). Πρέπει να τηρούνται οι συνθήκες υπό τις οποίες μπορεί να εφαρμοσθεί έκαστη εκ των μεθόδων, όπως περιγράφεται στο έγγραφο των Κάτω Χωρών, ώστε να προσδιορίζεται η κατάλληλη για το σκοπό της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου μέθοδος, σύμφωνα με την οδηγία 2002/48/EK. Η μέθοδος υπολογισμού RMR των Κάτω Χωρών περιλαμβάνει το δικό της μοντέλο εκπομπών. Επιτρέπεται η χρήση αυτού του μοντέλου εκπομπών χωρίς τροποποιήσεις σε όλα τα κράτη μέλη.

Όσον αφορά τα δεδομένα εκπομπής, οι σχετικές κατευθυντήριες γραμμές προσδιορίζουν στη συνέχεια τη βάση δεδομένων εκπομπών των Κάτω Χωρών ως τη συνιστώμενη βάση δεδομένων αναφοράς. Ωστόσο, οι μέθοδοι μέτρησης παρέχουν στα κράτη μέλη τη δυνατότητα να παράγουν νέα δεδομένα εκπομπών προκειμένου να καλύψουν το έλλειμμα δεδομένων εκπομπής για τροχαίο υλικό διαφορετικό από εκείνο των Κάτω Χωρών, που κινείται επί σιδηροτροχιών διαφορετικές από εκείνες των Κάτω Χωρών, που είναι η βάση για τα δεδομένα αναφοράς.

2.2.1.ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Πριν από τον υπολογισμό της “ισοδύναμης συνεχούς στάθμης ηχητικής πίεσης”, όλα τα οχήματα που κινούνται σε καθορισμένο τμήμα σιδηροδρομικής γραμμής και εφαρμόζουν τις δέουσες κατευθυντήριες γραμμές συντήρησης, θα πρέπει να ταξινομούνται στις 10 κατηγορίες σιδηροδρομικών οχημάτων του πίνακα που ακολουθεί ή κατά περίπτωση, σε πρόσθετες κατηγορίες. Οι υφιστάμενες κατηγορίες αμαξοστοιχιών που προβλέπονται στη βάση δεδομένων των Κάτω Χωρών διακρίνονται κυρίως βάσει του συστήματος κίνησης και του συστήματος πέδησης των τροχών και δίνονται στη συνέχεια:

Κατηγορία	Περιγραφή αμαξοστοιχίας
1	Επιβατικές αμαξοστοιχίες με σύστημα πέδησης με σιαγόνες
2	Επιβατικές αμαξοστοιχίες με σύστημα πέδησης με δισκόφρενα και σιαγόνες
3	Επιβατικές αμαξοστοιχίες με σύστημα πέδησης και δισκόφρενα
4	Εμπορικές αμαξοστοιχίες με σύστημα πέδησης με σιαγόνες
5	Ντιζελοκίνητες αμαξοστοιχίες με σύστημα πέδησης με δισκόφρενα
6	Ντιζελοκίνητες αμαξοστοιχίες με σύστημα πέδησης με σιαγόνες
7	Αστικοί υπόγειοι σιδηρόδρομοι και συρμοί τραμ μεγάλης ταχύτητας με σύστημα πέδησης με δισκόφρενα
8	Ταχεία υπεραστικές αμαξοστοιχίες και μικρής ταχύτητας
9	Αμαξοστοιχίες μεγάλης ταχύτητας με σύστημα πέδησης με δισκόφρενα και σιαγόνες
10	Προσωρινή καταχώρηση αμαξοστοιχιών μεγάλης ταχύτητας τύπου ICE-3(M)(HST EAST)

Πίνακας[2.2.α]:(Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, 2012): Κατηγορίες αμαξοστοιχιών

Όταν οι υπολογισμοί βασίζονται στη μέθοδο SRM II, οι τιμές εκπομπής προσδιορίζονται ανά διάστημα οκτάβας για κάθε κατηγορία αμαξοστοιχίας και για διαφορετικές τιμές ύψους της πηγής του θορύβου (έως και πέντε τιμές). Μετά το χαρακτηρισμό των εκπομπών των διαφόρων κατηγοριών αμαξοστοιχιών υπολογίζεται η εκπομπή του καθορισμένου τμήματος της σιδηροδρομικής γραμμής, λαμβάνοντας υπόψη τη διέλευση αμαξοστοιχιών διαφόρων κατηγοριών (καθώς και το γεγονός ότι όλες οι κατηγορίες δεν διαθέτουν απαραίτητως πηγές θορύβου σε κάθε ύψος), καθώς και τη διέλευση αμαξοστοιχιών υπό διαφορετικές συνθήκες (με ή χωρίς πέδηση).

Ο συντελεστής εκπομπής στο διάστημα οκτάβας i υπολογίζεται ως εξής :

$$L_{E,i}^h = 10 \log \left(\sum_{c=L}^n 10^{E_{nb,i,c} \frac{c}{10}} + \sum_{c=1}^n 10^{E_{nbr,i,c}/10} \right) \quad (2.2.1.)$$

Όπου,

n , ο αριθμός των κατηγοριών αμαξοστοιχίας που κινούνται στην υπό εξέταση σιδηροδρομική γραμμή

$E_{nb,i,c}^h$ (αντίστοιχα $E_{br,i,c}^h$) η εκπομπή για μονάδες αμαξοστοιχίας χωρίς πέδηση (αντίστοιχα με πέδηση) έκαστης κατηγορίας αμαξοστοιχίας ($c=1$ έως n) στο διάστημα οκτάβας i και στο ύψος αξιολόγησης h ($h=0,0.5,2,4,5$ m) ανάλογα με τη κατηγορία αμαξοστοιχίας σύμφωνα με τον εξής υπολογισμό:

$$E_{br,i,c}^h = a_{br,i,c}^h + b_{br,i,c}^h \log V_{br,c} + 10 \log Q_{br,c} + C_{bb,imc} \quad (2.2.2.)$$

$$E_{nb,i,c}^h = a_{i,c}^h + b_{i,c}^h \log V_c + 10 \log Q_c + C_{bb,i,m,c} \quad (2.2.3.)$$

Όπου,

$a_{i,c}^h$ και $b_{i,c}^h$ (αντίστοιχα $a_{br,i,c}^h$ $b_{br,i,c}^h$): η εκπομπή για την κατηγορία αμαξοστοιχίας c υπό συνθήκες χωρίς πέδηση (αντίστοιχα υπό συνθήκες πέδησης) για το διάστημα οκτάβας i , σε ύψος h .

Q_c : ο μέσος αριθμός μονάδων της υπό εξέταση κατηγορίας σιδηροδρομικού οχήματος υπό συνθήκες χωρίς πέδηση

$Q_{br,c}$: ο μέσος αριθμός μονάδων της υπό εξέτασης κατηγορίας σιδηροδρομικού οχήματος υπό συνθήκες πέδησης

V_c : η μέση ταχύτητα των διερχόμενων σιδηροδρομικών οχημάτων χωρίς πέδηση

$V_{br,c}$: μέση ταχύτητα των διερχόμενων σιδηροδρομικών οχημάτων υπό συνθήκες πέδησης

Bb : είδος σιδηροτροχιάς /κατάσταση σιδηροτροχιάς

M : κατ' εκτίμηση συχνότητα αποσύνδεσης της σιδηρογραμμής

$C_{bb,i,m}$: διόρθωση για την ασυνέχεια της γραμμής και την τραχύτητα της σιδηροτροχιάς

3.Η CNOSSOS ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Η Ευρώπη ενεργεί για την καταπολέμηση της ηχορύπανσης μέσω της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου και την εκπόνηση σχεδίων δράσης για τη μείωση της ηχορύπανσης. Αυτοί οι χάρτες θορύβου χρησιμοποιούνται από τις αρμόδιες εθνικές αρχές για να προσδιορίσουν προτεραιότητες δράσης για σχεδιασμό και να εκτιμηθεί συνολικά η έκθεση στο θόρυβο σε όλη την ΕΕ. Ένα κοινό και εναρμονισμένο πλαίσιο για την αξιολόγηση του θορύβου σε μια κοινή προσέγγιση για την αξιολόγηση των επιπέδων θορύβου στην Ευρώπη, αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής της οδηγίας για τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Έτσι το 2008 η Επιτροπή δρομολόγησε την ανάπτυξη του κοινού μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης του θορύβου μέσω του σχεδίου «Κοινό μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης του θορύβου» (CNOSSOS-EU) από το Κοινό Κέντρο Ερευνών της. Το σχέδιο υλοποιήθηκε σε στενή συνεννόηση με την ειδική επιτροπή που συστάθηκε δυνάμει του άρθρου 18 της οδηγίας 2000/14/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και άλλων εμπειρογνομόνων από τα κράτη μέλη. Τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν στην έκθεση αναφοράς του ΚΚΕρ(JRC) για το πρόγραμμα CNOSSOS-EU. Η JRC έκθεση περιγράφει αυτό το κοινό μεθοδολογικό πλαίσιο για τη στρατηγική χαρτογράφηση του θορύβου βάσει της οδηγίας για τον περιβαλλοντικό θόρυβο (2002/49/EK). Επίσης, περιγράφει τη διαδικασία και τους βασικούς παράγοντες που εμπλέκονται στην ανάπτυξη CNOSSOS-ΕΕ. Η έκθεση κλείνει τη φάση ανάπτυξης της CNOSSOS (2010) και αντιπροσωπεύει την τεχνική βάση για την τροποποίηση του παραρτήματος II της οδηγίας, σε σχέση με το στάδιο της εκτέλεσης CNOSSOS-ΕΕ (2012-2015). Οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου πρέπει να χρησιμοποιούνται από τις αρμόδιες αρχές (CA) στην ΕΕ MS για να προσδιορίσουν προτεραιότητες δράσης για σχεδιασμό και από την Επιτροπή για να υπολογίσει τον αριθμό των ατόμων που εκτίθενται σε θορύβους. Η πληροφορία αυτή θα χρησιμεύσει επίσης, στο να ενημερώσει το κοινό σχετικά με τα επίπεδα θορύβου στα οποία εκτίθεται και τις δράσεις που αναλαμβάνονται για τη μείωση αυτής της έκθεσης, σε επίπεδα που δεν είναι επιβλαβή για τη δημόσια υγεία. Ένας από τους στόχους του είναι να καθορίσει μια κοινή προσέγγιση για την αξιολόγηση της έκθεσης στο θόρυβο του περιβάλλοντος σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ο πυρήνας του μεθοδολογικού πλαισίου της CNOSSOS- EU αποτελείται από:

- ένα ποιοτικό πλαίσιο που περιγράφει τους στόχους και τις απαιτήσεις του CNOSSOS-EU
- περιγραφή σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, οδικής κυκλοφορίας, βιομηχανικού θορύβου ως πηγές εκπομπών και διάδοση ήχου
- μεθοδολογία που επιλέγεται για την πρόβλεψη του θορύβου αεροσκαφών και της βάση δεδομένων επιδόσεων
- μεθοδολογία για να αντιστοιχηθούν τα πληθυσμιακά δεδομένα στα σημεία των δέκτη και στις προσόψεις των κτιρίων.

3.1. Η ΝΕΑ ΟΔΗΓΙΑ 2015/996

Η ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2015/996 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 19ης Μαΐου 2015

Η Ευρωπαϊκή επιτροπή αντικατέστησε το παράρτημα II της οδηγίας 2002/49/EK ,που παρουσίαζε ορισμένα συνιστώμενα μοντέλα υπολογισμού και τώρα καθορίζει τις νέες κοινές μεθόδους αξιολόγησης που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να εφαρμόσουν αυτές τις μεθόδους αξιολόγησης του θορύβου από τις 31 Δεκεμβρίου 2018.

3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΟΔΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

3.2.1. Δεδομένα εκπομπής

Δείκτες, εύρος συχνοτήτων και ορισμοί ζωνών συχνοτήτων

Οι υπολογισμοί του θορύβου ορίζονται στο φάσμα συχνότητας από 63 Hz έως 8 kHz. Τα αποτελέσματα των ζωνών συχνοτήτων παρέχονται στο αντίστοιχο διάστημα συχνοτήτων.

Οι υπολογισμοί εκτελούνται σε οκταβικές ζώνες για τους θορύβους οδικής και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας και τους βιομηχανικούς θορύβους, εκτός από την ηχητική ισχύ πηγών θορύβου σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, για την οποία χρησιμοποιούνται τριτοκταβικές ζώνες. Για τους θορύβους οδικής και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας και τους βιομηχανικούς θορύβους, με βάση αυτά τα αποτελέσματα οκταβικών ζωνών, η Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση στάθμη ηχητικής πίεσης για την περίοδο της ημέρας, του βραδίου και της νύχτας, όπως ορίζεται στο παράρτημα I και αναφέρεται στο άρθρο 5 της οδηγίας 2002/49/EK, υπολογίζεται με άθροιση όλων των συχνοτήτων:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \sum_{i=1} 10^{(L_{eq,T,i} + A_i)/10} \quad (3.2.1)$$

όπου

Α_i δηλώνει την Α-σταθμισμένη διόρθωση σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61672-1 i = δείκτης ζώνης συχνοτήτων και T είναι το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί στην ημέρα, στο βράδυ ή στη νύχτα

L _p	Στιγμιαία στάθμη ηχητικής πίεσης [dB] (re. 2 10 ⁻⁵ Pa)
L _{Aeq,LT}	Συνολική μακροπρόθεσμη ηχοστάθμη L _{Aeq} από όλες τις πηγές και πηγές εικόνas στο σημείο R [dB] (re. 2 10 ⁻⁵ Pa)
L _W	«Επιτόπια» στάθμη ηχητικής ισχύος μιας σημειακής πηγής (κινητής ή σταθερής [dB] (re. 10 ⁻¹² W)
L _{W,i,dir}	Κατευθυντική «επιτόπια» στάθμη ηχητικής ισχύος για την i-οστή ζώνη συχνοτήτων [dB] (re. 10 ⁻¹² W
L _{W'}	Μέση «επιτόπια» στάθμη ηχητικής ισχύος ανά μέτρο γραμμικής πηγής [dB/m] (re. 10 ⁻¹² W)
p	Πραγματική τιμή της στιγμιαίας ηχητικής πίεσης [Pa]
p ₀	Ηχητική πίεση αναφοράς = 2 10 ⁻⁵ Pa [Pa]
W ₀	Ηχητική ισχύς αναφοράς = 10 ⁻¹² W [watt]

Πίνακας [3.2.α]: Παράμετροι θορύβου

Πλαίσιο ποιότητας

Όλες οι τιμές εισόδου που επηρεάζουν το επίπεδο εκπομπών από μια πηγή προσδιορίζονται τουλάχιστον με ακρίβεια που αντιστοιχεί σε αβεβαιότητα ± 2 dB(A) στο επίπεδο εκπομπών της πηγής (αφήνοντας αμετάβλητες όλες τις άλλες παραμέτρους).

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, τα δεδομένα εισόδου αντικατοπτρίζουν την πραγματική χρήση. Σε γενικές γραμμές, δεν υπάρχει εξάρτηση από προεπιλεγμένες τιμές εισόδου ή παραδοχές. Οι προεπιλεγμένες τιμές εισόδου και παραδοχές είναι αποδεκτές εάν η συλλογή πραγματικών δεδομένων συνεπάγεται δυσανάλογα υψηλό κόστος. (Ε. & Επιτροπή, 2015)

Περιγραφή της πηγής

Ταξινόμηση των οχημάτων

Οι πηγές θορύβου οδικής κυκλοφορίας καθορίζονται με συνδυασμό της εκπομπής θορύβου του καθενός από τα οχήματα που αποτελούν τη ροή της κυκλοφορίας. Τα οχήματα αυτά ομαδοποιούνται σε πέντε διακριτές κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εκπομπής θορύβου:

Κατηγορία 1: Ελαφρά μηχανοκίνητα οχήματα Κατηγορία

2: Μεσαία βαρέα οχήματα Κατηγορία

3: Βαρέα οχήματα Κατηγορία

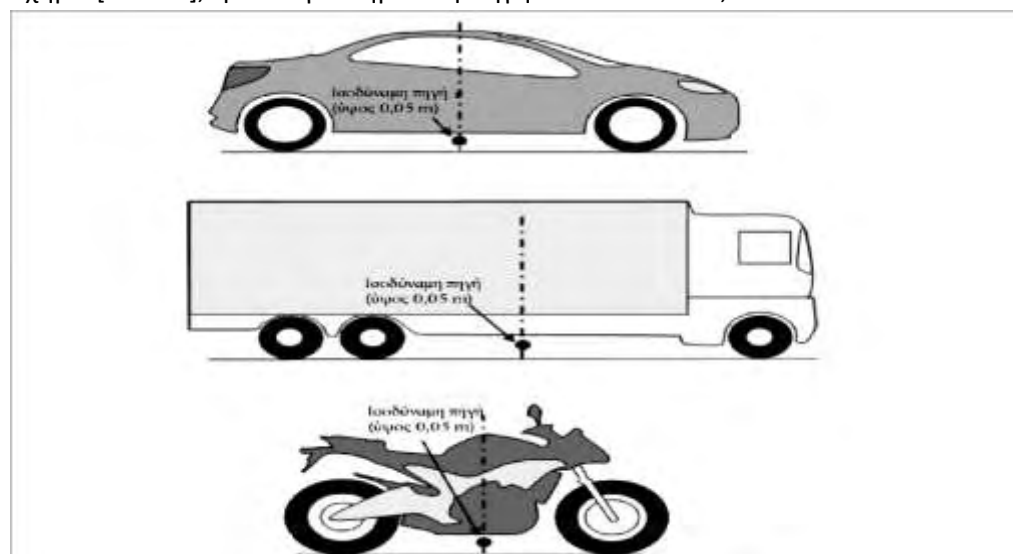
4: Μηχανοκίνητα δίκυκλα Κατηγορία

5: Ανοικτή κατηγορία

Χρησιμοποιούνται οι τέσσερις πρώτες κατηγορίες, ενώ η πέμπτη κατηγορία είναι προαιρετική. Προβλέπεται να απαιτηθεί ο καθορισμός πρόσθετης κατηγορίας για τα νέα οχήματα που ενδέχεται να αναπτυχθούν στο μέλλον, τα οποία δύναται να διαφέρουν σημαντικά ως προς την εκπομπή θορύβου.

Αριθμός και θέση ισοδύναμων ηχητικών πηγών

Στη μέθοδο αυτή, κάθε όχημα (κατηγορία 1, 2, 3, 4 και 5) αναπαριστάται από μία και μόνο σημειακή πηγή που ακτινοβολεί ομοιόμορφα στον ημιχώρο 2-π πάνω από το έδαφος. Η πρώτη ανάκλαση πάνω στο οδόστρωμα αντιμετωπίζεται εμμέσως. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα [3.2.2.α], η εν λόγω σημειακή πηγή τοποθετείται 0,05 m πάνω από το οδόστρωμα.



Σχήμα[3.2.2.α]: Θέση της ισοδύναμης σημειακής πηγής σε ελαφρά οχήματα (κατηγορία), βαρέα οχήματα (κατηγορίες 2 και 3) και δίκυκλα (κατηγορία 4)

Η ροή της κυκλοφορίας αναπαριστάται από γραμμική πηγή. Κάθε λωρίδα πρέπει, στην ιδανική περίπτωση, να αναπαριστάται από μια γραμμική πηγή τοποθετημένη στο κέντρο κάθε λωρίδας κυκλοφορίας. Ωστόσο, είναι επίσης αποδεκτή η μοντελοποίηση με τοποθέτηση μίας γραμμικής πηγής στο μέσο μιας οδού διπλής κατεύθυνσης ή μίας γραμμικής πηγής ανά οδόστρωμα στην εξωτερική λωρίδα οδών με πολλές λωρίδες κυκλοφορίας.

Εκπομπές ηχητικής ισχύος

Γενικές παρατηρήσεις

Η ηχητική ισχύς της πηγής καθορίζεται στο «ημιελεύθερο πεδίο» και, ως εκ τούτου, η ηχητική ισχύς περιλαμβάνει την επίδραση της ανάκλασης του εδάφους που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τη μοντελοποιημένη πηγή, όταν δεν υπάρχουν διαταρακτικά αντικείμενα στο άμεσο περιβάλλον εκτός από την ανάκλαση πάνω στο οδόστρωμα που δεν βρίσκεται ακριβώς κάτω από τη μοντελοποιημένη πηγή. (Ε. & Επιτροπή, 2015)

Ροή της κυκλοφορίας

Η εκπομπή θορύβου από τη ροή κυκλοφορίας αναπαριστάται με μια γραμμική πηγή που χαρακτηρίζεται από την κατευθυντική ηχητική ισχύ της ανά μέτρο και ανά συχνότητα. Αυτή αντιστοιχεί στο άθροισμα των εκπομπών θορύβου των μεμονωμένων οχημάτων της ροής κυκλοφορίας, λαμβανομένου υπόψη του χρόνου παραμονής των οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό τμήμα. Η υλοποίηση μεμονωμένου οχήματος εντός της ροής απαιτεί την εφαρμογή ενός μοντέλου ροής κυκλοφορίας.

Εάν θεωρήσουμε σταθερή ροή κυκλοφορίας Q_m οχημάτων της κατηγορίας m ανά ώρα, με μέση ταχύτητα v_m (σε km/h), η κατευθυντική ηχητική ισχύς ανά μέτρο στη ζώνη συχνοτήτων i της γραμμικής πηγής $LW'_{eq,line,i,m}$ ορίζεται ως εξής:

$$L_{W,eq,line,i,m} = L_{W,i,m} + 10 \log \left(\frac{Q_m}{1000 v_m} \right) \quad (3.2.2)$$

όπου $L_{W,i,m}$ είναι η κατευθυντική ηχητική ισχύς ενός μεμονωμένου οχήματος. Η LW'_{m} εκφράζεται σε dB (re. 10–12 W/m). Αυτές οι στάθμες ηχητικής ισχύος υπολογίζονται για κάθε οκταβική ζώνη i από 125 Hz έως 4 kHz.

Τα δεδομένα ροής κυκλοφορίας Q_m εκφράζονται ως ετήσιος μέσος όρος ανά ώρα, ανά χρονική περίοδο (ημέρα-βράδυ- νύχτα), ανά κατηγορία οχήματος και ανά γραμμική πηγή. Για όλες τις κατηγορίες, χρησιμοποιούνται δεδομένα εισόδου ροής κυκλοφορίας που αντλούνται από μετρήσεις της κυκλοφορίας και από κυκλοφοριακά μοντέλα.

Η ταχύτητα v_m είναι η αντιπροσωπευτική ταχύτητα ανά κατηγορία οχήματος: στις περισσότερες περιπτώσεις είναι η χαμηλότερη ταχύτητα εκ των εξής δύο: της μέγιστης νόμιμης ταχύτητας για το υπό εξέταση τμήμα της οδού και της μέγιστης νόμιμης ταχύτητας για την υπό εξέταση κατηγορία του οχήματος. Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα τοπικών μετρήσεων, χρησιμοποιείται η μέγιστη νόμιμη ταχύτητα για την υπό εξέταση κατηγορία του οχήματος.

Μεμονωμένο όχημα

Στη ροή της κυκλοφορίας, θεωρούμε ότι όλα τα οχήματα της κατηγορίας M κινούνται με την ίδια ταχύτητα, δηλαδή v_m , τη μέση ταχύτητα της ροής οχημάτων της υπό εξέταση κατηγορίας. Η μοντελοποίηση οδικού οχήματος γίνεται μέσω ενός συνόλου μαθηματικών εξισώσεων που αναπαριστούν τις δύο κύριες πηγές θορύβου:

1. **Θόρυβος κύλισης** λόγω της αλληλεπίδρασης ελαστικών επισώτρων/οδοστρώματος

2. Θόρυβος των συστημάτων προώθησης που παράγεται από το σύστημα κίνησης (κινητήρας, εξάτμιση κ.λπ.) του οχήματος.

Ο αεροδυναμικός θόρυβος έχει ενσωματωθεί στην πηγή του θορύβου κύλισης.

Για ελαφρά, μεσαία και βαρέα μηχανοκίνητα οχήματα (κατηγορίες 1, 2 και 3), η συνολική ηχητική ισχύς αντιστοιχεί στο ενεργητικό άθροισμα του θορύβου κύλισης και του θορύβου των συστημάτων προώθησης. Συνεπώς, η συνολική στάθμη ηχητικής ισχύος των γραμμικών πηγών $m = 1, 2$ ή 3 ορίζεται ως εξής:

$$L_{w,i,m(vm)} = 10 \log \left(10^{L_{wr,i,\frac{m(vm)}{10}}} + 10^{L_{wp,i,\frac{m(vm)}{10}}} \right) \quad (3.2.3.)$$

Όπου,

$L_{WR,i,m}$ είναι η στάθμη ηχητικής ισχύος του θορύβου κύλισης και

$L_{WP,i,m}$ είναι η στάθμη ηχητικής ισχύος του θορύβου των συστημάτων προώθησης. Αυτό ισχύει για όλες τις κλίμακες ταχύτητας. Για ταχύτητες κάτω των 20 km/h ισχύει η ίδια στάθμη ηχητικής ισχύος που ορίζεται με τον τύπο για $vm = 20$ km/h.

Για δίκυκλα (κατηγορία 4), εξετάζεται μόνο ο θόρυβος των συστημάτων προώθησης για την πηγή:

$$L_{w,i,m=4}(vm = 4) = L_{wp,i,m} = 4(vm = 4) \quad (3.2.4)$$

Αυτό ισχύει για όλες τις κλίμακες ταχύτητας. Για ταχύτητες κάτω των 20 km/h ισχύει η ίδια στάθμη ηχητικής ισχύος που ορίζεται με τον τύπο για $vm = 20$ km/h.

Συνθήκες αναφοράς

Οι εξισώσεις και οι συντελεστές της πηγής ισχύουν για τις εξής συνθήκες αναφοράς:

- σταθερή ταχύτητα οχήματος
- επίπεδη οδό
- θερμοκρασία αέρα $t_{ref} = 20$ °C
- εικονικό οδόστρωμα αναφοράς, αποτελούμενο από μέσο μείγμα πυκνού ασφαλτικού σκυροδέματος 0/11 και σκυρομαστιχικής ασφάλτου 0/11, ηλικίας μεταξύ 2 και 7 ετών, που βρίσκεται σε αντιπροσωπευτική κατάσταση συντήρησης
- ξηρό οδόστρωμα
- χωρίς ελαστικά επίσωτρα με καρφιά

Θόρυβος κύλισης

Γενική εξίσωση

Η στάθμη ηχητικής ισχύος του θορύβου κύλισης στη ζώνη συχνοτήτων i για όχημα κατηγορίας $M = 1, 2$ ή 3 ορίζεται ως εξής:

$$L_{w,R,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} * \log \left(\frac{V_m}{V_{ref}} \right) + \Delta L_{WR,i,m} \quad (3.2.5.)$$

Οι συντελεστές $A_{R,i,m}$ και $B_{R,i,m}$ δίνονται σε οκταβικές ζώνες για κάθε κατηγορία οχημάτων και για ταχύτητα αναφοράς $v_{ref} = 70$ km/h. Η $\Delta L_{WR,i,m}$ αντιστοιχεί στο άθροισμα των συντελεστών διόρθωσης που εφαρμόζονται για τις εκπομπές θορύβου κύλισης για ειδικές συνθήκες της οδού ή του οχήματος που παρεκκλίνουν από τις συνθήκες αναφοράς:

$$\Delta L_{w,R,i,m} = \Delta L_{w,R,ROAD,i,m} + \Delta L_{studdedtyres,i,m} + \Delta L_{WR,acc,i,m} + \Delta L_{w,temp} \quad (3.2.6)$$

Η $\Delta L_{WR,road,i,m}$ αντιπροσωπεύει την επίδραση που ασκεί στον θόρυβο κύλισης το οδόστρωμα με ακουστικές ιδιότητες διαφορετικές από εκείνες του εικονικού οδοστρώματος αναφοράς. Περιλαμβάνει την επίδραση τόσο στη διάδοση όσο και στη δημιουργία του ήχου.

Η $\Delta L_{studded\ tyres,i,m}$ είναι ένας συντελεστής διόρθωσης που αντιπροσωπεύει τον υψηλότερο θόρυβο κύλισης των ελαφρών οχημάτων που είναι εξοπλισμένα με ελαστικά με καρφιά.

Η $\Delta L_{WR,acc,i,m}$ αντιπροσωπεύει την επίδραση που ασκεί μια διασταύρωση με φωτεινούς σηματοδότες ή κυκλικό κόμβο στον θόρυβο κύλισης. Ενσωματώνει την επίδραση που έχει η διακύμανση ταχύτητας στον θόρυβο.

Η $\Delta L_{W,temp}$ είναι μια διόρθωση για μέση θερμοκρασία t διαφορετική από τη θερμοκρασία αναφοράς $t_{ref} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Διόρθωση για ελαστικά επίσωτρα με καρφιά

Σε περιπτώσεις όπου σημαντικός αριθμός ελαφρών οχημάτων στη ροή κυκλοφορίας χρησιμοποιούν ελαστικά με καρφιά κατά τη διάρκεια αρκετών μηνών κάθε έτος, λαμβάνεται υπόψη η επαγόμενη επίδραση στον θόρυβο κύλισης. Για κάθε όχημα της κατηγορίας $m = 1$ που είναι εφοδιασμένο με ελαστικά με καρφιά, η εξαρτώμενη από την ταχύτητα αύξηση της εκπομπής θορύβου κύλισης αξιολογείται ως εξής:

$$\Delta L_{stud,i}(v) = \begin{cases} a_i + b_i \times \lg(50/70) & \text{for } v < 50 \text{ km/h} \\ a_i + b_i \times \lg(v/70) & \text{for } 50 \leq v \leq 90 \text{ km/h} \end{cases} \quad (3.2.27.)$$

$$a_i + b_i \times \lg(90/70) \text{ for } v > 90 \text{ km/h}$$

Όπου οι συντελεστές a_i και b_i δίνονται για κάθε οκταβική ζώνη.

Η αύξηση των εκπομπών θορύβου κύλισης αποδίδεται αποκλειστικά και μόνο με βάση την αναλογία των ελαφρών οχημάτων που χρησιμοποιούν ελαστικά με καρφιά και κατά τη διάρκεια περιορισμένης περιόδου T_S (σε μήνες) κατά τη διάρκεια του έτους. Εάν $Q_{stud,ratio}$ είναι το μέσο ποσοστό του συνολικού όγκου των ελαφρών οχημάτων εξοπλισμένων με ελαστικά με καρφιά ανά ώρα κατά τη διάρκεια της περιόδου T_S (σε μήνες), τότε η ετήσια μέση αναλογία των οχημάτων που είναι εξοπλισμένα με ελαστικά με καρφιά p_s εκφράζεται ως εξής:

$$P_s = Q_{stud,ratio} * \left(\frac{T_S}{12}\right) \quad (3.28)$$

Η προκύπτουσα διόρθωση που θα εφαρμοστεί στις εκπομπές ηχητικής ισχύος του θορύβου κύλισης που οφείλονται στη χρήση ελαστικών με καρφιά για οχήματα της κατηγορίας $m = 1$ σε ζώνη συχνοτήτων i είναι η εξής:

$$\Delta L_{studdedtyres,i,m} = 10 * \log(1 - p_s) + p_s 10^{\Delta L_{stud,i,m}=1/10} \quad (3.2.9.)$$

Για τα οχήματα όλων των άλλων κατηγοριών δεν εφαρμόζεται καμία διόρθωση:

$$\Delta L_{studdedtyres,i,m} \neq 1 = 0 \quad (3.2.10)$$

Επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα στη διόρθωση του θορύβου κύλισης

Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει τις εκπομπές θορύβου κύλισης· η στάθμη ηχητικής ισχύος του θορύβου κύλισης μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Η επίδραση αυτή λαμβάνεται υπόψη στη διόρθωση οδοστρώματος. Οι διορθώσεις οδοστρώματος συνήθως αξιολογούνται σε θερμοκρασία αέρα $t_{ref} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Σε περίπτωση διαφορετικής μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρα $^{\circ}\text{C}$, ο θόρυβος οδοστρώματος διορθώνεται ως εξής:

$$\Delta L_{W,temp,m(t)} = k_m * (t_{ref} - t) \quad (3.2.11)$$

Η διόρθωση για τον θόρυβο είναι θετική (δηλαδή αυξάνεται ο θόρυβος) σε θερμοκρασίες κάτω από $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ και αρνητική (δηλαδή μειώνεται ο θόρυβος) σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο συντελεστής K εξαρτάται από το οδόστρωμα και τα χαρακτηριστικά των ελαστικών επισώτρων και, ως ένα βαθμό, και από τη συχνότητα. Εφαρμόζεται γενικός συντελεστής K_m

= 1 = 0,08 dB/°C για ελαφρά οχήματα (κατηγορίας 1) και Km = 2 = Km = 3 = 0,04 dB/°C για βαρέα οχήματα (κατηγοριών 2 και 3) για όλα τα οδοστρώματα. Ο συντελεστής διόρθωσης εφαρμόζεται εξίσου σε όλες τις οκταβικές ζώνες από 63 έως 8 000 Hz.

Θόρυβος συστημάτων προώθησης

Γενική εξίσωση

Ο θόρυβος των συστημάτων προώθησης περιλαμβάνει όλους τους θορύβους που παράγουν ο κινητήρας, η εξάτμιση, τα συστήματα οδοντωτών τροχών, η εισαγωγή αέρα κ.λπ. Η στάθμη ηχητικής ισχύος του θορύβου των συστημάτων προώθησης στη ζώνη συχνοτήτων i για όχημα κατηγορίας m ορίζεται ως εξής: (Ε. & Επιτροπή, 2015)

$$L_{wp,i,m} = A_{p,i,m} + B_{p,i,m} * \frac{vm - v_{ref}}{v_{ref}} + \Delta l_{WP,i,m} \quad (3.2.12)$$

Οι συντελεστές $A_{p,i,m}$ και $B_{p,i,m}$ δίνονται σε οκταβικές ζώνες για κάθε κατηγορία οχημάτων και για ταχύτητα αναφοράς $v_{ref} = 70$ km/h.

Η $\Delta l_{WP,i,m}$ αντιστοιχεί στο άθροισμα των συντελεστών διόρθωσης που εφαρμόζονται για τις εκπομπές θορύβου των συστημάτων προώθησης για ειδικές συνθήκες οδήγησης ή περιφερειακές συνθήκες που παρεκκλίνουν από τις συνθήκες αναφοράς:

$$\Delta l_{w,p,i,m} = \Delta l_{wp,road,i,m} + \Delta l_{wp,grad,i,m} + \Delta l_{wp,acc,i,m} \quad (3.2.13)$$

Η $\Delta l_{WP,road,i,m}$ αντιπροσωπεύει την επίδραση του οδοστρώματος στον θόρυβο των συστημάτων προώθησης μέσω απορρόφησης.

Η $\Delta l_{WP,acc,i,m}$ και η $\Delta l_{WP,grad,i,m}$ αντιπροσωπεύουν την επίδραση των κλίσεων της οδού, καθώς και της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης του οχήματος σε κόμβους.

Επίδραση των κλίσεων της οδού

Η κλίση της οδού επιδρά με δύο τρόπους στις εκπομπές θορύβου του οχήματος: πρώτον, επηρεάζει την ταχύτητα του οχήματος και, ως εκ τούτου, τις εκπομπές του θορύβου κύλισης και του θορύβου των συστημάτων προώθησης του οχήματος και, δεύτερον, επηρεάζει τόσο το φορτίο όσο και την ταχύτητα του κινητήρα μέσω της επιλογής ταχύτητας

<p>Για m = 1: $\Delta l_{WP,grad,i,m} = 1(v_m)$</p> <p>Min(12%-s)-6%/1%</p> <p>0</p> <p>[Min (12%-s)-2%/1,5]*v_m/100</p>	<p>για s<-6%</p> <p>για -2% < s<6%</p> <p>για s>2%</p>
<p>Για m=2 : $\Delta l_{WP,grad,i,m} = 2(v_m)$</p> <p>[Min (12%-s)-4%/0.7%]*(v_m-20)/100</p> <p>0</p> <p>Min (12%v_m)/1%*v_m/100</p>	<p>για s<-4%</p> <p>για -4%<=s<=0%</p> <p>για s>0%</p>
<p>Για m=3 : $\Delta l_{WP,grad,i,m} = 3(v_m)$</p> <p>[Min (12%-s)-4%/0.5%]*(v_m-10)/100</p> <p>0</p> <p>[Min (12%v_m)/0.8%]*v_m/100</p>	<p>για s<-4%</p> <p>για -4%<=s<=0%</p> <p>για s>0%</p>
<p>Για m=4</p> <p>$\Delta l_{WP,grad,i,m} = 4 = 0$</p>	

Πίνακας [3.2.β]: Διόρθωση για την επίδραση των κλίσεων της οδού

και, ως εκ τούτου, τις εκπομπές του θορύβου των συστημάτων προώθησης του οχήματος. Στο παρόν τμήμα εξετάζονται μόνον οι επιπτώσεις επί του θορύβου των συστημάτων προώθησης, όπου η ταχύτητα θεωρείται σταθερή.

Η επίδραση της κλίσης της οδού στον θόρυβο των συστημάτων προώθησης λαμβάνεται υπόψη με διόρθωση $\Delta LWP, grad, m$ που αποτελεί συνάρτηση της κλίσης s (σε %), της ταχύτητας του οχήματος v_m (σε km/h) και της κατηγορίας του οχήματος m . Στην περίπτωση ροής κυκλοφορίας δύο κατευθύνσεων, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της ροής σε δύο συνιστώσες και η διόρθωση κατά το ήμισυ σε ανηφόρα και κατά το ήμισυ σε κατηφόρα. Η διόρθωση αποδίδεται σε όλες τις οκταβικές ζώνες εξίσου:

Η διόρθωση $\Delta LWP, grad, m$ περιλαμβάνει εμμέσως την επίδραση που έχει η κλίση στην ταχύτητα.

Επίδραση της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης των οχημάτων

Πριν και μετά τις διασταυρώσεις με φωτεινούς σηματοδότες και κυκλικούς κόμβους, εφαρμόζεται διόρθωση για την επίδραση της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, όπως περιγράφεται κατωτέρω.

Οι διορθώσεις για τον θόρυβο κύλισης, $\Delta LWR, acc, m, k$, και για τον θόρυβο των συστημάτων προώθησης, $\Delta LWP, acc, m, k$, αποτελούν γραμμικές συναρτήσεις της απόστασης x (σε m) της σημειακής πηγής από το πλησιέστερο σημείο τομής της αντίστοιχης γραμμικής πηγής με άλλη γραμμική πηγή. Αποδίδονται σε όλες τις οκταβικές ζώνες εξίσου:

$$\Delta LWR, acc, m, k = C_{R, m, k} * \max(1 - x/100; 0) \quad (3.2.13)$$

$$\Delta LWP, acc, m, k = C_{P, m, k} * \max(1 - x/100; 0) \quad (3.2.14)$$

Οι συντελεστές $C_{R, m, k}$ και $C_{P, m, k}$ εξαρτώνται από το είδος της διακλάδωσης k ($k = 1$ για διασταύρωση με φωτεινούς σηματοδότες, και $k = 2$ για κυκλικό κόμβο) και δίνονται για κάθε κατηγορία οχημάτων. Η διόρθωση περιλαμβάνει την επίδραση της αλλαγής ταχύτητας όταν τα οχήματα πλησιάζουν ή απομακρύνονται από διασταύρωση ή κυκλικό κόμβο.

Σημειώνεται ότι σε απόσταση $|x| \geq 100$ m, $\Delta LWR, acc, m, k = \Delta LWP, acc, m, k = 0$. (3.2.15)

Επίδραση του είδους του οδοστρώματος

Γενικές αρχές

Για τα οδοστρώματα με ακουστικές ιδιότητες διαφορετικές από εκείνες του οδοστρώματος αναφοράς, εφαρμόζεται φασματική διόρθωση τόσο για τον θόρυβο κύλισης όσο και για τον θόρυβο των συστημάτων προώθησης.

Η διόρθωση οδοστρώματος για τις εκπομπές θορύβου κύλισης δίνεται ως εξής:

$$\Delta LWR, road, i, m = a_{i, m} + \beta_m * \log(v_m/v_{ref}) \quad (3.2.16)$$

όπου $a_{i, m}$ είναι η φασματική διόρθωση σε dB στην ταχύτητα αναφοράς v_{ref} για την κατηγορία m (1, 2 ή 3) και ζώνη φάσματος i . β_m είναι η επίδραση της ταχύτητας στη μείωση του θορύβου κύλισης για την κατηγορία m (1, 2 ή 3) και είναι ίδια για όλες τις ζώνες συχνοτήτων.

Η διόρθωση οδοστρώματος για τις εκπομπές θορύβου των συστημάτων προώθησης δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta LWP, road, i, m = \min \{a_{i, m}; 0\} \quad (3.2.17)$$

Τα απορροφητικά οδοστρώματα μειώνουν τον θόρυβο των συστημάτων προώθησης, ενώ τα μη απορροφητικά οδοστρώματα δεν τον αυξάνουν.

Η επίδραση της ηλικίας στις ιδιότητες του θορύβου οδοστρώματος

Τα χαρακτηριστικά θορύβου των οδοστρωμάτων ποικίλλουν ανάλογα με την ηλικία και το επίπεδο συντήρησης, παρουσιάζοντας αυξητική τάση ως προς τον θόρυβο με την πάροδο

του χρόνου. Στην παρούσα μέθοδο, οι παράμετροι του οδοστρώματος που χρησιμοποιούνται είναι αντιπροσωπευτικές των ακουστικών επιδόσεων του μέσου τύπου οδοστρώματος κατά τη διάρκεια της αντιπροσωπευτικής διάρκειας ζωής του και θεωρώντας ότι γίνεται ορθή συντήρηση.

3.3.Υπολογισμός της διάδοσης

3.3.1. Πεδίο εφαρμογής και εφαρμογή της μεθόδου

Εάν είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά της πηγής, με τη μέθοδο αυτή μπορεί να προβλεφθεί η στάθμη της ισοδύναμης συνεχούς ηχητικής πίεσης στο σημείο του δέκτη που αντιστοιχεί σε δύο συγκεκριμένους τύπους ατμοσφαιρικών συνθηκών:

- συνθήκες διάδοσης με διάθλαση προς τα κάτω (θετική κάθετη κλίση της πραγματικής ταχύτητας του ήχου) από την πηγή στον δέκτη,
- ομοιογενείς ατμοσφαιρικές συνθήκες (μηδενική κάθετη κλίση της πραγματικής ταχύτητας του ήχου) στο σύνολο της περιοχής διάδοσης.

Γεωμετρικοί παράγοντες

Κατάτμηση πηγής

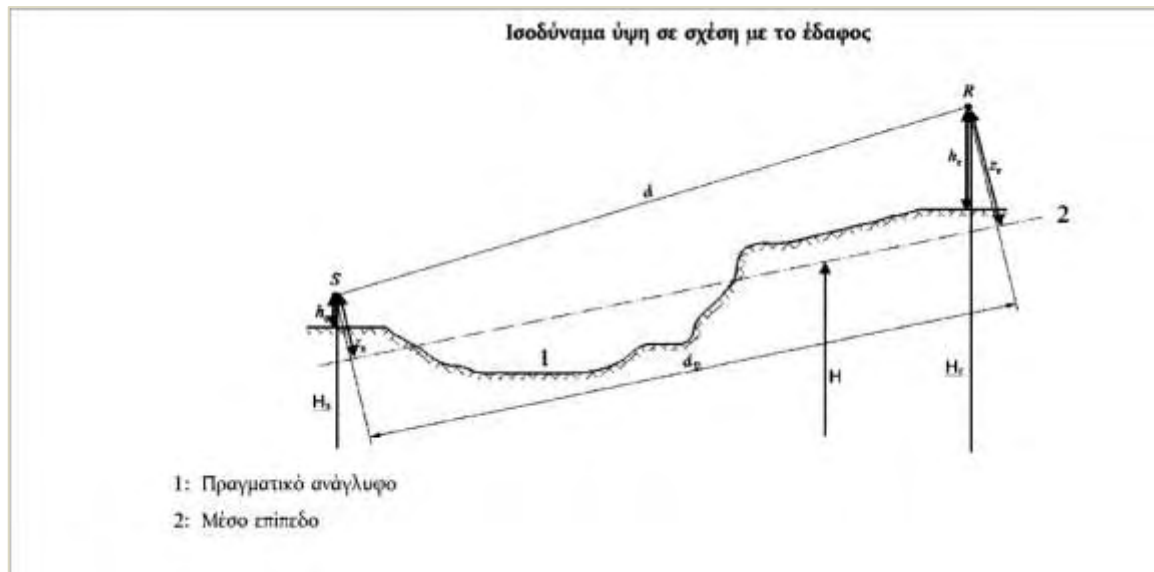
Οι πραγματικές πηγές περιγράφονται με ένα σύνολο σημειακών πηγών ή, όταν πρόκειται για σιδηροδρομική ή οδική κυκλοφορία, με ασυνάρτητες γραμμικές πηγές. Με τη μέθοδο διάδοσης θεωρούμε ότι οι γραμμικές ή επιφανειακές πηγές έχουν προηγουμένως κατατμηθεί προκειμένου να αναπαρασταθούν από μια σειρά ισοδύναμων σημειακών πηγών.

Διαδρομές διάδοσης Η μέθοδος λειτουργεί σε γεωμετρικό μοντέλο που αποτελείται από μια σειρά συνδεδεμένων επιφανειών εδάφους και εμποδίων. Χρησιμοποιείται κάθετη διαδρομή διάδοσης σε ένα ή περισσότερα κάθετα επίπεδα σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Για τροχιές που περιλαμβάνουν ανακλάσεις σε κάθετες επιφάνειες οι οποίες δεν είναι ορθογώνιες προς το επίπεδο πρόσπτωσης, λαμβάνεται υπόψη στη συνέχεια άλλο κάθετο επίπεδο που περιλαμβάνει το ανακλώμενο μέρος της διαδρομής διάδοσης. Στις περιπτώσεις αυτές, όπου χρησιμοποιούνται περισσότερα κάθετα επίπεδα για την περιγραφή του συνόλου της διαδρομής της τροχιάς από την πηγή στον δέκτη, τα κάθετα επίπεδα επιπεδοποιούνται στη συνέχεια, σαν κινεζικό παραβάν που ξεδιπλώνεται.

Σημαντικά ύψη πάνω από το έδαφος Τα ισοδύναμα ύψη λαμβάνονται από το μέσο επίπεδο του εδάφους μεταξύ της πηγής και του δέκτη. Το ύψος αυτό αντικαθιστά το πραγματικό έδαφος με ένα πλασματικό επίπεδο που αναπαριστά τη μέση μορφολογία του εδάφους.

Το ισοδύναμο ύψος ενός σημείου είναι το ορθογώνιο ύψος του σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους. Επομένως, μπορούν να καθοριστούν το ισοδύναμο ύψος της πηγής z_s και το ισοδύναμο ύψος του δέκτη z_r . Η απόσταση μεταξύ της πηγής και του δέκτη σε προβολή πάνω στο μέσο επίπεδο του εδάφους συμβολίζεται με τα γράμματα dr .

Αν το ισοδύναμο ύψος ενός σημείου είναι αρνητικό, δηλαδή αν το σημείο βρίσκεται κάτω από το μέσο επίπεδο του εδάφους, διατηρείται μηδενικό ύψος και το ισοδύναμο σημείο είναι σε αυτή την περίπτωση ίδιο με την πιθανή εικόνα του.



Σχήμα [3.3.2.α](Ε. & Επιτροπή, 2015)

3.3.3 Μοντέλο διάδοσης του ήχου

Για δέκτη R οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τα εξής βήματα:

1) Σε κάθε διαδρομή διάδοσης:

- υπολογισμός της εξασθένησης υπό ευνοϊκές συνθήκες,
- υπολογισμός της εξασθένησης υπό ομοιογενείς συνθήκες,
- υπολογισμός της μακροπρόθεσμης ηχοστάθμης για κάθε διαδρομή.

2) Σώρευση των μακροπρόθεσμων ηχοσταθμών για όλες τις διαδρομές που επηρεάζουν έναν συγκεκριμένο δέκτη, επιτρέποντας έτσι τον υπολογισμό της συνολικής ηχοστάθμης στο σημείο του δέκτη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνον οι εξασθενήσεις που οφείλονται στην επίδραση του εδάφους (Aground) και στην περίθλαση (Adif) επηρεάζονται από τις μετεωρολογικές συνθήκες.

3.3.4. Διαδικασία υπολογισμού

Για σημειακή πηγή S κατευθυντικής ηχητικής ισχύος $L_{w,0,dir}$ και για δεδομένη ζώνη συχνοτήτων, η στάθμη της ισοδύναμης συνεχούς ηχητικής πίεσης σε σημείο δέκτη R υπό δεδομένες ατμοσφαιρικές συνθήκες λαμβάνεται σύμφωνα με τις κάτωθι εξισώσεις.

Ηχοστάθμη υπό **ευνοϊκές** συνθήκες (L_F) για μια διαδρομή (S,R)

$$L_F = L_{w,0,dir} - A_F \quad (3.3.1)$$

Ο όρος A_F αναπαριστά τη συνολική εξασθένηση κατά μήκος της διαδρομής διάδοσης υπό ευνοϊκές συνθήκες και αναλύεται ως εξής:

$$L_F = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,F} \quad (3.3.2)$$

Όπου,

A_{div} είναι η εξασθένηση που οφείλεται στη γεωμετρική απόκλιση

A_{atm} είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην ατμοσφαιρική απορρόφηση

$A_{boundary,F}$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στο όριο του μέσου διάδοσης υπό ευνοϊκές συνθήκες· μπορεί να περιέχει τους εξής όρους:

Aground,F, δηλαδή την εξασθένιση που οφείλεται στο έδαφος υπό ευνοϊκές συνθήκες·

Adif,F, δηλαδή την εξασθένιση που οφείλεται στη περίθλαση υπό ευνοϊκές συνθήκες.

Για δεδομένη διαδρομή και ζώνη συχνотήτων, είναι πιθανά τα εξής δύο σενάρια:

είτε υπολογίζεται η Aground,F χωρίς περίθλαση ($Adif,F = 0 \text{ dB}$) και $A_{boundary},F = A_{ground},F$,

είτε υπολογίζεται η Adif,F. Η επίδραση του εδάφους λαμβάνεται υπόψη στην ίδια την εξίσωση της Adif,F ($A_{ground},F = 0 \text{ dB}$). Ως εκ τούτου, αυτή δίνει $A_{boundary},F = Adif,F$.

Ηχοστάθμη υπό ομοιογενείς συνθήκες (LH) για διαδρομή (S,R)

Η διαδικασία είναι απολύτως όμοια με την περίπτωση των ευνοϊκών συνθηκών που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

$$L_H = L_{W,O,dir} - A_H \quad (3.3.3)$$

Ο όρος A_H αναπαριστά τη συνολική εξασθένιση κατά μήκος της διαδρομής διάδοσης υπό ομοιογενείς συνθήκες και αναλύεται ως εξής:

$$A_H = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,H} \quad (3.3.4)$$

Όπου,

A_{div} είναι η εξασθένιση που οφείλεται στη γεωμετρική απόκλιση

A_{atm} είναι η εξασθένιση που οφείλεται στην ατμοσφαιρική απορρόφηση

$A_{boundary,H}$ είναι η εξασθένιση που οφείλεται στο όριο του μέσου διάδοσης υπό ομοιογενείς συνθήκες· μπορεί να περιέχει τους εξής όρους:

$A_{ground,H}$, δηλαδή την εξασθένιση που οφείλεται στο έδαφος υπό ομοιογενείς συνθήκες·
 $Adif,H$, δηλαδή την εξασθένιση που οφείλεται στη περίθλαση υπό ομοιογενείς συνθήκες.

Για δεδομένη διαδρομή και ζώνη συχνотήτων, είναι πιθανά τα εξής δύο σενάρια:

- είτε υπολογίζεται η $A_{ground,H}$ ($Adif,H = 0 \text{ dB}$) χωρίς περίθλαση και $A_{boundary,H} = A_{ground,H}$,
- είτε υπολογίζεται η $Adif,H$ ($A_{ground,H} = 0 \text{ dB}$). Η επίδραση του εδάφους λαμβάνεται υπόψη στην ίδια την εξίσωση της $Adif,H$. Ως εκ τούτου, αυτή δίνει $A_{boundary,H} = Adif,H$ (Ε. & Επιτροπή, 2015)

Στατιστική προσέγγιση εντός αστικών περιοχών για μια διαδρομή (S,R)

Εντός αστικών περιοχών, επιτρέπεται επίσης στατιστική προσέγγιση για τον υπολογισμό της διάδοσης του ήχου πίσω από την πρώτη γραμμή των κτιρίων, υπό την προϋπόθεση ότι η εν λόγω μέθοδος διαθέτει τη δέουσα τεκμηρίωση, συμπεριλαμβανομένων σχετικών στοιχείων για την ποιότητα της μεθόδου. Η εν λόγω μέθοδος δύναται να αντικαταστήσει τον υπολογισμό των $A_{boundary,H}$ και $A_{boundary,F}$ με κατά προσέγγιση υπολογισμό της συνολικής εξασθένισης για την άμεση διαδρομή και όλες τις ανακλάσεις. Ο υπολογισμός βασίζεται στη μέση πυκνότητα δόμησης και στο μέσο ύψος όλων των κτιρίων της περιοχής.

Μακροπρόθεσμη ηχοστάθμη για μια διαδρομή (S,R)

Η «μακροπρόθεσμη» ηχοστάθμη κατά μήκος μιας διαδρομής που ξεκινά από μια δεδομένη σημειακή πηγή λαμβάνεται από το λογαριθμικό άθροισμα της σταθμισμένης ηχητικής ενέργειας υπό ομοιογενείς συνθήκες και της ηχητικής ενέργειας υπό ευνοϊκές συνθήκες.

Οι εν λόγω ηχοστάθμες σταθμίζονται βάσει της μέσης εμφάνισης p ευνοϊκών συνθηκών προς την κατεύθυνση της διαδρομής (S,R):

$$L_{LT} = 10 \log(p \cdot 10^{L_F/10} + (1-p) \cdot 10^{L_H/10}) \quad (3.3.5)$$

Σημείωση: Οι τιμές εμφάνισης για τις p εκφράζονται υπό τη μορφή ποσοστών. Για παράδειγμα, αν η τιμή της εμφάνισης είναι 82 %, η εξίσωση έχει την τιμή $p = 0,82$.

Μακροπρόθεσμη ηχοστάθμη στο σημείο R για όλες τις διαδρομές

Η συνολική ηχοστάθμη στον δέκτη για ζώνη συχνοτήτων λαμβάνεται από το άθροισμα των εισφορών ενέργειας από όλες τις διαδρομές N, συμπεριλαμβανομένων όλων των τύπων:

$$L_{tot,LT} = 10 \log(\sum_n 10^{L_{n,LT}/10}) \quad (3.3.6)$$

Όπου,

n είναι ο δείκτης των διαδρομών μεταξύ S και R.

Η συμπερίληψη των ανακλάσεων μέσω πηγών εικόνας περιγράφεται στη συνέχεια. Το ποσοστό των περιπτώσεων ευνοϊκών συνθηκών σε περίπτωση διαδρομής που ανακλάται σε κάθετο εμπόδιο είναι πανομοιότυπη με την περίπτωση της άμεσης διαδρομής.

Αν S' είναι η πηγή εικόνας του S, τότε η περίπτωση ρ' της διαδρομής (S',R) θεωρείται ίση με την περίπτωση ρ της διαδρομής (S,R).

Μακροπρόθεσμη ηχοστάθμη στο σημείο R σε ντεσιμπέλ A (dBA)

Η συνολική ηχοστάθμη σε ντεσιμπέλ A (dBA) λαμβάνεται με την άθροιση των σταθμών κάθε ζώνης συχνοτήτων:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \log \sum_i 10^{(L_{tot,L,T,i} + AWC_{f,i})/10} \quad (3.3.7.)$$

Όπου,

i είναι ο δείκτης της ζώνης συχνοτήτων. AWC είναι η Α-σταθμισμένη διόρθωση σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 61672-1:2003.

Η εν λόγω στάθμη $L_{Aeq,LT}$ αποτελεί το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή τη μακροπρόθεσμη Α-σταθμισμένη στάθμη ηχητικής πίεσης στο σημείο του δέκτη σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα αναφοράς (π.χ. ημέρα, βράδυ, νύχτα ή μικρότερο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας, του βραδιού ή της νύχτας).

3.3.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΛΟΓΩ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΕΩΝ

Γεωμετρική απόκλιση

Η εξασθένηση που οφείλεται στη γεωμετρική απόκλιση, A_{div} , αντιστοιχεί σε μείωση της ηχοστάθμης λόγω της απόστασης διάδοσης. Για σημειακή ηχητική πηγή σε ελεύθερο πεδίο, η εξασθένηση σε dB δίνεται από τον τύπο:

$$A_{div} = 20 \times \log(d) + 11 \quad (3.3.8)$$

όπου, d είναι η άμεση 3D διαγώνια απόσταση μεταξύ της πηγής και του δέκτη.

Ατμοσφαιρική απορρόφηση

Η εξασθένηση που οφείλεται στην ατμοσφαιρική απορρόφηση A_{atm} κατά τη διάδοση σε απόσταση d δίνεται σε dB βάσει της εξίσωσης:

$$A_{atm} = \alpha_{atm} \cdot d/1000 \quad (3.3.9)$$

Όπου,

d είναι η άμεση 3D διαγώνια απόσταση μεταξύ της πηγής και του δέκτη σε μέτρα A_{atm} , ο συντελεστής ατμοσφαιρικής απορρόφησης σε dB/km στην ονομαστική κεντρική συχνότητα για κάθε ζώνη συχνοτήτων, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9613-1.

Οι τιμές του συντελεστή α_{atm} δίνονται για θερμοκρασία 15 °C, σχετική υγρασία 70 % και ατμοσφαιρική πίεση 101 325 Pa. Υπολογίζονται με τις ακριβείς κεντρικές συχνότητες της ζώνης συχνοτήτων. Οι τιμές αυτές είναι σύμφωνες με το πρότυπο ISO 9613-1. Χρησιμοποιούνται οι μακροπρόθεσμοι μετεωρολογικοί μέσοι αν δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα. (Ε. & Επιτροπή, 2015)

Επίδραση του εδάφους

Η εξασθένηση που οφείλεται στην επίδραση του εδάφους αποτελεί κυρίως το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ανακλώμενου ήχου και του ήχου που διαδίδεται

απευθείας από την πηγή στον δέκτη. Συνδέεται υλικά με την ακουστική απορρόφηση του εδάφους πάνω από το οποίο διαδίδεται το ηχητικό κύμα. Ωστόσο, εξαρτάται επίσης σε σημαντικό βαθμό από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της διάδοσης, δεδομένου ότι η καμπύλωση των ακτινών μεταβάλλει το ύψος της διαδρομής πάνω από το έδαφος και καθιστά τις επιδράσεις του εδάφους και της γης που βρίσκεται κοντά στην πηγή περισσότερο ή λιγότερο σημαντικές.

Σε περίπτωση που η διάδοση μεταξύ της πηγής και του δέκτη επηρεάζεται από οποιοδήποτε εμπόδιο στο πεδίο διάδοσης, η επίδραση του εδάφους υπολογίζεται χωριστά στην πλευρά της πηγής και στην πλευρά του δέκτη. Στην περίπτωση αυτή, οι τιμές z_s και z_r αναφέρονται στη θέση της ισοδύναμης πηγής και/ή του δέκτη, όπως καταδεικνύεται στη συνέχεια κατά την παρουσίαση του υπολογισμού της περίθλασης Adif.

Ακουστικός χαρακτηρισμός εδάφους

Οι ιδιότητες ακουστικής απορρόφησης του εδάφους συνδέονται κυρίως με το πορώδες. Το συμπαγές έδαφος είναι σε γενικές γραμμές ανακλαστικό και το πορώδες έδαφος είναι απορροφητικό.

Για τις απαιτήσεις των λειτουργικών υπολογισμών, η ακουστική απορρόφηση του εδάφους αναπαριστάται από έναν αδιάστατο συντελεστή G , μεταξύ του 0 και του 1. Ο συντελεστής G είναι ανεξάρτητος από τη συχνότητα. Ο πίνακας δίνει τις τιμές του G για το έδαφος σε εξωτερικούς χώρους. Σε γενικές γραμμές, ο μέσος όρος του συντελεστή G για μια διαδρομή λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1.

Ο συντελεστής G_{path} ορίζεται ως το τμήμα απορροφητικού εδάφους που υφίσταται πάνω από το σύνολο της καλυπτόμενης διαδρομής

Όταν η πηγή και ο δέκτης βρίσκονται τόσο κοντά μεταξύ τους ώστε $dp \leq 30(z_s + z_r)$, η διάκριση μεταξύ του τύπου του εδάφους που βρίσκεται κοντά στην πηγή και του τύπου του εδάφους που βρίσκεται κοντά στον δέκτη είναι αμελητέα. Έτσι, ο συντελεστής εδάφους G_{path} διορθώνεται τελικά ως εξής:

$$G'_{path} = G_{path} [dp/30z_s + z_r] + G_s (1 - dp/(30z_s + 30z_r)) \text{ , αν } dp \leq 30(z_s + z_r) \quad (3.3.10)$$

Αλλιώς $G'_{path} = G_{path}$

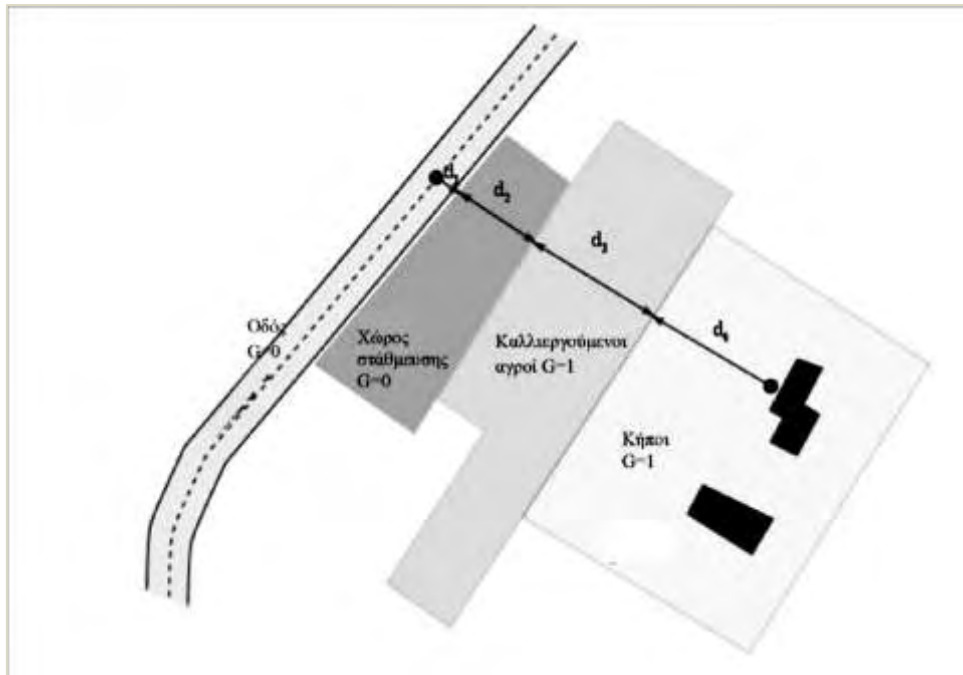
όπου G_s είναι ο συντελεστής εδάφους της επιφανειακής πηγής.

Ο συντελεστής G ενδεχομένως να συνδέεται με την ειδική αντίσταση ροής.

$$G_{path} = \frac{0 * d1 + 0 * d2 + 1 * d3 + 1 * d4}{d_p} = \frac{d3 + d4}{d_p}$$

$$d_p = d1 + d2 + d3 + d4$$

Ο πίνακας δίνει την αντιστοιχία μεταξύ των G_m και G_w και των μεταβλητών G_{path} και G'_{path} .



Σχήμα[3.3.5.α]: G_{path}

Ομοιογενείς συνθήκες		Ευνοϊκές συνθήκες		
Aground $\Delta ground(S, O)$		$\Delta ground(O, R)$	Aground $\Delta ground(S, O)$	$\Delta ground(O, R)$
Gw	G'path	Gpath		
Gm	G'path	Gpath	G'path	Gpath

Πίνακας [3.3.α]: Αντιστοιχία μεταξύ Gw και Gm και (Gpath, G'path)

Υπολογισμοί υπό ομοιογενείς συνθήκες

Η μείωση που οφείλεται στην επίδραση του εδάφους υπό ομοιογενείς συνθήκες υπολογίζεται βάσει των εξής εξισώσεων:

αν $G_{path} \neq 0$

$$A_{ground,h} = \max \left(-10 \lg \left[\frac{4k^2}{d_p^2 \left(z_s^2 - \frac{\sqrt{2Cfz_s}}{k} + \frac{Cf}{k} \right) \left(z_r^2 - \frac{\sqrt{2Cfz_r}}{k} + \frac{Cf}{k} \right)} \right], A_{ground,H,min} \right) \quad (3.3.11.)$$

Όπου

$$k = 2\pi f_m / c$$

f_m είναι η ονομαστική κεντρική συχνότητα της υπό εξέταση ζώνης συχνοτήτων, σε Hz· c είναι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα, που θεωρείται ίση με 340 m/s· και το C_f ορίζεται ως εξής:

$$C_f = d_p (1 + 3wdpe^{-\sqrt{wdp}}) / (1 + wdp) \quad (3.3.12.)$$

Όπου,

οι τιμές του w δίνονται από την εξής εξίσωση:

$$w = 0,00185 (f_m^{2.5} \overline{G_W}^{2.6}) / (f_m^{1.5} \overline{G_W}^{2.6} + 1.3 \cdot 10^3 f_m^{0.75} \overline{G_W}^{1.3} + 1.16 \cdot 10^6). \quad (3.3.13)$$

Gw μπορεί να ισούται με το Gpath ή το G'path ανάλογα με το κατά πόσον η επίδραση του εδάφους υπολογίζεται με ή χωρίς περίθλαση και σύμφωνα με τη φύση του εδάφους κάτω από την πηγή

$$A_{ground,H,min} = -3(1 - \overline{Gm}) \quad (3.3.14)$$

είναι το κατώτερο όριο της Aground,H.

Για διαδρομή (Si,R) υπό ομοιογενείς συνθήκες χωρίς περίθλαση:

Gw = G'path

Gm = G'path

Με περίθλαση: αν Gpath = 0: Aground,H = -3 dB (3.3.15)

Ο όρος $-3(1 - \overline{Gm})$ λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι, όταν η πηγή και ο δέκτης απέχουν πολύ μεταξύ τους, η πρώτη πλευρά της πηγής ανάκλασης δεν βρίσκεται πια στην πλατφόρμα, αλλά στο φυσικό έδαφος.

Υπολογισμός υπό ευνοϊκές συνθήκες

Η επίδραση του εδάφους υπό ευνοϊκές συνθήκες υπολογίζεται με την εξίσωση της Aground,H, υπό την προϋπόθεση ότι θα γίνουν οι εξής τροποποιήσεις:

Αν Gpath ≠ 0

α) Στην εξίσωση της Aground,H, τα ύψη zs και zr αντικαθίστανται από τα $zs + \delta zs + \delta zT$ και $zr + \delta zr + \delta zT$, αντίστοιχα, όπου

$$\delta z_s = a_o \left(\frac{zs}{zs + zr} \right)^2 * dp^2 / 2 \quad (3.3.15)$$

$$\delta z_r = a_o \left(\frac{zr}{zs + zr} \right)^2 * dp^2 / 2 \quad (3.3.16)$$

$a_o = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ είναι το αντίστροφο της ακτίνας καμπυλότητας

$\delta z_T = 6.10^{-3} dp(zs+zr)$ (3.3.17)

β) Το κατώτατο όριο της Aground,F εξαρτάται από τη γεωμετρία της διαδρομής

$$A_{ground,F,min} = -3(1 - \overline{Gm}), \text{αν } dp \leq 30(zs + zr), \text{αλλιώς} \quad (3.3.17)$$

$$A_{ground,F,min} = -3(1 - \overline{Gm}) \left(1 + 2 \left(1 - \frac{30(zr + zs)}{dp} \right) \right) \quad (3.3.18)$$

Αν Gpath = 0 Aground,F = Aground,F,min Οι διορθώσεις του ύψους δzs και δzr μεταφέρουν την επίδραση της καμπύλωσης των ακτινών του ήχου. Η δzT αντισταθμίζει την επίδραση της τύρβης.

Gm μπορεί επίσης να ισούται με το Gpath ή το G'path ανάλογα με το κατά πόσον η επίδραση του εδάφους υπολογίζεται με ή χωρίς περίθλαση και σύμφωνα με τη φύση του εδάφους κάτω από την πηγή (πραγματική πηγή ή πηγή με περίθλαση). Για διαδρομή (Si,R) υπό ευνοϊκές συνθήκες χωρίς περίθλαση:

Gw = Gpath

Gm = G'path.

Περίθλαση

Γενικά η περίθλαση μελετάται στην κορυφή κάθε εμποδίου που βρίσκεται επί της διαδρομής διάδοσης. Αν η διαδρομή περνά «αρκετά ψηλά» πάνω από το άκρο της περίθλασης, μπορεί να οριστεί Adif = 0 και να υπολογιστεί το άμεσο οπτικό πεδίο, ιδίως μέσω αξιολόγησης της Aground.

Στην πράξη, για κάθε κεντρική συχνότητα της ζώνης συχνοτήτων, η διαφορά διαδρομής δ συγκρίνεται με την ποσότητα $\lambda/20$. Αν ένα εμπόδιο δεν δημιουργεί περίθλαση, κάτι το οποίο καθορίζεται, λόγου χάριν, βάσει του κριτηρίου του Rayleigh, δεν απαιτείται ο υπολογισμός της Adif για την υπό εξέταση ζώνη συχνοτήτων δηλαδή, Adif = 0. Διαφορετικά,

η Adif υπολογίζεται όπως περιγράφεται στο υπόλοιπο τμήμα αυτού του μέρους. Αυτό ισχύει τόσο υπό ομοιογενείς όσο και υπό ευνοϊκές συνθήκες, τόσο για μεμονωμένη όσο και για πολλαπλή περίθλαση.

Για μια δεδομένη ζώνη συχνοτήτων, η Aground ορίζεται ως ίση με 0 dB κατά τον υπολογισμό της συνολικής εξασθένησης. Η επίδραση του εδάφους λαμβάνεται άμεσα υπόψη στην εξίσωση υπολογισμού της γενικής περίθλασης.

Οι εξισώσεις που προτείνονται εδώ χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία της περίθλασης σε πετάσματα μικρού ή μεγάλου πάχους, κτίρια, χωμάτινους αναβαθμούς (φυσικούς ή τεχνητούς), καθώς και εκείνης που προκαλείται από τα άκρα αναχωμάτων, τάφρων και κοιλαδογεφυρών.

Όταν συναντώνται επί της διαδρομής διάδοσης αρκετά εμπόδια που προκαλούν περίθλαση, αντιμετωπίζονται ως πολλαπλή περίθλαση με την εφαρμογή της διαδικασίας που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα για τον υπολογισμό της διαφοράς διαδρομής.

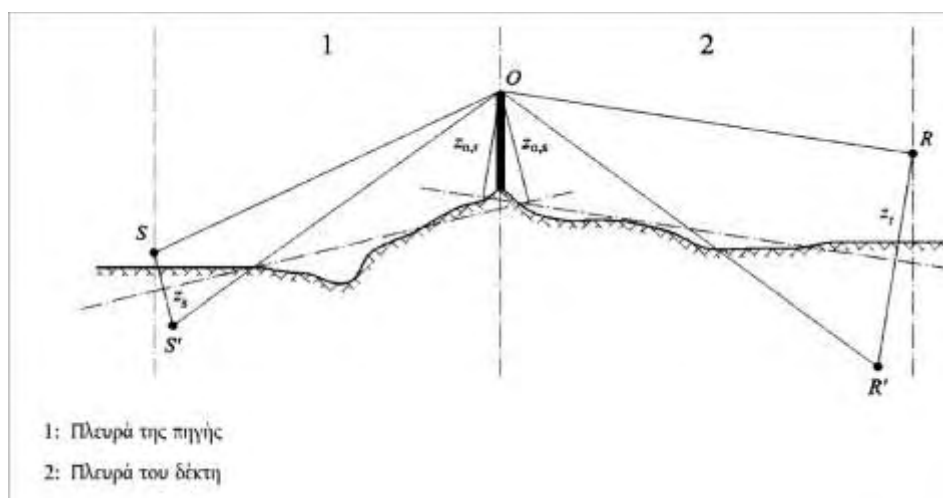
Οι διαδικασίες που παρουσιάζονται εδώ χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εξασθενήσεων τόσο υπό ομοιογενείς όσο και υπό ευνοϊκές συνθήκες. Η καμπύλωση των ακτίνων λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της διαφοράς διαδρομής και τον υπολογισμό των επιδράσεων του εδάφους πριν και μετά την περίθλαση (Ε. & Επιτροπή, 2015).

Γενικές αρχές

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τη γενική μέθοδο υπολογισμού της εξασθένησης λόγω περίθλασης. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη διαίρεση της διαδρομής διάδοσης σε δύο μέρη: 1)τη διαδρομή προς την «πλευρά της πηγής», που βρίσκεται μεταξύ της πηγής και του σημείου περίθλασης, και 2)τη διαδρομή προς την «πλευρά του δέκτη», που βρίσκεται μεταξύ του σημείου περίθλασης και του δέκτη. Υπολογίζονται τα εξής:

η επίδραση του εδάφους στην πλευρά της πηγής $\Delta_{\text{ground}}(S,O)$

- η επίδραση του εδάφους στην πλευρά του δέκτη $\Delta_{\text{ground}}(O,R)$
- και οι τρεις περιθλάσεις:
- μεταξύ της πηγής S και του δέκτη R: $\Delta_{\text{dif}}(S,R)$
- μεταξύ της πηγής της εικόνας S' και του R: $\Delta_{\text{dif}}(S',R)$
- μεταξύ της S και του δέκτη της εικόνας R': $\Delta_{\text{dif}}(S,R')$



Σχήμα [3.3.5.β]: Γεωμετρία υπολογισμού της εξασθένησης λόγω περίθλασης

Όπου,

S είναι η πηγή

R είναι ο δέκτης

S' είναι η πηγή της εικόνας σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους στην πλευρά της πηγής

R' είναι ο δέκτης της εικόνας σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους στην πλευρά του δέκτη

O είναι το σημείο περίθλασης

zs είναι το ισοδύναμο ύψος της πηγής S σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους στην πλευρά της πηγής

zo,s είναι το ισοδύναμο ύψος του σημείου περίθλασης O σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους στην πλευρά του δέκτη

zr είναι το ισοδύναμο ύψος του δέκτη R σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους στην πλευρά της πηγής

zo,r είναι το ισοδύναμο ύψος του σημείου περίθλασης O σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους στην πλευρά του δέκτη

Η ανωμαλία του εδάφους μεταξύ της πηγής και του σημείου περίθλασης, καθώς και μεταξύ του σημείου περίθλασης και του δέκτη, λαμβάνεται υπόψη μέσω των ισοδύναμων υψών που υπολογίζονται σε σχέση με το μέσο επίπεδο του εδάφους, πρώτα στην πλευρά της πηγής και έπειτα στην πλευρά του δέκτη (δύο μέσα επίπεδα εδάφους), σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στην υποενότητα περί σημαντικών υψών πάνω από το έδαφος.

Αμιγής περίθλαση

Για την αμιγή περίθλαση, χωρίς την επίδραση του εδάφους, η εξασθένιση δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta_{dif} = 10C_h \log \left(3 + \frac{40}{\lambda} * c''\delta \right), \text{αν } 40/\lambda \geq -2 \quad (3.3.19)$$

,αλλιώς $\Delta_{dif} = 0$

Όπου,

$C_h = 1$

λ είναι το μήκος κύματος στην ονομαστική κεντρική συχνότητα της υπό εξέταση ζώνης συχνοτήτων

δ είναι η διαφορά μεταξύ της διαδρομής με περίθλαση και της απευθείας διαδρομής (βλ. επόμενη υποενότητα περί υπολογισμού της διαφοράς διαδρομής)

C'' είναι ο συντελεστής που χρησιμοποιείται προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι πολλαπλές περιθλάσεις:

$C'' = 1$ για μεμονωμένη περίθλαση

Για πολλαπλή περίθλαση, αν e είναι η συνολική απόσταση της διαδρομής, O1 έως O2 + O2 έως O3 + O3 έως O4 βάσει της «μεθόδου της ελαστικής ταινίας» και, αν η e υπερβαίνει τα 0,3 m (αλλιώς $C'' = 1$), ο συντελεστής αυτός ορίζεται από τον τύπο:

$$C'' = 1 + \frac{\left(\frac{5\lambda}{e}\right)^2}{91} / \left(\left(\frac{1}{3}\right) + \left(\frac{5\lambda}{e}\right)^2 \right) \quad (3.3.20)$$

Οι τιμές της Δ_{dif} περιορίζονται:

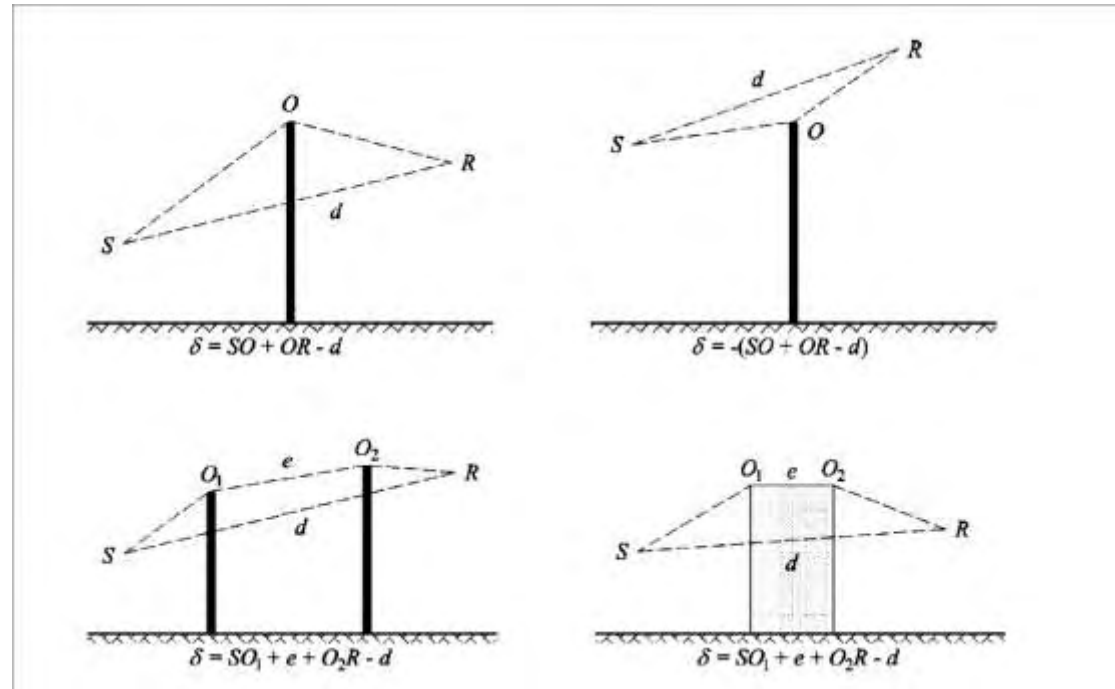
- αν $\Delta_{dif} < 0$: $\Delta_{dif} = 0$ Db,
- αν $\Delta_{dif} > 25$: $\Delta_{dif} = 25$ dB για περίθλαση σε οριζόντιο άκρο και μόνο στον όρο Δ_{dif} , που εμφανίζεται στον υπολογισμό της Δ_{dif} . Αυτό το ανώτατο όριο δεν εφαρμόζεται

στους όρους της Δdif που παρεμβαίνουν στον υπολογισμό της $\Delta ground$, ή για περίθλαση σε κάθετο άκρο (πλευρική περίθλαση) όταν πρόκειται για χαρτογράφηση βιομηχανικού θορύβου.

Υπολογισμός της διαφοράς διαδρομής

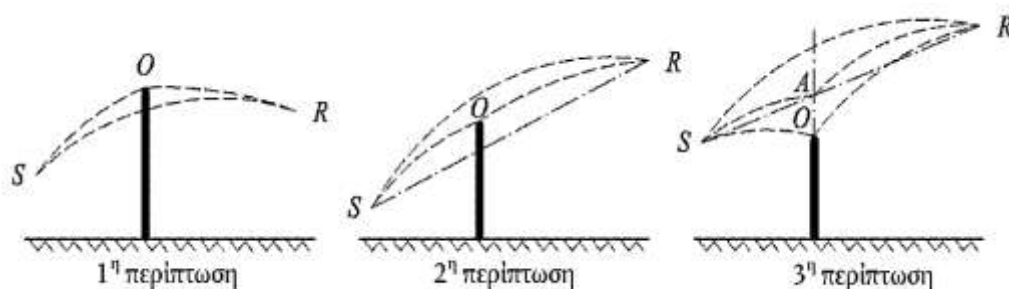
Η διαφορά διαδρομής δ υπολογίζεται σε κάθετο επίπεδο που περιέχει την πηγή και τον δέκτη. Πρόκειται για προσέγγιση σε σχέση με την αρχή του Fermat. Η προσέγγιση εξακολουθεί να ισχύει εν προκειμένω (γραμμικές πηγές). Η διαφορά διαδρομής δ υπολογίζεται όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα, βάσει των καταστάσεων που ανακύπτουν.

Ομοιογενείς συνθήκες



Σχήμα [3.3.5.γ]: Υπολογισμός της διαφοράς διαδρομής υπό ομοιογενείς συνθήκες. O, O1 και O2 είναι τα σημεία περίθλασης

Ευνοϊκές συνθήκες



Σχήμα [3.3.5.δ]: Υπολογισμός της διαφοράς διαδρομής υπό ευνοϊκές συνθήκες (μεμονωμένη περίθλαση)

Υπό ευνοϊκές συνθήκες, θεωρείται ότι οι τρεις καμπύλες ηχητικές ακτίνες SO, OR και SR έχουν την ίδια ακτίνα καμπυλότητας Γ , που ορίζεται από τον τύπο:

$$\Gamma = \max(1000, 8d)$$

Το μήκος της καμπύλης μιας ηχητικής ακτίνας MN συμβολίζεται ως υπό ευνοϊκές συνθήκες. Το μήκος αυτό ισούται με:

$$\widehat{MN} = 2\Gamma \arcsin\left(\frac{MN}{2\Gamma}\right) \quad (3.3.21)$$

Κατ' αρχήν, θα πρέπει να εξεταστούν τρία σενάρια για τον υπολογισμό της διαφοράς διαδρομής υπό ευνοϊκές συνθήκες δF (βλ. σχήμα 2.5.ε). Στην πράξη, δύο εξισώσεις αρκούν:

- αν η ευθεία ηχητική ακτίνα SR συγκαλύπτεται από το εμπόδιο (1η και 2η περίπτωση στο σχήμα

$$\delta_F = \hat{S}O + \hat{O}R - \hat{S}R \quad (3.3.22)$$

- αν η ευθεία ηχητική ακτίνα SR δεν συγκαλύπτεται από το εμπόδιο (3η περίπτωση στο σχήμα

$$\delta_F = 2\hat{S}A + 2\hat{A}R - \hat{S}O - \hat{O}R - \hat{S}R \quad (3.3.23)$$

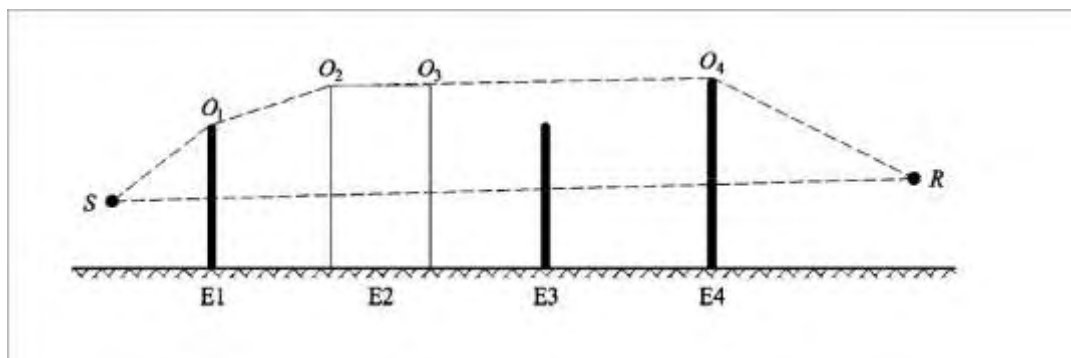
Όπου,

A είναι το σημείο τομής της ευθείας ηχητικής ακτίνας SR και της επέκτασης του εμποδίου που προκαλεί την περίθλαση.

Για πολλαπλές περιθλάσεις υπό ευνοϊκές συνθήκες:

- καθορίζεται το κυρτό πολύγωνο που ορίζεται από τα διάφορα πιθανά άκρα της περίθλασης,
- εξαλείφονται τα άκρα της περίθλασης που δεν βρίσκονται στο όριο του κυρτού πολυγώνου,
- υπολογίζεται η δF βάσει των μηκών της καμπύλης ηχητικής ακτίνας, διαιρώντας τη διαδρομή που έχει υποστεί περίθλαση στον απαραίτητο αριθμό καμπύλων τμημάτων (Σχ.3.3.5.ε)

$$\delta_F = \hat{S}O_1 + \sum_{i=1}^{n-1} O_i \hat{O}_{i+1} + \hat{O}_n R - \hat{S}R \quad (3.3.24)$$



Σχήμα [3.3.5.ε]: Παράδειγμα υπολογισμού της διαφοράς διαδρομής υπό ευνοϊκές συνθήκες, σε περίπτωση πολλαπλών περιθλάσεων

Στο σενάριο που παρουσιάζεται στο σχήμα , η διαφορά διαδρομής είναι

$$\delta_F = \hat{S}O_1 + O_1 \hat{O}_2 + O_2 \hat{O}_3 + O_3 \hat{O}_4 + \hat{O}_4 R - \hat{S}R \quad (3.3.25)$$

Υπολογισμός της εξασθένησης A_{dif}

Η εξασθένηση λόγω περίθλασης, λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις στην πλευρά της πηγής και στην πλευρά του δέκτη, υπολογίζεται βάσει των εξής γενικών εξισώσεων:

$$A_{dif} = A_{dif(S,R)} + A_{ground(S,O)} + A_{ground(O_n,R)} \quad (3.3.26)$$

Όπου,

$A_{dif}(S,R)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην περίθλαση μεταξύ της πηγής S και του δέκτη R

$\Delta_{ground}(S,O)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην επίδραση του εδάφους στην πλευρά της πηγής, σταθμισμένη βάσει της περίθλασης στην πλευρά της πηγής· όπου νοείται ότι $O = O1$ όταν πρόκειται για πολλαπλές περιθλάσεις όπως στο σχήμα

$\Delta_{ground}(O,R)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην επίδραση του εδάφους στην πλευρά του δέκτη, σταθμισμένη βάσει της περίθλασης στην πλευρά του δέκτη

Υπολογισμός του όρου $\Delta_{ground}(S,O)$

$$\Delta_{ground}(S,O) = -20\log \left[1 + \left(10^{-\frac{\Delta_{ground}(s,o)}{20}} - 1 \right) 10^{-\left(\frac{\Delta_{dif}(s',R) - \Delta_{dif}(s,R)}{20} \right)} \right] \quad (3.3.27)$$

Όπου,

$\Delta_{ground}(S,O)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην επίδραση του εδάφους μεταξύ της πηγής S και του σημείου περίθλασης O . Ο όρος αυτός υπολογίζεται όπως αναφέρεται στην προηγούμενη υποενότητα περί υπολογισμών υπό ομοιογενείς συνθήκες και στην προηγούμενη υποενότητα περί υπολογισμών υπό ευνοϊκές συνθήκες, με τις εξής παραδοχές: $zr = zo, s$

Το G_{path} υπολογίζεται μεταξύ της S και του O

- Υπό ομοιογενείς συνθήκες: $G_w = G'_{path}$ στην εξίσωση, $G_m = G'_{path}$ στην εξίσωση
- Υπό ευνοϊκές συνθήκες: $G_w = G_{path}$ στην εξίσωση, $G_m = G'_{path}$

$\Delta_{dif}(S',R)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην περίθλαση μεταξύ της πηγής της εικόνας S' και του R , η οποία υπολογίζεται όπως αναφέρεται στην προηγούμενη υποενότητα περί αμιγούς περίθλασης

$\Delta_{dif}(S,R)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην περίθλαση μεταξύ της S και του R , η οποία υπολογίζεται όπως αναφέρεται στην προηγούμενη υποενότητα περί αμιγούς περίθλασης.

Υπολογισμός του όρου $\Delta_{ground}(O,R)$

$$\Delta_{ground}(o,R) = -20\log \left[1 + \left(10^{-\frac{\Delta_{ground}(O,R)}{20}} - 1 \right) 10^{-\left(\Delta_{dif}(S,R') - \frac{\Delta_{dif}(S,R)}{20} \right)} \right] \quad (3.3.28)$$

Όπου,

$\Delta_{ground}(O,R)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην επίδραση του εδάφους μεταξύ του σημείου περίθλασης O και του δέκτη R . Ο όρος αυτός υπολογίζεται όπως αναφέρεται στην προηγούμενη υποενότητα περί υπολογισμού υπό ομοιογενείς συνθήκες και στην προηγούμενη υποενότητα περί υπολογισμού υπό ευνοϊκές συνθήκες, με τις εξής παραδοχές: $zs = zo, r$

Το G_{path} υπολογίζεται μεταξύ του O και δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη εν προκειμένω η διόρθωση του G'_{path} εφόσον η υπό εξέταση πηγή είναι το σημείο περίθλασης. Ως εκ τούτου, το G_{path} χρησιμοποιείται όντως για τον υπολογισμό των επιδράσεων του εδάφους, συμπεριλαμβανομένου του όρου του κατώτερου ορίου της εξίσωσης που καθίσταται $-3(1 - G_{path})$.

- Υπό ομοιογενείς συνθήκες, $G_w = G_{path}$ στην εξίσωση και $G_m = G_{path}$
- Υπό ευνοϊκές συνθήκες, $G_w = G_{path}$ στην εξίσωση και $G_m = G_{path}$ στην εξίσωση

$\Delta_{dif}(S,R')$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην περίθλαση μεταξύ της S και του δέκτη της εικόνας R' , η οποία υπολογίζεται όπως αναφέρεται στην προηγούμενη ενότητα περί αμιγούς περίθλασης

$\Delta_{dif}(S,R)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην περίθλαση μεταξύ της S και του R , η οποία υπολογίζεται όπως αναφέρεται στην προηγούμενη υποενότητα περί αμιγούς περίθλασης

Ανακλάσεις σε κάθετα εμπόδια Εξασθένηση μέσω απορρόφησης

Οι ανακλάσεις σε κάθετα εμπόδια αντιμετωπίζονται μέσω πηγών εικόνας. Συνεπώς, οι ανακλάσεις σε προσόψεις κτιρίων και ηχητικούς φραγμούς αντιμετωπίζονται κατ' αυτόν τον τρόπο.

Ένα εμπόδιο θεωρείται κάθετο αν η κλίση του σε σχέση με την κάθετο είναι μικρότερη από 15° .

Όταν πρόκειται για ανακλάσεις σε αντικείμενα των οποίων η κλίση σε σχέση με την κάθετο είναι ίση ή μεγαλύτερη από 15° , το αντικείμενο δεν λαμβάνεται υπόψη.

Τα εμπόδια των οποίων τουλάχιστον μία διάσταση είναι μικρότερη από 0,5 m δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της ανάκλασης, εκτός αν πρόκειται για ειδικές διατάξεις.

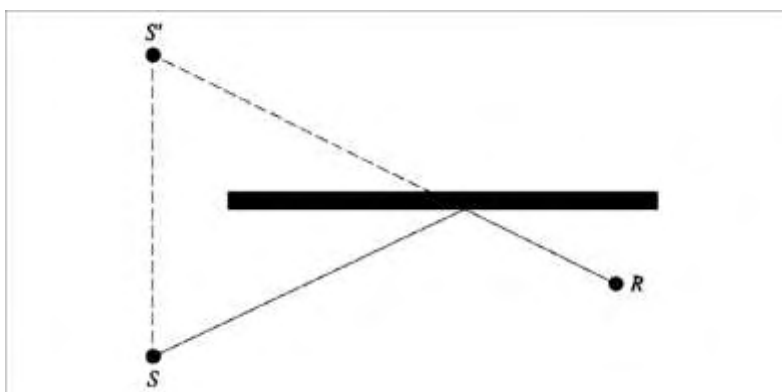
Σημειώτέον ότι οι ανακλάσεις στο έδαφος δεν εξετάζονται εν προκειμένω. Λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς της εξασθένησης που οφείλεται στο όριο (έδαφος, περίθλαση). Αν LWS είναι η στάθμη ισχύος της πηγής S και αr είναι ο συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας του εμποδίου, όπως ορίζεται στο πρότυπο EN 1793-1:2013, τότε η στάθμη ισχύος της πηγής της εικόνας S' ισούται με:

$$L_{WS'} = L_{WS} + 10 \log(1 - \alpha r) = L_{WS} + A_{refl} \quad (3.3.31)$$

όπου $0 \leq \alpha r < 1$

Οι εξασθενήσεις της διάδοσης που περιγράφονται ανωτέρω εφαρμόζονται τότε σ' αυτή τη διαδρομή (πηγή εικόνας, δέκτης), όπως και για την απευθείας διαδρομή

Εξασθένηση



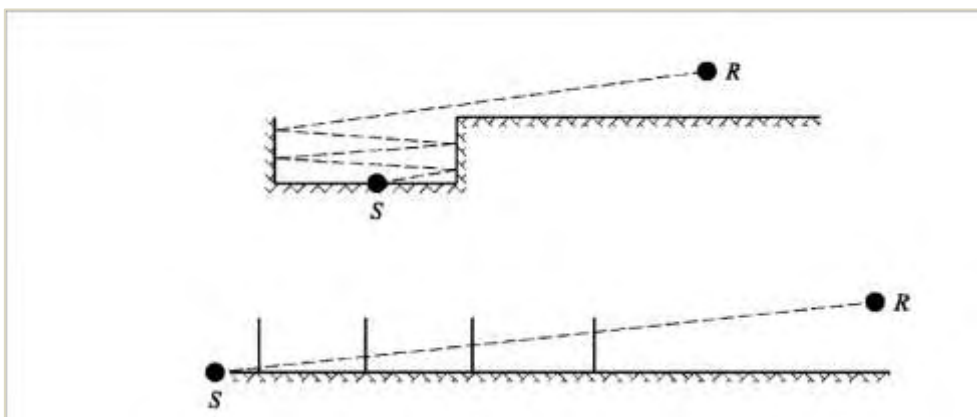
Σχήμα [3.3.5.ε.]: Κατοπτρική ανάκλαση σε εμπόδιο που αντιμετωπίζεται με τη μέθοδο της πηγής της εικόνας (S: πηγή, S': πηγή εικόνας, R: δέκτης) (Kerhalopoulos et al., 2014)

Εξασθένηση λόγω οπισθοπερίθλασης

Στη γεωμετρική έρευνα ηχητικών διαδρομών, κατά την ανάκλαση σε κάθετο εμπόδιο (φράγμα τοίχου, κτίριο), η θέση πρόσκρουσης της ακτίνας σε σχέση με το άνω άκρο του εμποδίου αυτού καθορίζει την περισσότερο ή λιγότερο σημαντική αναλογία της ενέργειας που ανακλάται στην πραγματικότητα. Αυτή η απώλεια ακουστικής ενέργειας όταν η ακτίνα υποβάλλεται σε ανάκλαση αποκαλείται εξασθένηση λόγω οπισθοπερίθλασης.

Όταν πρόκειται για πολλαπλές ανακλάσεις μεταξύ δύο κάθετων τοίχων, λαμβάνεται υπόψη τουλάχιστον η πρώτη ανάκλαση.

Όταν πρόκειται για τάφρο, η εξασθένηση λόγω οπισθοπερίθλασης εφαρμόζεται σε κάθε ανάκλαση πάνω στους τοίχους αντιστήριξης.



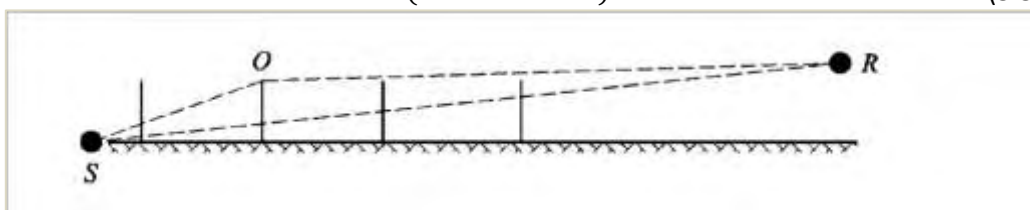
Σχήμα [3.3.5.σ.]: Η ηχητική ακτίνα ανακλάται σε 4η τάξη σε μια τροχιά που βρίσκεται σε τάφρο: πραγματική διατομή (άνω σχήμα), διατομή σε ευθεία γραμμή (κάτω σχήμα)

Στην παρούσα αναπαράσταση, η ηχητική εικόνα φτάνει στον δέκτη «περνώντας διαδοχικά διαμέσου» των τοίχων αντιστήριξης της τάφρου, που μπορούν ως εκ τούτου να παρομοιαστούν με ανοίγματα.

Κατά τον υπολογισμό της διάδοσης διαμέσου ενός ανοίγματος, το ηχητικό πεδίο στον δέκτη είναι το άθροισμα του άμεσου πεδίου και του πεδίου που έχει υποστεί περίθλαση από τα άκρα του ανοίγματος. Το πεδίο που έχει υποστεί περίθλαση διασφαλίζει τη συνέχεια της μετάδοσης μεταξύ της καθαρής περιοχής και της σκιασμένης περιοχής. Όταν η ακτίνα προσεγγίζει το άκρο του ανοίγματος, το άμεσο πεδίο εξασθενίζει. Ο υπολογισμός είναι ίδιος με εκείνον που χρησιμοποιείται για την εξασθένηση λόγω φραγμού στην καθαρή περιοχή.

Η διαφορά διαδρομής δ' που συνδέεται με κάθε οπισθοπερίθλαση είναι το αντίθετο της διαφοράς διαδρομής μεταξύ της S και του R περίπου σε κάθε άνω άκρο O, και αυτό σε οπτικό πεδίο σύμφωνα με τη χρησιμοποιούμενη διατομή

$$\delta' = -(SO + OR - SR) \quad (3.3.32)$$



Σχήμα[3.3.5.1] :Η διαφορά διαδρομής για τη δεύτερη ανάκλαση

Το πρόσημο «μείον» της εξίσωσης σημαίνει ότι ο δέκτης θεωρείται εν προκειμένω ότι βρίσκεται στην καθαρή περιοχή.

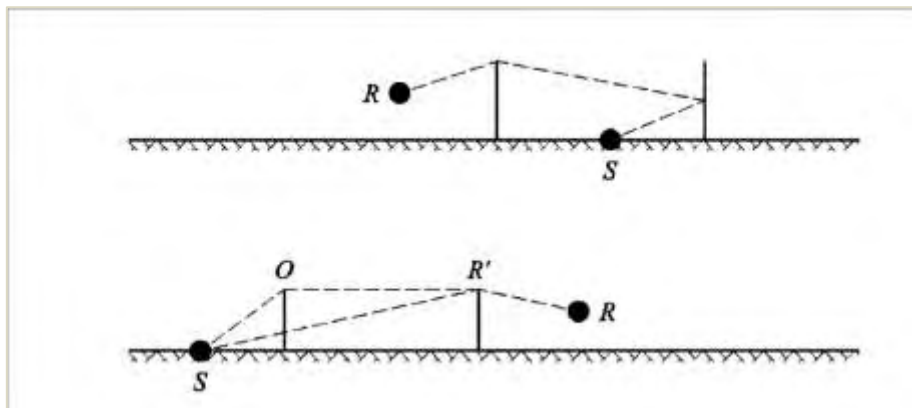
Η εξασθένηση λόγω οπισθοπερίθλασης $\Delta_{retrodif}$ λαμβάνεται με την επόμενη εξίσωση

$$\Delta_{retrodif} = 10Chlog \left(3 + \frac{40}{\lambda \delta'} \right), \text{αν } (40/\lambda) * \delta' \geq -2, \text{αλλιώς } = 0 \quad (3.3.33)$$

Αυτή η εξασθένηση εφαρμόζεται στην απευθείας ακτίνα κάθε φορά που «διέρχεται» διαμέσου ενός τοίχου ή κτιρίου [αντανakλάται σε αυτό(-όν)]. Ως εκ τούτου, η στάθμη ισχύος της πηγής της εικόνας S' καθίσταται:

$$LW' = LW + 10 \times \log(1 - \alpha r) - \Delta_{retrodif} \quad (3.3.34)$$

Σε περίπλοκες διατάξεις διάδοσης, ενδέχεται να υπάρχουν περιθλάσεις μεταξύ ανακλάσεων ή μεταξύ του δέκτη και των ανακλάσεων. Στην περίπτωση αυτή, η οπισθοπερίθλαση που οφείλεται στους τοίχους εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη τη διαδρομή μεταξύ της πηγής και του πρώτου σημείου περίθλασης R' . Η αρχή αυτή απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα



Σχήμα[3.3.5.ια] :Η διαφορά διαδρομής υπό την παρουσία περίθλασης: πραγματική διατομή (άνω σχήμα), διατομή σε ευθεία γραμμή (κάτω σχήμα)

Όταν πρόκειται για πολλαπλές ανακλάσεις, προστίθενται οι ανακλάσεις που οφείλονται σε κάθε επιμέρους ανάκλαση.(Ε. & Επιτροπή, 2015)

3.4. Ανάλυση μεθόδου για σιδηροδρομική κυκλοφορία

3.4.1 Περιγραφή της πηγής

Ταξινόμηση των οχημάτων

Ορισμός οχήματος και αμαξοστοιχίας

Ως όχημα νοείται οποιαδήποτε μεμονωμένη σιδηροδρομική υπομονάδα αμαξοστοιχίας (συνήθως μηχανή έλξης, αυτοκινούμενη άμαξα, ρυμουλκούμενη άμαξα ή φορτάμαξα) που μπορεί να κινηθεί ανεξάρτητα και δύναται να αποσπαστεί από την υπόλοιπη αμαξοστοιχία. Είναι δυνατόν να ισχύουν ειδικές περιστάσεις για υπομονάδες μιας αμαξοστοιχίας οι οποίες αποτελούν μέρος ενός μη αποσπώμενου συνόλου, π.χ. χρησιμοποιούν κοινό φορείο. Για τους σκοπούς της παρούσας μεθόδου υπολογισμού, όλες οι υπομονάδες αυτές ομαδοποιούνται σε ένα και μόνο όχημα.

Για τους σκοπούς της παρούσας μεθόδου υπολογισμού, μια αμαξοστοιχία αποτελείται από αρκετά συνδεδεμένα οχήματα

Ο αριθμός των οχημάτων για κάθε τύπο καθορίζεται στο καθένα από τα τμήματα τροχιάς για το καθένα από τα χρονικά διαστήματα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του θορύβου. Εκφράζεται ως ο μέσος όρος οχημάτων ανά ώρα, που προκύπτει από τη διαίρεση του συνολικού αριθμού των οχημάτων που ταξιδεύουν σε μια δεδομένη χρονική περίοδο με τη διάρκεια της εν λόγω χρονικής περιόδου σε ώρες (π.χ. 24 οχήματα σε 4 ώρες σημαίνει 6 οχήματα ανά ώρα). Χρησιμοποιούνται όλοι οι τύποι οχημάτων που κινούνται σε κάθε τμήμα τροχιάς.

Ο πίνακας 3.4.α. καθορίζει μια κοινή ορολογία για την περιγραφή των τύπων οχημάτων που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων πηγής. Παρουσιάζει τις σχετικές περιγραφές που

χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των οχημάτων στο σύνολό τους. Οι εν λόγω περιγραφές αντιστοιχούν στις ιδιότητες του οχήματος που επηρεάζουν την ακουστική κατευθυντική ηχητική ισχύ ανά μέτρο μήκους της ισοδύναμης γραμμικής πηγής που χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο.

Ψηφίο	1	2	3	4
Περιγραφή	Τύπος οχήματος	Αριθμός αξόνων ανά όχημα	Τύπος πέδης	Μέτρο σχετικό με τους τροχούς
Επεξήγηση	Γράμμα που περιγράφει τον τύπο	Ο πραγματικός αριθμός αξόνων	Τύπος πέδης	Τύπος του μέτρου του περιορισμού του θορύβου
Πιθανές περιγραφές	h όχημα υψηλής ταχύτητας	1	c πέδιλο από χυτοσίδηρο	n κανένα μέτρο
	m αυτοκινούμενες επιβατάμαξες	2	k πέδιλα από σύνθετο υλικό ή πυροσυσσωματωμένα μέταλλα	d αποσβεστήρες
	p ρυμουλκούμενες επιβατάμαξες	3	n πέδη χωρίς πέδιλα στην επιφάνεια κύλισης, π.χ. πέδη με δίσκο ή τύμπανο ή μαγνητική πέδη	s πετάσματα
	c αστικό τραμ ή υπόγειος σιδηρόδρομος ελαφρού τύπου αυτοκινούμενη και μη αυτοκινούμενη επιβατάμαξα	4		o άλλα
	d πετρελαιομηχανή	Κ.λ.π.		
	e ηλεκτροκίνητη μηχανή			
	a οποιαδήποτε γενική φορτάμαξα			
	o άλλα (π.χ. συντήρηση οχημάτων κ.λπ.)			

Πίνακας[3.4.1.α.]: Ταξινόμηση αμαξοστοιχιών (Ε. & Επιτροπή, 2015)

Ταξινόμηση των γραμμών και της δομής στήριξης

Οι υφιστάμενες γραμμές μπορεί να διαφέρουν, δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετά στοιχεία που συμβάλλουν στις ηχητικές ιδιότητές τους και τις χαρακτηρίζουν. Ορισμένα από τα στοιχεία ασκούν μεγάλη επίδραση στις ακουστικές ιδιότητες, ενώ άλλα ασκούν μόνο δευτερεύουσα επίδραση. Σε γενικές γραμμές, τα σημαντικότερα στοιχεία που επηρεάζουν τις εκπομπές θορύβου σιδηροδρομικής κυκλοφορίας είναι: η τραχύτητα της κεφαλής της σιδηροτροχιάς, η ακαμψία του υποθέματος της σιδηροτροχιάς, η βάση της σιδηροτροχιάς, οι αρμοί της σιδηροτροχιάς και η ακτίνα καμπυλότητας της σιδηροτροχιάς. Εναλλακτικά, μπορεί να οριστεί το σύνολο των ιδιοτήτων της σιδηροτροχιάς και, στην περίπτωση αυτή, οι

δύο ουσιώδεις ακουστικές παράμετροι είναι η τραχύτητα της κεφαλής της σιδηροτροχιάς και η τιμή απόσβεσης για τροχιά. Ως τμήμα τροχιάς νοείται ένα μέρος μιας ενιαίας τροχιάς, σε σιδηροδρομική γραμμή ή μηχανοστάσιο, επί του οποίου τα φυσικά χαρακτηριστικά δε μεταβάλλονται.

Αριθμός και θέση ισοδύναμων ηχητικών πηγών

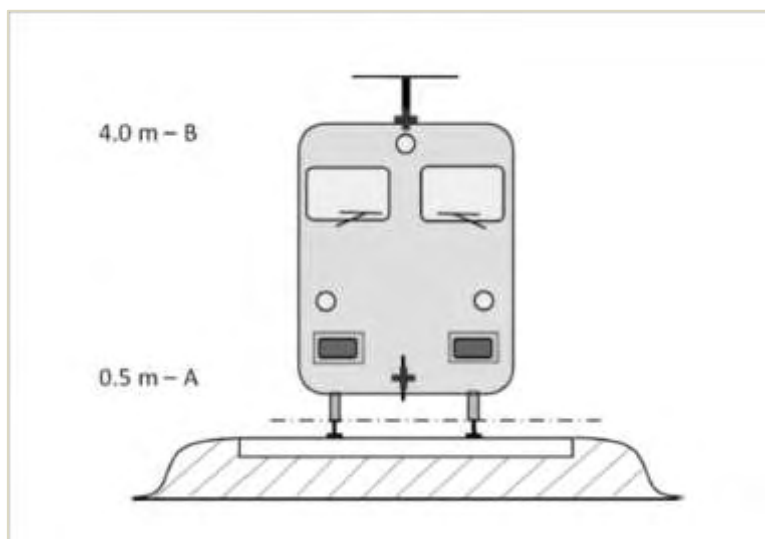
Οι διάφορες ισοδύναμες γραμμικές πηγές θορύβου τοποθετούνται σε διάφορα ύψη και στο κέντρο της τροχιάς. Όλα τα ύψη αναφέρονται στο επίπεδο που εφάπτεται με τις δύο άνω επιφάνειες των δύο σιδηροτροχιών.

Οι ισοδύναμες πηγές περιλαμβάνουν διαφορετικές φυσικές πηγές (δείκτης p). Αυτές οι φυσικές πηγές κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τον μηχανισμό δημιουργίας, και είναι οι εξής:

1) ο θόρυβος κύλισης (που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τους κραδασμούς της βάσης της σιδηροτροχιάς και τους κραδασμούς των τροχών, αλλά και τον θόρυβο της υπερκατασκευής των φορταμαξιών) 2) ο θόρυβος έλξης· 3) ο αεροδυναμικός θόρυβος· 4) ο κτυπογενής θόρυβος (από διασταυρώσεις, αλλαγές τροχιάς και διακλαδώσεις)· 5) ο θόρυβος στριγκλίσματος· και 6) ο θόρυβος που οφείλεται σε πρόσθετες επιδράσεις, όπως γέφυρες και κοιλαδογέφυρες.

1) Η τραχύτητα των τροχών και των κεφαλών της σιδηροτροχιάς, μέσω τριών τρόπων μετάδοσης στις ακτινοβολούσες επιφάνειες (σιδηροτροχιές, τροχοί και υπερκατασκευή), παράγει τον θόρυβο κύλισης. Ο θόρυβος κύλισης κατανέμεται σε $h = 0,5$ m (ακτινοβολούσα επιφάνεια A) και αναπαριστά τη συνεισφορά της τροχιάς, συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης της επιφάνειας της τροχιάς, ιδίως δε των τροχιών επί πλακών (σύμφωνα με το τμήμα διάδοσης), τη συνεισφορά των τροχών και τη συνεισφορά της υπερκατασκευής του οχήματος στη δημιουργία του θορύβου (σε εμπορευματικές αμαξοστοιχίες).

2) Τα ύψη των ισοδύναμων πηγών όσον αφορά τον θόρυβο έλξης ποικίλλουν μεταξύ 0,5 m (πηγή A) και 4,0 m (πηγή B), ανάλογα με τη φυσική θέση του συγκεκριμένου δομικού στοιχείου. Πηγές όπως τα συστήματα μετάδοσης με οδοντωτούς τροχούς και οι ηλεκτροκινητήρες βρίσκονται συχνά σε ύψος 0,5 m (πηγή A). Οι περσίδες και τα ανοίγματα αερισμού μπορεί να βρίσκονται σε διάφορα ύψη, ενώ οι εξατμίσεις ντιζελοκίνητων



Σχήμα [3.4.1.γ]:Θέση ισοδύναμων πηγών θορύβου

οχημάτων βρίσκονται συχνά στο ύψος της οροφής 4,0 m (πηγή Β). Άλλες πηγές έλξης, όπως οι ανεμιστήρες ή τα συγκροτήματα ντιζελοκινητήρων, μπορεί να βρίσκονται σε ύψος 0,5 m (πηγή Α) ή 4,0 m (πηγή Β). Εάν το ακριβές ύψος της πηγής βρίσκεται μεταξύ των υψών του μοντέλου, η ηχητική ενέργεια κατανέμεται αναλογικά στα ύψη της πλησιέστερης παρακείμενης πηγής.

Για τον λόγο αυτόν, προβλέπονται δύο ύψη πηγής με την εν λόγω μέθοδο, στα 0,5 m (πηγή Α) και στα 4,0 m (πηγή Β), και η ισοδύναμη ακουστική ισχύς που συνδέεται με το κάθε ύψος κατανέμεται μεταξύ των δύο αναλόγως της συγκεκριμένης διάταξης των πηγών για τον τύπο της μονάδας.

3) Οι επιδράσεις του αεροδυναμικού θορύβου συνδέονται με την πηγή στα 0,5 m (που αναπαριστά τα καλύμματα και τα πετάσματα, πηγή Α) και με την πηγή στα 4,0 m (μοντελοποίηση όλης της οροφής και του παντογράφου, πηγή Β). Η επιλογή των 4,0 m για την επίδραση του παντογράφου είναι γνωστό ότι αποτελεί απλό μοντέλο και πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά εάν στόχος είναι η επιλογή κατάλληλου ύψους για το ηχοπέτασμα.

4) Ο κτυπογενής θόρυβος συνδέεται με την πηγή στα 0,5 m (πηγή Α).

5) Ο θόρυβος στριγκλίσματος συνδέεται με τις πηγές στα 0,5 m (πηγή Α).

6) Ο θόρυβος από γέφυρες συνδέεται με την πηγή στα 0,5 m (πηγή Α).

3.4.2. Εκπομπές ηχητικής ισχύος

Γενικές εξισώσεις

Μεμονωμένο όχημα

Το μοντέλο για τον θόρυβο σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, κατ' αναλογία του θορύβου οδικής κυκλοφορίας, περιγράφει τις εκπομπές ηχητικής ισχύος θορύβου ενός ειδικού συνδυασμού τύπου οχήματος και τύπου τροχιάς που πληροί μια δέσμη απαιτήσεων οι οποίες περιγράφονται στην ταξινόμηση του οχήματος και της τροχιάς, όσον αφορά ένα σύνολο ηχητικής ισχύος ανά όχημα (LW,0).

Ροή της κυκλοφορίας

Οι εκπομπές θορύβου από τη ροή της κυκλοφορίας σε κάθε τροχιά αναπαριστώνται από ένα σύνολο δύο γραμμικών πηγών που χαρακτηρίζονται από την κατευθυντική ηχητική ισχύ ανά μέτρο και ανά ζώνη συχνοτήτων. Αυτό αντιστοιχεί στο άθροισμα των ηχητικών εκπομπών των μεμονωμένων οχημάτων που διέρχονται στο πλαίσιο της ροής της κυκλοφορίας και, όταν πρόκειται συγκεκριμένα για οχήματα εν στάσει, λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που δαπανούν τα οχήματα στο υπό εξέταση τμήμα της σιδηροδρομικής γραμμής. Η κατευθυντική ηχητική ισχύς ανά μέτρο και ανά ζώνη συχνοτήτων, που οφείλεται σε όλα τα οχήματα που διέρχονται από κάθε τμήμα τροχιάς για τον τύπο τροχιάς (j), ορίζεται:

- για κάθε ζώνη συχνοτήτων (i),
- για κάθε συγκεκριμένο ύψος πηγής (h) (για πηγές στα 0,5 m $h = 1$, στα 4,0 m $h = 2$),

και είναι το άθροισμα των ενεργειών όλων των συνεισφορών από όλα τα οχήματα που κινούνται στο συγκεκριμένο j-οστό τμήμα της τροχιάς. Οι συνεισφορές αυτές προέρχονται:

- από όλους τους τύπους οχημάτων (t)
- σε διαφορετικές ταχύτητες (s),
- υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (σταθερή ταχύτητα) (c),

- για κάθε τύπο φυσικής πηγής (κύλιση, κτύποι, στριγκλίσματα, έλξη, αεροδυναμικές παράμετροι και πηγές που ασκούν πρόσθετη επίδραση, π.χ. ο θόρυβος από γέφυρες) (p).

Για τον υπολογισμό της κατευθυντικής ηχητικής ισχύος ανά μέτρο (εισαγωγή στο τμήμα διάδοσης) που οφείλεται στη μέση σύνθεση της κυκλοφορίας στο j-οστό τμήμα της τροχιάς, χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$L_{W',eq,T,dir,i} = 10 \log (\sum_{\chi=1}^{\chi} 10^{L_{w',eq,line,\frac{\chi}{10}}}) \quad (3.4.1.)$$

Όπου,

Tref = η χρονική περίοδος αναφοράς για την οποία εξετάζεται η μέση κυκλοφορία

χ = ο συνολικός αριθμός των υφιστάμενων συνδυασμών i, t, s, c, p για κάθε j-οστό τμήμα της τροχιάς

t = ο δείκτης των τύπων οχημάτων στο j-οστό τμήμα της τροχιάς

s = ο δείκτης της ταχύτητας της αμαξοστοιχίας: ο αριθμός των υφιστάμενων δεικτών είναι ίσος με τον αριθμό των διαφόρων μέσων ταχυτήτων αμαξοστοιχίας στο j-οστό τμήμα της τροχιάς

c = ο δείκτης για τις συνθήκες λειτουργίας: 1 (για συνεχή ταχύτητα), 2 (για βραδυπορία)

p = ο δείκτης για τύπους φυσικών πηγών: 1 (για τον θόρυβο κύλισης και τον κτυπογενή θόρυβο), 2 (στριγκλίσματα σε στροφές), 3 (θόρυβος έλξης), 4 (αεροδυναμικός θόρυβος), 5 (πρόσθετες επιδράσεις)

$L_{W',eq,line,\chi}$ = χ-οστή κατευθυντική ηχητική ισχύς ανά μέτρο για γραμμική πηγή συνδυασμού των t, s, c, p σε κάθε j-οστό τμήμα της τροχιάς

Εάν θεωρήσουμε σταθερή ροή Q οχημάτων ανά ώρα, με μέση ταχύτητα ν, θα υπάρχει κατά μέσο όρο σε κάθε χρονική στιγμή ισοδύναμος αριθμός Q/ν οχημάτων ανά μονάδα μήκους του σιδηροδρομικού τμήματος. Οι εκπομπές θορύβου της ροής οχημάτων από την άποψη της κατευθυντικής ηχητικής ισχύος ανά μέτρο $L_{W',eq,line}$ [εκφραζόμενες σε dB/m (re. 10–12 W)] ενσωματώνονται ως εξής:

$$L_{W',eq,line,i}(\psi, \varphi) = L_{W,O,dir,i}(\psi, \varphi) + 10 \log \left(\frac{Q}{1000\nu} \right) (c=1) \quad (3.4.2)$$

Όπου,

Q είναι ο μέσος αριθμός οχημάτων ανά ώρα στο j-οστό τμήμα της τροχιάς για τον τύπο οχήματος t, για μέση ταχύτητα αμαξοστοιχίας s και συνθήκες λειτουργίας c

ν είναι η ταχύτητα στο j-οστό τμήμα της τροχιάς για τον τύπο οχήματος t και για μέση ταχύτητα αμαξοστοιχίας s

$L_{W,O,dir}$ είναι η στάθμη της κατευθυντικής ηχητικής ισχύος (κύλιση, κτύποι, στριγκλίσματα, πέδηση, έλξη, αεροδυναμικές παράμετροι, άλλες επιδράσεις) ενός μεμονωμένου οχήματος στις κατευθύνσεις ψ, φ, οριζόμενη αναφορικά με την κατεύθυνση κίνησης του οχήματος

Σε περίπτωση σταθερής πηγής, π.χ. κατά τη βραδυπορία, θεωρείται ότι το όχημα παραμένει για συνολικό χρονικό διάστημα Tidle σε μια θέση εντός ενός τμήματος τροχιάς μήκους L. Συνεπώς, όταν Tref είναι η χρονική περίοδος αναφοράς για την αξιολόγηση του θορύβου (π.χ. 12 ώρες, 4 ώρες, 8 ώρες), η κατευθυντική ηχητική ισχύς ανά μονάδα μήκους στο υπό εξέταση τμήμα τροχιάς ορίζεται ως εξής:

$$L_{W',eq,line,i}(\psi, \varphi) = L_{W,o,dir,i}(\psi, \varphi) + 10 \log \left(\frac{T_{idle}}{T_{ref}L} \right) \text{ για } c=2- \quad (3.4.3)$$

Σε γενικές γραμμές, η κατευθυντική ηχητική ισχύς λαμβάνεται από κάθε συγκεκριμένη πηγή ως εξής:

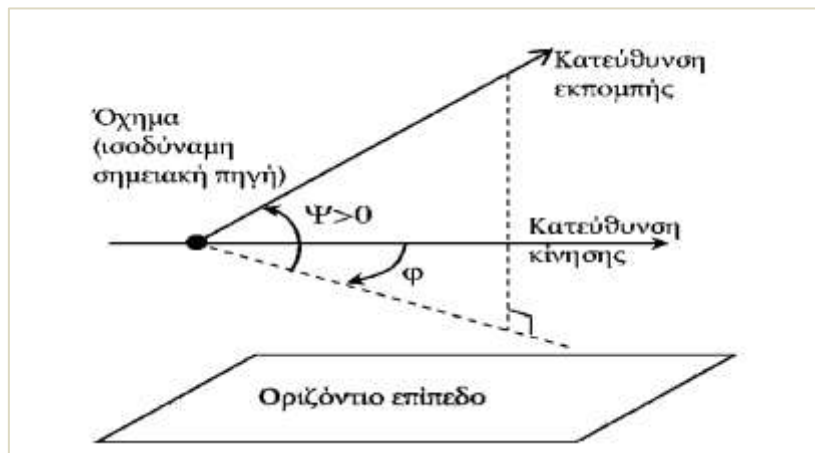
$$L_{w,o,dir,i}(\psi,\varphi) = L_{w,o,i} + \Delta L_{w,dir,vert,i} + \Delta L_{w,dir,hor,i} \quad (3.4.4.)$$

Όπου,

$\Delta L_{w,dir,vert,i}$ είναι η συνάρτηση διόρθωσης της κάθετης κατευθυντικότητας (αδιάστατη) του ψ

$\Delta L_{w,dir,hor,i}$ είναι η συνάρτηση διόρθωσης της οριζόντιας κατευθυντικότητας (αδιάστατη) του φ (επόμενο σχήμα)

Και όπου το $L_{w,0,dir,i}(\psi,\Phi)$ εκφράζεται, αφού ληφθεί σε τριτοκταβικές ζώνες, σε οκταβικές ζώνες, με την ενεργητική πρόσθεση κάθε σχετικής τριτοκταβικής ζώνης στην αντίστοιχη οκταβική ζώνη.



Σχήμα[3.4.2.α]: Κατευθυντικότητα πηγής

Για τους σκοπούς των υπολογισμών, η ισχύς της πηγής εκφράζεται συγκεκριμένα από την άποψη της κατευθυντικής ηχητικής ισχύος ανά 1 m τροχιάς LW',tot,dir,i για να ληφθεί υπόψη η κατευθυντικότητα των πηγών στην κάθετη και οριζόντια κατεύθυνση, μέσω των συμπληρωματικών διορθώσεων. Εξετάζονται αρκετές $LW,0,dir,i$ (ψ , φ)

για κάθε συνδυασμό οχήματος — τροχιάς — ταχύτητας — συνθηκών λειτουργίας:

- για 1/3 τριτοκταβικές ζώνες συχνοτήτων (i)
- για κάθε τμήμα τροχιάς (j)
- ύψος πηγής (h) (για πηγές στα 0,5 m $h = 1$, στα 4,0 m $h = 2$)
- κατευθυντικότητα (d) της πηγής Εξετάζεται ένα σύνολο $LW,0,dir,i$ (ψ , φ) για κάθε συνδυασμό οχήματος — τροχιάς — ταχύτητας — συνθηκών λειτουργίας, για κάθε τμήμα τροχιάς, για τα ύψη που αντιστοιχούν σε $h = 1$ και $h = 2$ και για την κατευθυντικότητα.

Θόρυβος κύλισης

Η συνεισφορά του οχήματος και η συνεισφορά της τροχιάς στον θόρυβο κύλισης διαχωρίζονται τώρα σε τέσσερα ουσιώδη στοιχεία: την τραχύτητα των τροχών, την τραχύτητα της σιδηροτροχιάς, τη συνάρτηση μετάδοσης του οχήματος στους τροχούς και στην υπερκατασκευή (θάλαμοι), και τη συνάρτηση μετάδοσης τροχιάς. Η τραχύτητα των τροχών και της σιδηροτροχιάς αναπαριστούν την αιτία πρόκλησης των κραδασμών στο σημείο επαφής μεταξύ της τροχιάς και του τροχού, ενώ οι συναρτήσεις μετάδοσης είναι δύο εμπειρικές ή μοντελοποιημένες συναρτήσεις που αναπαριστούν το σύνολο των περίπλοκων φαινομένων των μηχανικών κραδασμών και της παραγωγής ήχου στις επιφάνειες του τροχού, της τροχιάς, του στρωτήρα και της υποδομής της τροχιάς. Ο

διαχωρισμός αυτός αντικατοπτρίζει τα υλικά στοιχεία που αποδεικνύουν ότι η τραχύτητα που υφίσταται σε μια σιδηροτροχιά δύναται να προκαλέσει κραδασμούς στην σιδηροτροχιά, αλλά και κραδασμούς στον τροχό και αντιστρόφως. Η παράλειψη μίας από αυτές τις τέσσερις παραμέτρους θα εμπόδιζε την αποσύνδεση της ταξινόμησης των σιδηροτροχιών και των αμαξοστοιχιών.

Τραχύτητα τροχών και σιδηροτροχιάς

Ο θόρυβος κύλισης προκαλείται κυρίως από την τραχύτητα των τροχών και της σιδηροτροχιάς στο εύρος μήκους κύματος από 5 έως 500 mm.

Ορισμός

Η στάθμη τραχύτητας L_r ορίζεται ως το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογαρίθμου του τετραγώνου της μέσης τετραγωνικής τιμής r_2 της τραχύτητας της επιφάνειας κύλισης μιας σιδηροτροχιάς ή ενός τροχού στην κατεύθυνση της κίνησης (επίμηκες επίπεδο), μετρούμενη σε m επί ορισμένου μήκους σιδηροτροχιάς ή επί της συνολικής διαμέτρου του τροχού, διαιρούμενη διά του τετραγώνου της τιμής αναφοράς r_{20} :

$$L_T = 10 \log \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \text{ dB} \quad (3.4.5)$$

Όπου,

$r_0 = 1 \mu\text{m}$ r = πραγματική τιμή της διαφοράς κάθετης μετατόπισης της επιφάνειας επαφής με το μέσο επίπεδο

Η στάθμη τραχύτητας L_r λαμβάνεται συνήθως ως φάσμα μήκους κύματος λ και μετατρέπεται σε φάσμα συχνοτήτων $f = v/\lambda$, όπου f είναι η κεντρική ζώνη συχνοτήτων μιας δεδομένης τριτοκταβικής ζώνης σε Hz, λ είναι το μήκος κύματος σε m, και v είναι η ταχύτητα της αμαξοστοιχίας σε km/h. Το φάσμα τραχύτητας ως συνάρτηση της συχνότητας μετατοπίζεται κατά μήκος του άξονα συχνότητας όταν διαφέρουν οι ταχύτητες. Σε γενικές περιπτώσεις, μετά τη μετατροπή του φάσματος συχνοτήτων βάσει της ταχύτητας, είναι αναγκαία η λήψη νέων τιμών φασμάτων τριτοκταβικών ζωνών που αποτελούν τον μέσο όρο μεταξύ δύο αντίστοιχων τριτοκταβικών ζωνών στο πεδίο του μήκους κύματος. Για να αξιολογηθεί το φάσμα συχνοτήτων της συνολικής πραγματικής τραχύτητας που αντιστοιχεί στην κατάλληλη ταχύτητα της αμαξοστοιχίας, υπολογίζεται ενεργητικά και αναλογικά ο μέσος όρος των δύο αντίστοιχων τριτοκταβικών συχνοτήτων που ορίζονται στο πεδίο μήκους κύματος.

Η στάθμη τραχύτητας της σιδηροτροχιάς (τραχύτητα σιδηροτροχιάς) για την i -οστή περιοχή κυματικών αριθμών ορίζεται ως $L_{r,TR,i}$

Κατ' αναλογία, η στάθμη τραχύτητας τροχού (τραχύτητα οχήματος) για την i -οστή περιοχή κυματικών αριθμών ορίζεται ως $L_{r,VEH,i}$

Η συνολική και πραγματική στάθμη τραχύτητας για την περιοχή κυματικών αριθμών i ($L_{r,tot,i}$) ορίζεται ως το άθροισμα ενέργειας για τις στάθμες τραχύτητας της σιδηροτροχιάς και των τροχών συν το φίλτρο επαφής $A_3(\lambda)$ προκειμένου να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο φιλτραρίσματος του σημείου επαφής μεταξύ της τροχιάς και του τροχού, και είναι σε dB

$$L_{ROT,I} = 10 \log \left(10^{L_{r,TR,i}/10} + 10^{L_{r,VEH,i}/10} \right) + A_{3,i} \quad (3.4.6.)$$

όταν εκφράζεται ως συνάρτηση της i -οστής περιοχής κυματικών αριθμών που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος λ .

Το φίλτρο επαφής εξαρτάται από τον τύπο της τροχιάς και του τροχού και από το φορτίο.

Στην εν λόγω μέθοδο χρησιμοποιείται η συνολική πραγματική τραχύτητα για το j -οστό τμήμα της τροχιάς και για κάθε τύπο οχήματος t για την αντίστοιχη ταχύτητα v .

Συνάρτηση μετάδοσης οχήματος, τροχιάς και υπερκατασκευής

Ορίζονται τρεις συναρτήσεις μετάδοσης που είναι ανεξάρτητες από την ταχύτητα: η $L_{H,TR,i}$, η $L_{H,VEH,i}$ και η $L_{H,VEH,SUP,i}$: η πρώτη για κάθε j-οστό τμήμα της τροχιάς και οι άλλες δύο για κάθε τύπο οχήματος t. Αυτές συσχετίζουν τη συνολική πραγματική στάθμη τραχύτητας με την ηχητική ισχύ της σιδηροτροχιάς, των τροχών και της υπερκατασκευής, αντίστοιχα.

Η συνεισφορά της υπερκατασκευής εξετάζεται μόνο για τις φορτάμαξες και, ως εκ τούτου, μόνο για οχήματα τύπου «α».

Για τον θόρυβο κύλισης, συνεπώς, η συνεισφορά της τροχιάς και η συνεισφορά του οχήματος περιγράφονται πλήρως από τις εν λόγω συναρτήσεις μετάδοσης και με τη συνολική πραγματική στάθμη τραχύτητας. Όταν μια αμαξοστοιχία βρίσκεται σε λειτουργία βραδυπορίας, ο θόρυβος κύλισης πρέπει να αποκλειστεί.

Για την ηχητική ισχύ ανά όχημα ο θόρυβος κύλισης υπολογίζεται στο ύψος του άξονα και λαμβάνει ως δεδομένα τη συνολική πραγματική στάθμη τραχύτητας $L_{R,TOT,i}$ ως συνάρτηση της ταχύτητας του οχήματος v, τις συναρτήσεις μετάδοσης τροχιάς, οχήματος και υπερκατασκευής $L_{H,TR,i}$, $L_{H,VEH,i}$ και $L_{H,VEH,SUP,i}$, και τον συνολικό αριθμό αξόνων N_a :

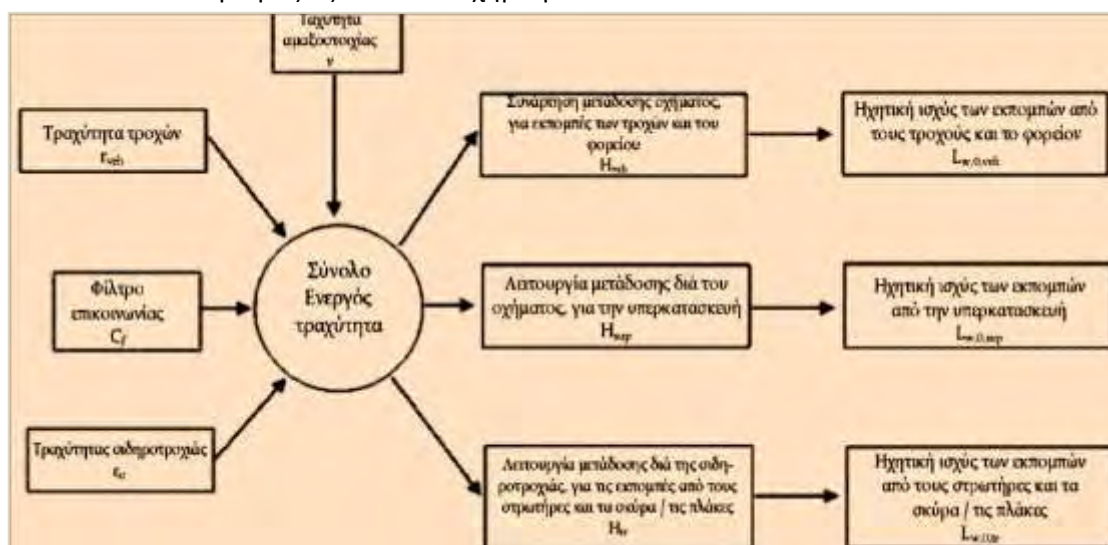
για $h = 1$:

$$L_{w,o,TR,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,TR,i} + 10\log(N_a) \quad (3.4.7.)$$

$$L_{w,o,VEH,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEH,i} + 10\log(N_a) \quad (3.4.8)$$

$$L_{w,o,VEHSUP,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEHSUP,i} + 10\log(N_a) \quad (3.4.9)$$

όπου N_a είναι ο αριθμός αξόνων ανά όχημα για τον t-οστό τύπο



Σχήμα[3.4.2.β,]: Πρότυπο χρήσης των διαφόρων ορισμών των συναρτήσεων τραχύτητας και μεταφοράς οχήματος.

Χρησιμοποιείται ελάχιστη ταχύτητα 50 km/h (30 km/h μόνο για τραμ και υπόγειο σιδηρόδρομο ελαφρού τύπου) για τον καθορισμό της συνολικής πραγματικής τραχύτητας και, ως εκ τούτου, της ηχητικής ισχύος των οχημάτων (η ταχύτητα αυτή δεν επηρεάζει τον υπολογισμό της ροής οχημάτων) προκειμένου να αντισταθμιστεί το δυνητικό σφάλμα που εισάγεται από την απλοποίηση του ορισμού του θορύβου κύλισης, του ορισμού του θορύβου πέδησης και του ορισμού του κτυπογενούς θορύβου από διασταυρώσεις και αλλαγές τροχιάς.

Κτυπογενής θόρυβος (διασταυρώσεις, αλλαγές τροχιάς και διακλαδώσεις)

Ο κτυπογενής θόρυβος δύναται να προκληθεί από διασταυρώσεις, αλλαγές τροχιάς και αρμούς της σιδηροτροχιάς ή κλειδιά. Μπορεί να διαφέρει σε μέγεθος και μπορεί να κυριαρχεί επί του θορύβου κύλισης. Ο κτυπογενής θόρυβος εξετάζεται για τροχιές με αρμούς. Θα πρέπει να αποφεύγεται η μοντελοποίηση για τον κτυπογενή θόρυβο που προκαλείται από αλλαγές τροχιάς, διασταυρώσεις και αρμούς σε τμήματα τροχιάς με ταχύτητα μικρότερη από 50 km/h (30 km/h μόνο για τραμ και υπόγειο σιδηρόδρομο ελαφρού τύπου), δεδομένου ότι η ελάχιστη ταχύτητα των 50 km/h (30 km/h μόνο για τραμ και υπόγειο σιδηρόδρομο ελαφρού τύπου) χρησιμοποιείται για να συμπεριλάβει περισσότερες επιδράσεις σύμφωνα με την περιγραφή του κεφαλαίου για τον θόρυβο κύλισης. Η μοντελοποίηση του κτυπογενούς θορύβου πρέπει να αποφεύγεται υπό συνθήκες κύλισης $c = 2$ (λειτουργία βραδυπορίας).

Ο κτυπογενής θόρυβος περιλαμβάνεται στον θόρυβο κύλισης (ενέργεια) με την προσθήκη συμπληρωματικής πλασματικής στάθμης κτυπογενούς τραχύτητας στη συνολική πραγματική στάθμη τραχύτητας σε κάθε συγκεκριμένο j -οστό τμήμα της τροχιάς στο οποίο υφίσταται. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται νέα $LR_{TOT} + IMPACT,i$ αντί της LR_{TOT} , i και τότε αυτή ισούται με

$$LR_{TOT} + IMPACT,i = 10 \log (10^{LR_{TOT}, \frac{i}{10}} + 10^{LR_{IMPACT}, \frac{i}{10}}) \quad (3.4.10)$$

$LR_{IMPACT,i}$ είναι το φάσμα τριτοκταβικών ζωνών (ως συνάρτηση της συχνότητας). Για τη λήψη αυτού του φάσματος συχνοτήτων, δίνεται ένα φάσμα ως συνάρτηση του μήκους κύματος λ και μετατρέπεται στο απαιτούμενο φάσμα ως συνάρτηση της συχνότητας που χρησιμοποιεί τον τύπο $\lambda = v/f$, όπου f είναι η κεντρική συχνότητα της τριτοκταβικής ζώνης σε Hz και v είναι η ταχύτητα του s -οστού οχήματος του t -οστού τύπου οχήματος σε km/h.

Ο κτυπογενής θόρυβος εξαρτάται από την ένταση και τον αριθμό των κύπων ανά μονάδα μήκους ή πυκνότητα αρμών και, ως εκ τούτου, όταν δίνονται πολλαπλοί κύποι, η στάθμη της κτυπογενούς τραχύτητας που χρησιμοποιείται στην ως άνω εξίσωση υπολογίζεται ως εξής:

$$LR_{IMPACT,i} = LR_{IMPACT-SINGLE,i} + 10 \log \left(\frac{n1}{0.01} \right) \quad (3.4.9.)$$

όπου $LR_{IMPACT-SINGLE,i}$ είναι η στάθμη κτυπογενούς τραχύτητας όπως δίνεται για έναν μεμονωμένο κύπο και $n1$ είναι η πυκνότητα των αρμών.

Η προεπιλεγμένη στάθμη κτυπογενούς τραχύτητας δίνεται για πυκνότητα αρμών $n1 = 0,01 \text{ m}^{-1}$, δηλαδή έναν αρμό ανά 100 m τροχιάς. Σε περιπτώσεις όπου διαφέρει ο αριθμός των αρμών, γίνεται κατά προσέγγιση υπολογισμός με προσαρμογή της πυκνότητας των αρμών $n1$. Πρέπει να σημειωθεί ότι, κατά τη μοντελοποίηση της χάραξης και της κατάτμησης της τροχιάς, λαμβάνεται υπόψη η πυκνότητα των σιδηροδρομικών αρμών, δηλαδή ίσως απαιτείται να ληφθεί υπόψη ένα διακριτό τμήμα πηγής για ένα τμήμα της τροχιάς που περιλαμβάνει περισσότερους αρμούς. Η LW_0 της εισφοράς της τροχιάς, του τροχού/φορείου και της υπερκατασκευής αυξάνεται μέσω της $LR_{IMPACT,i}$ για $\pm 50 \text{ m}$ πριν και μετά τον αρμό της σιδηροτροχιάς. Σε περίπτωση σειράς αρμών, η αύξηση αυτή επεκτείνεται μεταξύ -50 m πριν από τον πρώτο αρμό και $+50 \text{ m}$ μετά τον τελευταίο αρμό.

Η δυνατότητα εφαρμογής των εν λόγω φασμάτων ηχητικής ισχύος υποβάλλεται κανονικά σε επιτόπια επαλήθευση.

Όταν πρόκειται για τροχιές με αρμούς, χρησιμοποιείται προεπιλεγμένη τιμή $n1 = 0,01$.

Στριγκλίσματα

Τα στριγκλίσματα στις στροφές αποτελούν ειδική πηγή, που αφορά μόνο τις στροφές και, ως εκ τούτου, έχουν τοπικό χαρακτήρα. Απαιτείται κατάλληλη περιγραφή, καθώς η πηγή αυτή μπορεί να είναι σημαντική. Τα στριγκλίσματα στις στροφές εξαρτώνται γενικά από την καμπυλότητα, τις συνθήκες τριβής, την ταχύτητα της αμαξοστοιχίας και τη γεωμετρία και τη δυναμική του συνόλου «τροχιά-τροχός». Το επίπεδο εκπομπών που πρέπει να χρησιμοποιείται καθορίζεται για στροφές με ακτίνα μικρότερη ή ίση με 500 m, και για πιο κλειστές στροφές και εξόδους κλειδιών με ακτίνα μικρότερη από 300 m. Οι εκπομπές θορύβου θα πρέπει να αφορούν ειδικά κάθε τύπο τροχαίου υλικού, εφόσον ορισμένοι τύποι τροχών και φορείων δύνανται να είναι σημαντικά λιγότερο επιρρεπείς σε στριγκλίσματα σε σύγκριση με άλλους τύπους.

Η δυνατότητα εφαρμογής των εν λόγω φασμάτων ηχητικής ισχύος υποβάλλεται κανονικά σε επιτόπια επαλήθευση, ιδίως για το τραμ.

Εφαρμόζοντας μια απλή προσέγγιση, ο θόρυβος στριγκλίσματος υπολογίζεται με την προσθήκη 8 dB για $R < 300$ m και 5 dB για $300 \text{ m} < R < 500$ m στα φάσματα ηχητικής ισχύος του θορύβου κύλισης για όλες τις συχνότητες. Η συνεισφορά του θορύβου στριγκλίσματος εφαρμόζεται για τμήματα σιδηροδρομικής τροχιάς όπου η ακτίνα βρίσκεται εντός του προαναφερθέντος εύρους τιμών τουλάχιστον για μήκος τροχιάς 50 m.

Θόρυβος έλξης

Μολονότι ο θόρυβος έλξης είναι σε γενικές γραμμές συγκεκριμένος για κάθε χαρακτηριστική κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή για σταθερή ταχύτητα, επιβράδυνση, επιτάχυνση και βραδυπορία, οι μόνες δύο καταστάσεις που μοντελοποιούνται είναι η σταθερή ταχύτητα (που ισχύει και όταν η αμαξοστοιχία επιβραδύνει ή επιταχύνει) και η βραδυπορία. Η μοντελοποιημένη ισχύς πηγής αντιστοιχεί μόνο σε καταστάσεις μέγιστου φορτίου, από τις οποίες προκύπτει το εξής αποτέλεσμα $LW_{0,const,i} = LW_{0,idling,i}$. Επίσης, η $LW_{0,idling,i}$ αντιστοιχεί στη συνεισφορά όλων των υλικών πηγών ενός δεδομένου οχήματος που μπορούν να αποδοθούν σε συγκεκριμένο ύψος. Η $LW_{0,idling,i}$ εκφράζεται ως στατική πηγή θορύβου σε βραδυπορία, για το διάστημα κατά το οποίο διαρκεί η βραδυπορία, και χρησιμοποιείται μοντελοποιημένη ως σταθερή σημειακή πηγή, όπως περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο για τον βιομηχανικό θόρυβο. Εξετάζεται μόνο αν οι αμαξοστοιχίες είναι σε βραδυπορία για διάστημα άνω της 0,5 ώρας.

Είτε μπορούν οι ποσότητες αυτές να ληφθούν από μετρήσεις όλων των πηγών σε κάθε κατάσταση λειτουργίας είτε μπορούν οι μερικές πηγές να χαρακτηριστούν μεμονωμένα, με καθορισμό της εξάρτησής τους από τις παραμέτρους και της σχετικής ισχύος τους. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω μετρήσεων σε όχημα εν στάσει, μεταβάλλοντας τις ταχύτητες άξονα του ελκτικού υλικού, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 3095:2005. Ανάλογα με την περίπτωση, πρέπει να χαρακτηριστούν διάφορες πηγές θορύβου έλξης που ίσως δεν εξαρτώνται όλες άμεσα από την ταχύτητα της αμαξοστοιχίας:

- ο θόρυβος από το σύστημα κίνησης, λόγου χάρη από τους ντιζελοκινητήρες (συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής, των καυσαερίων και του συγκροτήματος κινητήρα), από το σύστημα μετάδοσης με οδοντωτούς τροχούς, από τις ηλεκτρικές γεννήτριες, που εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό στροφών ανά λεπτό (rpm) του κινητήρα, και από ηλεκτρικές πηγές, λόγου χάρη από τους μετατροπείς, που δύνανται να εξαρτώνται κυρίως από το φορτίο,

- ο θόρυβος από ανεμιστήρες και συστήματα ψύξης, που εξαρτάται από τον αριθμό στροφών ανά λεπτό (rpm)· σε ορισμένες περιπτώσεις οι ανεμιστήρες δύνανται να συνδεθούν απευθείας στο σύστημα μετάδοσης,
- διαλείπουσες πηγές, όπως συμπιεστές, βαλβίδες κ.λπ., με χαρακτηριστική διάρκεια λειτουργίας και αντίστοιχη διόρθωση κύκλου λειτουργίας για τις εκπομπές θορύβου.

Δεδομένου ότι οι πηγές αυτές δύνανται να συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε κατάσταση λειτουργίας, ο θόρυβος έλξης πρέπει να καθορίζεται αναλόγως. Η ισχύς πηγής λαμβάνεται από μετρήσεις υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Σε γενικές γραμμές, οι σιδηροδρομικές μηχανές τείνουν να παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση φορτίου, καθώς ο αριθμός των ρυμουλκούμενων οχημάτων, και, ως εκ τούτου, η ισχύς εξόδου, δύνανται να διαφέρουν σημαντικά, ενώ ο καθορισμός του φορτίου είναι καλύτερος για τις αμαξοστοιχίες σταθερής σύνθεσης όπως οι ηλεκτροκίνητες μονάδες (EMU), οι ντιζελοκίνητες μονάδες (DMU) και οι αμαξοστοιχίες υψηλών ταχυτήτων.

Δεν είναι δυνατόν να συνδεθεί εκ των προτέρων η ηχητική ισχύς της πηγής με τα ύψη πηγής, και η επιλογή αυτή εξαρτάται από τον συγκεκριμένο θόρυβο και όχημα που αξιολογείται. Θα πρέπει να διαμορφωθούν στην πηγή A ($h = 1$) και στην πηγή B ($h = 2$).

Αεροδυναμικός θόρυβος

Ο αεροδυναμικός θόρυβος συνδέεται μόνο με υψηλές ταχύτητες άνω των 200 km/h και, ως εκ τούτου, πρέπει πρώτα να επαληθευτεί αν είναι πράγματι απαραίτητος για λόγους εφαρμογής. Εάν οι συναρτήσεις τραχύτητας και μετάδοσης του θορύβου κύλισης είναι γνωστές, είναι δυνατή η παρέκτασή του σε υψηλότερες ταχύτητες και μπορεί να γίνει σύγκριση με τα υφιστάμενα δεδομένα υψηλών ταχυτήτων προκειμένου να εξακριβωθεί αν ο αεροδυναμικός θόρυβος παράγει υψηλότερα επίπεδα. Εάν οι ταχύτητες αμαξοστοιχίας σε δίκτυο κυμαίνονται από 200 km/h έως 250 km/h, σε ορισμένες περιπτώσεις ίσως δεν είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί ο αεροδυναμικός θόρυβος, ανάλογα με τον σχεδιασμό του οχήματος.

Η εισφορά του αεροδυναμικού θορύβου δίνεται ως συνάρτηση της ταχύτητας:

$$L_{W,O,i} = L_{W,O,1,i}(v_o) + \alpha_{1,i} * \log\left(\frac{n}{v_o}\right) dB \text{ για } h=1 \quad (3.4.11)$$

$$L_{W,O,I} = L_{W,O,2,i}(v_o) + \alpha_{2,i} \log\left(\frac{v}{v_o}\right) dB \text{ για } h=2 \quad (3.4.12)$$

Όπου,

v_0 είναι η ταχύτητα στην οποία ο αεροδυναμικός θόρυβος κυριαρχεί και ορίζεται στα 300 km/h

$L_{W,O,1,i}$ είναι ηχητική ισχύς αναφοράς που καθορίζεται από δύο ή περισσότερα σημεία μέτρησης, για πηγές σε γνωστά ύψη πηγής, π.χ. στο ύψος του πρώτου φορείου

$L_{W,O,2,i}$ είναι ηχητική ισχύς αναφοράς που καθορίζεται από δύο ή περισσότερα σημεία μέτρησης, για πηγές σε γνωστά ύψη πηγής, π.χ. στα ύψη της υποδοχής του παντογράφου

$\alpha_{1,i}$ είναι συντελεστής που καθορίζεται από δύο ή περισσότερα σημεία μέτρησης, για πηγές σε γνωστά ύψη πηγής, π.χ. στο ύψος του πρώτου φορείου

$\alpha_{2,i}$ είναι συντελεστής που καθορίζεται από δύο ή περισσότερα σημεία μέτρησης, για πηγές σε γνωστά ύψη πηγής, π.χ. στα ύψη της υποδοχής του παντογράφου.

Κατευθυντικότητα πηγής

Η οριζόντια κατευθυντικότητα $\Delta L_{W,dir,hor,i}$ σε dB δίνεται στο οριζόντιο επίπεδο και δύναται να θεωρηθεί εξ ορισμού ότι αποτελεί δίπολο για τις επιδράσεις από την κύλιση,

τους κτύπους (στους αρμούς των τροχιών κ.λπ.), τα στριγκλίσματα, την πέδηση, τους ανεμιστήρες και τις αεροδυναμικές παραμέτρους, και δίνεται για κάθε i-οστή ζώνη συχνοτήτων ως εξής:

$$\Delta L_{W,dir,hor,i} = 10 \log (0,01 + 0,99 \sin^2 \varphi) \quad (3.4.13)$$

Η κάθετη κατευθυντικότητα $\Delta L_{W,dir,ver,i}$ σε dB δίνεται στο κάθετο επίπεδο για πηγή A ($h = 1$), ως συνάρτηση της κεντρικής ζώνης συχνοτήτων $f_{c,i}$ κάθε i-οστής ζώνης συχνοτήτων, και για $-\pi/2 < \psi < \pi/2$ ως εξής:

$$\Delta L_{W,dir,ver,i} = \left(\frac{40}{3} * \left[\frac{2}{3} * \sin 2\psi - \sin \psi \right] * \log \left[\frac{f_{c,i} + 600}{200} \right] \right) \quad (3.4.14)$$

Για πηγή B ($h = 2$) για την επίδραση του αεροδυναμικού θορύβου

$$\Delta L_{dir,ver,i} = 10 \log (\cos \psi)^2 \quad \psi < 0, \text{ αλλιώς } \Delta L_{dir,ver,i} = 0 \quad (3.4.15)$$

Η κατευθυντικότητα $\Delta L_{dir,ver,i}$ δεν λαμβάνεται υπόψη για πηγή B ($h = 2$) όσον αφορά άλλες επιδράσεις, εφόσον για τις πηγές αυτές θεωρείται ότι η κατευθυντικότητα είναι προς όλες τις κατευθύνσεις (omni-directionality) σε αυτή τη θέση.

Πρόσθετες επιδράσεις

Διόρθωση για δομική ακτινοβολία (γέφυρες και κοιλαδογέφυρες)

Σε περίπτωση που το υπό εξέταση τμήμα της τροχιάς βρίσκεται σε γέφυρα, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη ο πρόσθετος θόρυβος που παράγεται από τους κραδασμούς της γέφυρας λόγω της διέγερσης που προκαλεί η παρουσία της αμαξοστοιχίας. Επειδή δεν είναι εύκολη η μοντελοποίηση των εκπομπών της γέφυρας ως πρόσθετης πηγής εκπομπών, δεδομένων των περίπλοκων σχημάτων των γεφυρών, χρησιμοποιείται η αύξηση του θορύβου κύλισης προκειμένου να ληφθεί υπόψη ο θόρυβος της γέφυρας. Η αύξηση μοντελοποιείται αποκλειστικά και μόνο με την προσθήκη μιας σταθερής αύξησης στην ηχητική ισχύ του θορύβου για κάθε τριτοκταβική ζώνη. Η ηχητική ισχύς μόνο του θορύβου κύλισης τροποποιείται όταν λαμβάνεται υπόψη η διόρθωση, και χρησιμοποιείται η νέα $L_{W,0,rolling-and-bridge,i}$ αντί της $L_{W,0,rolling-only,i}$:

$$L_{W,0,rolling-and-bridge,i} = L_{W,0,rolling-only,i} + C_{bridge} \quad (3.4.14)$$

όπου C_{bridge} είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τον τύπο της γέφυρας, και $L_{W,0,rolling-only,i}$ είναι η ηχητική ισχύς του θορύβου κύλισης σε μια δεδομένη γέφυρα, που εξαρτάται μόνο από το όχημα και τις ιδιότητες της τροχιάς.

Διόρθωση όσον αφορά άλλες πηγές θορύβου σχετικές με τη σιδηροδρομική κίνηση

Ενδέχεται να υφίστανται διάφορες πηγές, όπως αμαξοστάσια, χώροι φόρτωσης/εκφόρτωσης, σταθμοί, κώδωνες, μεγάφωνα σταθμού κ.λπ., οι οποίες σχετίζονται με τον θόρυβο σιδηροδρομικής κυκλοφορίας. Οι πηγές αυτές μπορούν να θεωρηθούν πηγές βιομηχανικού θορύβου (σταθερές πηγές θορύβου).

4.Συγκριτική ανάλυση της NMPB-Routes 96 με την Cnossos-EU(για την οδική κυκλοφορία)

Μεταξύ των δύο μοντέλων υπάρχουν μικρές διαφορές και ως προς τα δεδομένα εκπομπής του θορύβου ,αλλά και ως προς την διάδοση του.

NMPB-ROUTES-96	CNOSSOS-EU
Πεδίο εφαρμογής της μεθόδου Εύρος συχνότητας : 125Hz- 4 kHz	Η μέθοδος παρέχει αποτελέσματα ανά οκταβική ζώνη, από 63 Hz έως 8 000 Hz. Οι υπολογισμοί γίνονται για καθεμία από τις κεντρικές συχνότητες.
Θέση ηχητικών πηγών: η σημειακή πηγή τοποθετείται 0,5 m πάνω από το οδόστρωμα.	Η σημειακή πηγή τοποθετείται 0,05 m πάνω από το οδόστρωμα .
Κατηγορίες οχημάτων: 2 Βαρέα(>3500 kg και ελαφρά<3500 kg)	4 κατηγορίες (ελαφρά ,μεσαία βαρέα ,βαρέα ,μηχανοκίνητα δίκυκλα) Και μία 5 ^η (ανοικτή ,για μελλοντικά αυτοκίνητα π.χ. αυτοκινούμενα)
Κατευθυντική ηχητική ισχύς μιας σημειακής πηγής: Η εξαρτώμενη από τη συχνότητα βασική στάθμη ηχητικής ισχύος L_{Aw_i} , σε dB(A) μιας σύνθετης σημειακής πηγής i, σε ένα δεδομένο διάστημα οκτάβας j, υπολογίζεται από τις επιμέρους τιμές της ηχοστάθμης των ελαφρών και των βαρέων οχημάτων προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο. $L_{Aw_i} = \{ (E_{VL} + 10 \log Q_{VL}) + (E_{PL} + 10 \log Q_{PL}) \} + 20 + 10 \log l_i + R_j$	$L_{W,i,m}$ είναι η κατευθυντική ηχητική ισχύς ενός μεμονωμένου οχήματος $L_{W,i,m(vm)} = 10 \log \left(10^{w_{r,i,m(vm)}} + 10^{L_{wp,i,m(vm)} - 110} \right)$
Συνθήκες αναφοράς: Καμία αναφορά για συνθήκες αναφοράς	<ul style="list-style-type: none"> σταθερή ταχύτητα οχήματος $V_{ref}=70\text{km/h}$ επίπεδη οδός

	<ul style="list-style-type: none"> • θερμοκρασία αέρα $t_{ref} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ • εικονικό οδόστρωμα αναφοράς, αποτελούμενο από μέσο μείγμα πυκνού ασφαλτικού σκυροδέματος 0/11 και σκυρομαστιχικής ασφάλτου 0/11, ηλικίας μεταξύ 2 και 7 ετών, που βρίσκεται σε αντιπροσωπευτική κατάσταση συντήρησης • ξηρό οδόστρωμα • χωρίς ελαστικά επίσωτρα με καρφιά 																		
Θόρυβος κύλισης και προώθησης: δε λαμβάνεται υπόψη ξεχωριστά. Οι τιμές εκπομπών σταθμισμένες ως προς μέση στάθμη θορύβου	Θόρυβος κύλισης, θόρυβος προώθησης λαμβάνονται υπόψη ξεχωριστά. Το επίπεδο ηχητικής ισχύος προκύπτει από το άθροισμα αυτών των δύο.																		
Κλίσεις οδού: Οριζόντιος <2% Ανερχόμενη >2% Κατερχόμενη >2%	<p>Η επίδραση της κλίσης της οδού στον θόρυβο των συστημάτων προώθησης λαμβάνεται υπόψη με διόρθωση $\Delta LWP, grad, m$ που αποτελεί συνάρτηση της κλίσης s (σε %), της ταχύτητας του οχήματος v_m (σε km/h) και της κατηγορίας του οχήματος m.</p> <p>Διαφορετικές τιμές στις κλίσεις των οδών</p> <p>Για $m = 1$: $\Delta LWP, grad, i, m = 1(v_m)$</p> <table> <tr> <td>$\text{Min}(12\%-s)-6\%/1\%$</td> <td>για $s < -6\%$</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>για $-2\% < s < 6\%$</td> </tr> <tr> <td>$[\text{Min}(12\%-s)-2\%/1,5] \cdot v_m / 100$</td> <td>για $s > 2\%$</td> </tr> </table> <p>Για $m=2$: $\Delta LWP, grad, i, m = 2(v_m) =$</p> <table> <tr> <td>$[\text{Min}(12\%-s)-4\%/0.7\%] \cdot (v_m-20) / 100$</td> <td>για $s < -4\%$</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>για $4\% \leq s \leq 0\%$</td> </tr> <tr> <td>$\text{Min}(12\%s) / 1\% \cdot v_m / 100$</td> <td>για $s > 0\%$</td> </tr> </table> <p>Για $m=3$: $\Delta LWP, grad, i, m = 3(v_m)$</p> <table> <tr> <td>$[\text{Min}(12\%-s)-4\%/0.5\%] \cdot (v_m-10) / 10$</td> <td>για $s < -4\%$</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>για $-4\% \leq s \leq 0\%$</td> </tr> <tr> <td>$[\text{Min}(12\%s) / 0.8\%] \cdot v_m / 1$</td> <td>για $s > 0\%$</td> </tr> </table> <p>Για $m=4$ $\Delta LWP, grad, i, m = 4 = 0$</p>	$\text{Min}(12\%-s)-6\%/1\%$	για $s < -6\%$	0	για $-2\% < s < 6\%$	$[\text{Min}(12\%-s)-2\%/1,5] \cdot v_m / 100$	για $s > 2\%$	$[\text{Min}(12\%-s)-4\%/0.7\%] \cdot (v_m-20) / 100$	για $s < -4\%$	0	για $4\% \leq s \leq 0\%$	$\text{Min}(12\%s) / 1\% \cdot v_m / 100$	για $s > 0\%$	$[\text{Min}(12\%-s)-4\%/0.5\%] \cdot (v_m-10) / 10$	για $s < -4\%$	0	για $-4\% \leq s \leq 0\%$	$[\text{Min}(12\%s) / 0.8\%] \cdot v_m / 1$	για $s > 0\%$
$\text{Min}(12\%-s)-6\%/1\%$	για $s < -6\%$																		
0	για $-2\% < s < 6\%$																		
$[\text{Min}(12\%-s)-2\%/1,5] \cdot v_m / 100$	για $s > 2\%$																		
$[\text{Min}(12\%-s)-4\%/0.7\%] \cdot (v_m-20) / 100$	για $s < -4\%$																		
0	για $4\% \leq s \leq 0\%$																		
$\text{Min}(12\%s) / 1\% \cdot v_m / 100$	για $s > 0\%$																		
$[\text{Min}(12\%-s)-4\%/0.5\%] \cdot (v_m-10) / 10$	για $s < -4\%$																		
0	για $-4\% \leq s \leq 0\%$																		
$[\text{Min}(12\%s) / 0.8\%] \cdot v_m / 1$	για $s > 0\%$																		
Μοντέλα διάδοσης : 2 περιπτώσεις Η εξασθένηση υπολογίζεται υπό ευνοϊκές και ομοιογενείς συνθήκες.	<p>4 περιπτώσεις (Cnossos). Μόνο οι εξασθενήσεις που οφείλονται στην επίδραση του εδάφους (Aground) και στην περίθλαση (Adif) επηρεάζονται από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Η εξασθένηση υπολογίζεται υπό</p> <ul style="list-style-type: none"> • ευνοϊκές συνθήκες • ομοιογενείς συνθήκες • πιθανότητα ύπαρξης ευνοϊκών συνθηκών • υπολογισμός της μακροπρόθεσμης ηχοστάθμης για κάθε διαδρομή 																		

	<p>3 περιπτώσεις στην 2015/996. Σε κάθε διαδρομή διάδοσης:</p> <ul style="list-style-type: none"> • υπολογισμός της εξασθένησης υπό ευνοϊκές συνθήκες, • υπολογισμός της εξασθένησης υπό ομοιογενείς συνθήκες, • υπολογισμός της μακροπρόθεσμης ηχοστάθμης για κάθε διαδρομή
<p>Ηχητική απορρόφηση του εδάφους :</p> <p>Ο συντελεστής ηχητικής απορρόφησης παίρνει δύο τιμές. $G_{\text{trajet}}=0$ ή 1</p>	<p>Η ακουστική απορρόφηση του εδάφους αναπαριστάται από έναν αδιάστατο συντελεστή G, μεταξύ του 0 και του 1. ($0 < G < 1$)</p>
<p>Υπολογισμός επίδρασης εδάφους στις ευνοϊκές συνθήκες:</p> <p>Η εξασθένηση λόγω της επίδρασης του εδάφους σε ευνοϊκές συνθήκες στο σύνολο της διαδρομής διάδοσης δίνεται από τη σχέση :</p> $A_{\text{sol},F} = A_{s,F} + A_{m,F} + A_{r,F}$ <p>,όπου $A_{s,F}$, $A_{m,F}$, $A_{r,F}$ είναι οι εξασθενήσεις λόγω της επίδρασης του εδάφους κοντά στην πηγή, στην ενδιάμεση ζώνη και κοντά στον δέκτη αντίστοιχα, υπολογισμένες σύμφωνα με τον πίνακα στη συνέχεια (προσαρμοσμένες σε αυτές του προτύπου ISO 9613-2)</p>	<p>Υπολογίζεται με βάση την εξίσωση $A_{\text{ground},H}$ (εξασθένηση σε ομοιογενείς συνθήκες</p> $A_{\text{ground},h} = \max \left(-10 \lg \left[\frac{4k^2}{2 \left(z_s^2 - \sqrt{\frac{2Cfz_s}{k} + \frac{Cf}{k}} \right) \left(z_r^2 - \sqrt{\frac{2Cfz_r}{k} + \frac{Cf}{k}} \right)} \right], A_{\text{ground},H,\min} \right)$ <p>Εφόσον γίνουν κάποιες τροποποιήσεις στην εξίσωση της $A_{\text{ground},H}$, τα ύψη z_s και z_r αντικαθίστανται από τα $z_s + \delta z_s + \delta z_T$ και $z_r + \delta z_r + \delta z_T$, αντίστοιχα.</p>
<p>Υπολογισμός της διαφοράς διαδρομής υπό ευνοϊκές συνθήκες:</p> <p>Γίνεται μετακίνηση του σημείου A που βρίσκεται στο δεξί τμήμα της ακμής περίθλασης, προς το άνω μέρος της ποσότητας Δh της ακμής περίθλασης</p> 	 <p>Η καμπύλωση των ακτίνων λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της διαφοράς διαδρομής. Υπό ευνοϊκές συνθήκες, θεωρείται ότι οι τρεις καμπύλες ηχητικές ακτίνες SO, OR και SR έχουν την ίδια ακτίνα καμπυλότητας Γ, που ορίζεται από τον τύπο:</p> $\Gamma = \max(1000, 8d)$ <p>Το μήκος της καμπύλης μιας ηχητικής ακτίνας MN ισούται με: $\widehat{MN} = 2\Gamma \arcsin \left(\frac{MN}{2\Gamma} \right)$</p> <p>1^η κ 2^η περίπτωση : $\delta_F = \widehat{SO} + \widehat{OR} - \widehat{SR}$</p> <p>3^η περίπτωση:</p> $\delta_F = 2\widehat{SA} + 2\widehat{AR} - \widehat{SO} - \widehat{OR} - \widehat{SR}$

<p>Σύγκριση βήματος δ: Η μέθοδος εξασφαλίζει τη σύγκριση στην κεντρική συχνότητα των 500 Hz που εκφράζει τη διαφοροποίηση του βήματος δ βάσει της ποσότητας $(-\lambda/20)$ ίση με -0.034μ στα 500 Hz)</p>	<p>Υπολογισμός βήματος για κάθε κεντρική συχνότητα της ζώνης συχνοτήτων.</p>
<p>$\Delta dif(S,R)$ είναι η εξασθένηση που οφείλεται στην περίθλαση μεταξύ της πηγής S και του δέκτη R . Εάν $(40/\lambda)c''\delta \geq -2$ τότε $\Delta dif = 10 \log(3 + (40/\lambda)c''\delta)$</p>	<p>Στον όρο Δdif προστέθηκε ο συντελεστής Ch ,όπου $\max Ch = 1$ (CNOSSOS) $\Delta_{retrodif} = 10Ch \log \left(3 + \frac{40}{\lambda \delta'} \right)$,αν $(40/\lambda)*\delta' \geq -2$,αλλιώς =0</p>
<p>Αν $\Delta dif > 25$: Τότε $\Delta dif = 25$ για περίθλαση σε μια οριζόντια ακμή</p>	<p>$\Delta dif = 25$ για περίθλαση σε οριζόντιο άκρο και μόνο στον όρο Δdif, που εμφανίζεται στον υπολογισμό της Adif. Αυτό το ανώτατο όριο δεν εφαρμόζεται στους όρους της Δdif που παρεμβαίνουν στον υπολογισμό της $\Delta ground$</p>

Πίνακας [4.α]: Παρουσίαση διαφορών μεταξύ των δύο μοντέλων

Διαφορές ως προς τα δεδομένα εκπομπής.

Η μοναδική κατηγορία βαρέων οχημάτων στην NMPB-96 έχει ως ελάχιστο όριο βάρους τα 3500 κιλά .Ωστόσο αυτό το όριο έχει μοιραστεί στις δύο κατηγορίες βαρέων οχημάτων της CNOSSOS(2, 3). Παρακάτω ο πίνακας δείχνει την αντιστοιχία δεδομένων της γαλλικής μεθόδου στην CNOSSOS.

Επίσης στο ευρωπαϊκό μοντέλο οι τιμές εκπομπών δεν είναι Α-σταθμισμένες. Το επίπεδο θορύβου δίνεται από το άθροισμα του θορύβου κύλισης και προώθησης. Αντίθετα το γαλλικό μοντέλο είναι Α-σταθμισμένο ως προς μέση στάθμη θορύβου και η εκπομπή του θορύβου δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του οχήματος.

Διαφορές των μοντέλων ως προς την διάδοση του ήχου

Οι διαφορές μεταξύ των δύο μοντέλων, ως προς το μοντέλο διάδοσης, ουσιαστικά σχετίζονται με τους υπολογισμούς της **επίδρασης του εδάφους** και των **διαφορών στις διαδρομές περίθλασης** στις **ευνοϊκές συνθήκες**. Κατά τα άλλα τα δυο μοντέλα είναι ισοδύναμα.

Επίδραση του εδάφους

Στη γαλλική μέθοδο θορύβου ο υπολογισμός του $A_{sol,F}$ ακολουθεί την ίδια διαδικασία με το πρότυπο ISO 9613-2. Για τον υπολογισμό του εδάφους είναι αναγκαίος ο χωρισμός της διαδρομής σε τρεις ζώνες: πηγή, ενδιάμεση και δέκτη. Και η εξασθένηση δίνεται από τον τύπο

$$A_{sol,F} = A_{s,F} + A_{m,F} + A_{r,F} \quad (2.1.14.)$$

NMPB 96 /Κατηγορία οχημάτων				CNOSSOS -EU /Κατηγορία οχημάτων		
Ελαφρά οχήματα				1		
50% του αριθμού των βαρέων οχημάτων				2		
50% του αριθμού των βαρέων οχημάτων				3		
NMPB-96 Επιφάνεια οδοστρώματος	Διόρθωση στάθμης θορύβου.			CNOSSOS Επιφάνεια οδοστρώματος		
Λιθόστρωτο ανώμαλης υφής	+6 dB			NL11		
Λιθόστρωτο λείας υφής	+3 dB			NL10		
Σκυρόδεμα και κυματοειδής άσφαλτος	+2 dB			NL08		
Λεία άσφαλτος	+0 dB			NL05		
Πορώδες οδόστρωμα	-1 έως -3 dB			NL13		

Πίνακας [4.β]:Μετατροπή δεδομένων από NMPB-96 στην CNOSSOS.(Paviotti, Shilton, Jones, & Jones, 2015)

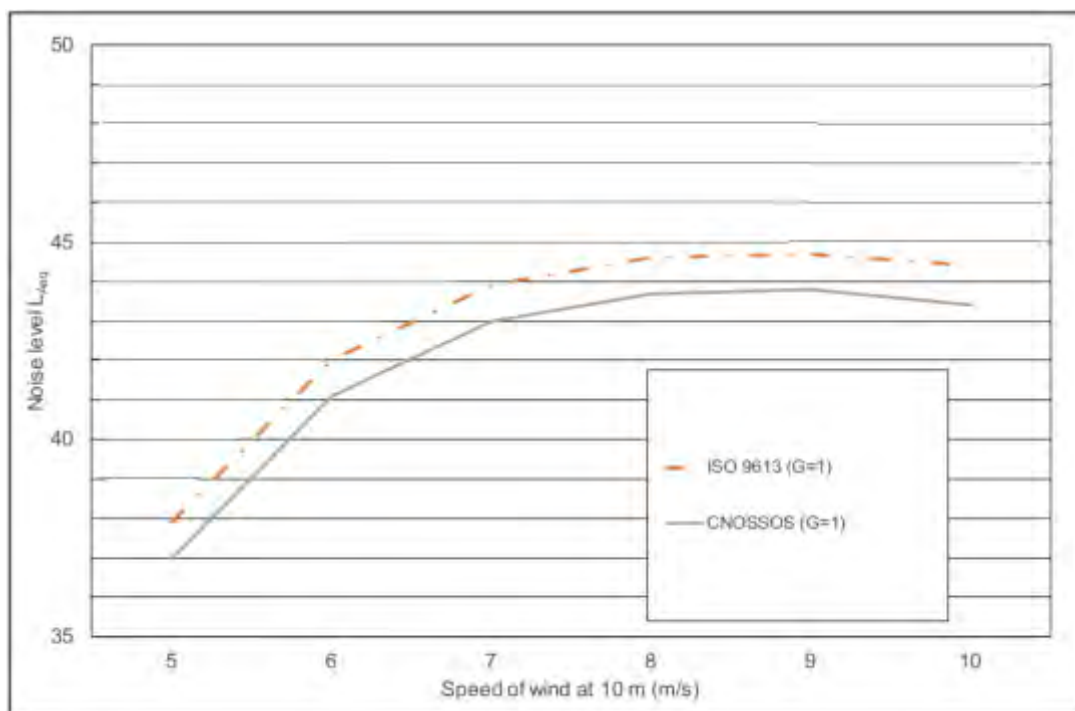
Αντίθετα η CNOSSOS διακρίνει δύο ζώνες ,αυτή του δέκτη και αυτή της πηγής .Ο υπολογισμός της Aground,F γίνεται με βάση τον υπολογισμό της Aground,H, τα ύψη zs και zr αντικαθίστανται από τα zs + δ zs + δ zT και zr + δ zr + δ zT, αντίστοιχα, όπου

$$\delta z_s = a_o \left(\frac{zs}{zs + zr} \right)^2 * dp^2 / 2 \quad (3.3.15)$$

$$\delta z_r = a_o \left(\frac{zr}{zs + zr} \right)^2 * dp^2 / 2 \quad (3.3.16)$$

Διαδρομές περίθλασης

Στην CNOSSOS υπό ευνοϊκές συνθήκες, θεωρείται ότι οι τρεις καμπύλες ηχητικές ακτίνες SO, OR και SR έχουν την ίδια ακτίνα καμπυλότητας Γ, που ορίζεται από τον τύπο: Γ = max(1 000,8d). Η διαφορά διαδρομής υπολογίζεται με βάση τον υπολογισμό των καμπυλών



Σχήμα [4.α]: Επίπεδα θορύβου L_{Aeq} , υπό συνθήκες ανέμου, υπολογισμένα με τα δύο διαφορετικά μοντέλα και για $G=1$.

Αντίθετα στη γαλλική μέθοδο γίνεται με τη μετακίνηση του σημείου που βρίσκεται στο τμήμα της ακμής περίθλασης προς τα άνω και με τον υπολογισμό στη συνέχεια ευθυγράμμων τμημάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα έρευνας που έγινε στη πόλη του Τρέντο για τη στρατηγική χαρτογράφηση του θορύβου. Αυτή έγινε σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της 2002/49/ΕΚ.

Τοποθεσία	Περιγραφή	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
1 Via bolzano	Κύρια οδός, 2 λωρίδες	-1,2	-0,4	-1,2	-0,5
2 Viale verona	Κύρια αστική, 2 λωρίδες, 2 κατευθύνσεις	1,6	0,9	1,6	1,1
3 Via san vito	Αστική οδός, 2 λωρίδες, 2 κατευθύνσεις	1,4	1	1,4	0,7
4 strada delle noveline	Υπεραστική οδός	1,9	1,7	1,9	1,2

Πίνακας [4.γ]: Απόκλιση μεταξύ μετρήσεων και εκτίμησης με XPS31-133 (Cicoira, Gerola, Clementel, & Scaramuzza, 2016)

Στη συνέχεια έγινε η πρόβλεψη των δεικτών με τη νέα ευρωπαϊκή μέθοδο.

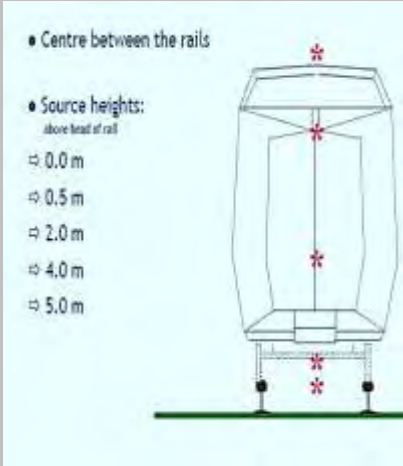
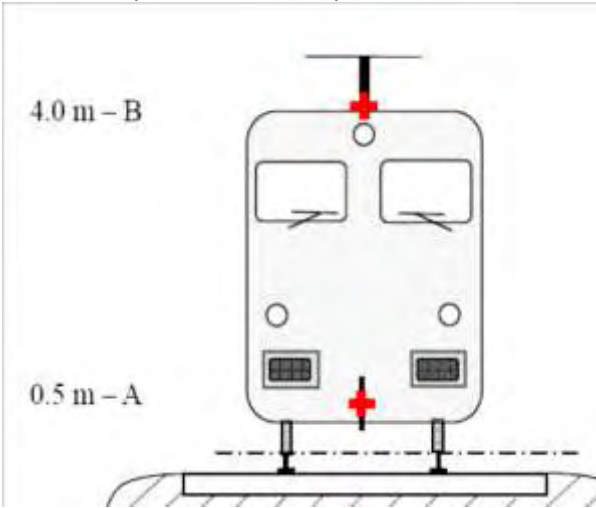
Τοποθεσία	Περιγραφή	Lday	Levening	Lnight	Lden
1 Via bolzano	Κύρια οδός,2 λωρίδες	-2,5	-3,1	-2,2	-2,6
2 Viale verona	Κύρια αστική.2 λωρίδες,2 κατευθύνσεις	-2,9	-3,20	-3	-3
3 Via san vito	Αστική οδός,2 λωρίδες,2 κατευθύνσεις	-4,1	-3,9	-5	-4,4
4 strada delle noveline	Υπεραστική οδός	-1,8	-2	-3,5	-2,3

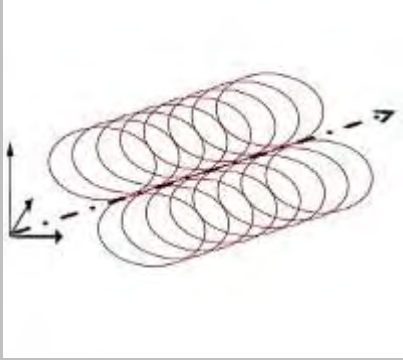
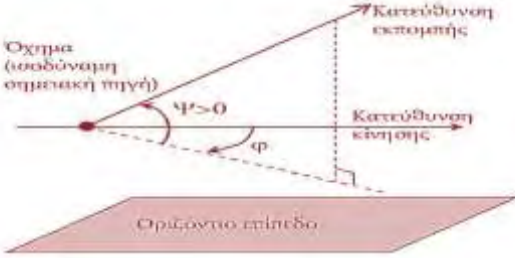
Πίνακας[4.6]: Απόκλιση μεταξύ μετρήσεων και εκτίμησης με CNOSSOS-EU (Cicoira et al., 2016)

Όπως φαίνεται από το παράδειγμα, η XPS31-133 υπερεκτιμά, με μέγιστη απόκλιση +2 dB (Lden), ενώ η CNOSSOS υπό-εκτιμά με μέγιστη απόκλιση αυτής των -5 dB (Lden). Οι μετρήσεις αυτής της έρευνας έδειξαν σημαντικές αποκλίσεις σε εύρος -1 μέχρι -5 db. Αυτό σημαίνει ότι με την εφαρμογή της CNOSSOS θα μειωθεί σημαντικά ο αριθμός των εκτιθέμενων ατόμων στο θόρυβο.

5. Συγκριτική ανάλυση της SRM -II με την Cnossos-EU(για το σιδηροδρομικό θόρυβο)

Για το σιδηροδρομικό θόρυβο η CNOSSOS παρουσιάζει αρκετές διαφορές με τη μέθοδο των κάτω χωρών ,οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω .

SRM-II	CNOSSOS- Eu
Ζώνη συχνοτήτων: οκτάβα	στο 1/3 οκτάβα
<p>Θέση ηχητικών πηγών: Οι τιμές εκπομπών προσδιορίζονται για 5 διαφορετικά ύψη θέσης ηχητικών πηγών.</p> 	<p>Για τη διάδοση και τις οκτάβες χρησιμοποιούνται 2 ηχητικές πηγές στα 0.5 και στα 4 μ πάνω από τη τροχιά. Οι επιδράσεις του αεροδυναμικού θορύβου συνδέονται με την πηγή στα 0,5 m (που αναπαριστά τα καλύμματα και τα πετάσματα, πηγή Α) και με την πηγή στα 4,0 m (μοντελοποίηση όλης της οροφής και του παντογράφου, πηγή Β- Ο κτυπογενής θόρυβος συνδέεται με την πηγή στα 0,5 m (πηγή Α).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ο θόρυβος στριγκλίσματος συνδέεται με τις πηγές στα 0,5 m (πηγή Α). • Ο θόρυβος από γέφυρες συνδέεται με την πηγή στα 0,5 m (πηγή Α) 
Κατηγορίες οχημάτων: 10	8 κατηγορίες
Μοντέλο διάδοσης: 1(ευνοϊκες συνθήκες)	2 (Η CNOSSOS λαμβάνει σημαντικά υπόψη την ύπαρξη ευνοϊκών και ομοιογενών συνθηκών στη διάδοση του ήχου)

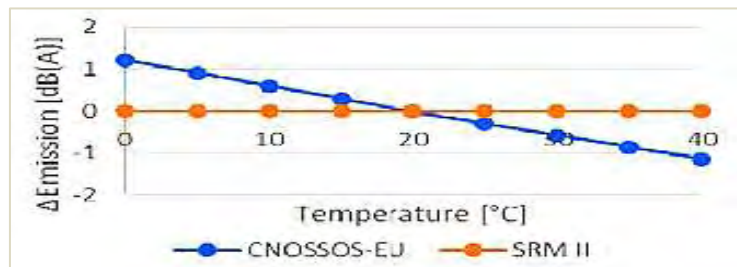
<p>Κατηγορίες ηχητικών πηγών: 3 (θόρυβος κύλισης, αεροδυναμικός, γέφυρες)</p>	<p>5 κατηγορίες (θόρυβος κύλισης, στριγκλίσματα, θόρυβος έλξης, αεροδυναμικός, πρόσθετες επιδράσεις)</p>
<p>Κατευθυντικότητα ήχου:</p> 	 <p>Η ισχύς της πηγής εκφράζεται συγκεκριμένα από την άποψη της κατευθυντικής ηχητικής ισχύος ανά 1 m τροχιάς LW', tot, dir, i για να ληφθεί υπόψη η κατευθυντικότητα των πηγών στην κάθετη και οριζόντια κατεύθυνση, μέσω των συμπληρωματικών διορθώσεων. Εξετάζονται αρκετές $LW, 0, dir, i (\psi, \phi)$ για κάθε συνδυασμό οχήματος - τροχιάς - ταχύτητας - συνθηκών λειτουργίας.</p>
<p>Υπολογισμός μακροπρόθεσμης ηχοστάθμης: Ο υπολογισμός της εξασθένησης λόγω εδάφους στη SRM είναι βασισμένος στη διάδοση ήχου σε συνθήκες ανέμου υπήνεμης πλευράς. Ο συντελεστής διόρθωσης CM διορθώνει σε μακροπρόθεσμες μέσες συνθήκες. $Cm = 3,5 - 35 * (h_{source} + h_{receiver}) / R.$</p>	<p>Η «μακροπρόθεσμη» ηχοστάθμη κατά μήκος μιας διαδρομής που ξεκινά από μια δεδομένη σημειακή πηγή λαμβάνεται από το λογαριθμικό άθροισμα της σταθμισμένης ηχητικής ενέργειας υπό ομοιογενείς συνθήκες και της ηχητικής ενέργειας υπό ευνοϊκές συνθήκες</p> $L_{LT} = 10 \log(p * 10^{L_F/10} + (1-p) * 10^{L_H/10})$

Πίνακας [5.α]: παρουσίαση διαφορών των δύο μοντέλων

Το νέο ευρωπαϊκό μοντέλο είναι στο 1/3 της οκτάβας ,ωστόσο για τη διάδοση και τις οκτάβες χρησιμοποιούνται 2 ηχητικές πηγές στα 0.5 και στα 4 μ πάνω από τη τροχιά. Για το θόρυβο κύλισης, κτυπογενή, στριγκλίσματα και γέφυρας τοποθετείται στα 0,5 μ. και στον θόρυβο έλξης και αεροδυναμικό και στα δύο ύψη.

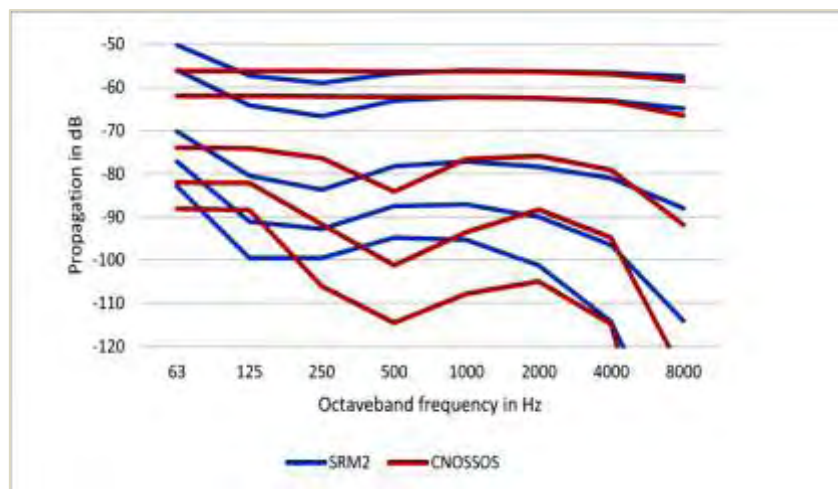
Αρκετά σημαντική είναι η διαφορά πως η CNOSSOS λαμβάνει σημαντικά υπόψη την ύπαρξη ευνοϊκών και ομοιογενών συνθηκών στη διάδοση του ήχου. Στη SRM II η εκπομπή και η στάθμη του θορύβου παραμένουν ίδιες ,ανεξάρτητα μετεωρολογικών συνθηκών. Στην CNOSSOS τα επίπεδα θορύβου μπορεί να είναι διαφορετικά σε διαφορετικές πλευρές

του δρόμου, αν το ποσοστό των ευνοϊκών συνθηκών ποικίλει στις κατευθύνσεις του ανέμου.

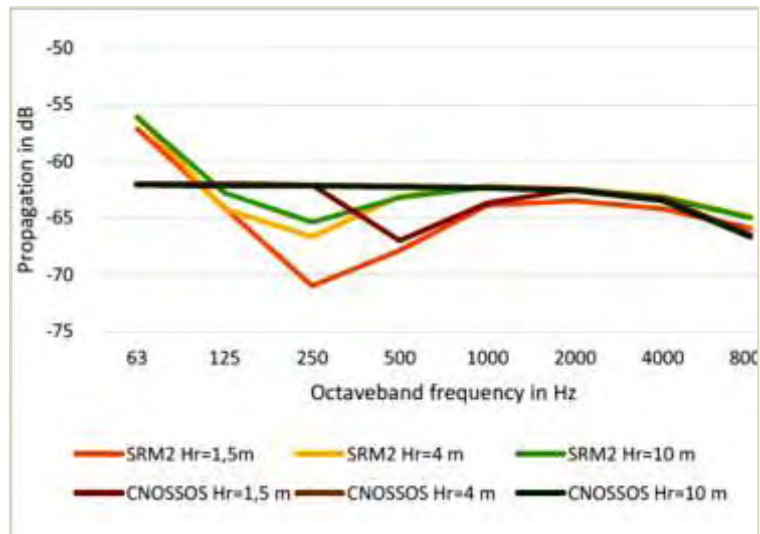


Σχήμα [5.β]: Διαφορές στην εκπομπή των 2 μοντέλων ανάλογα με τη θερμοκρασία. ("IMMI – What ' s new ?," 2018)

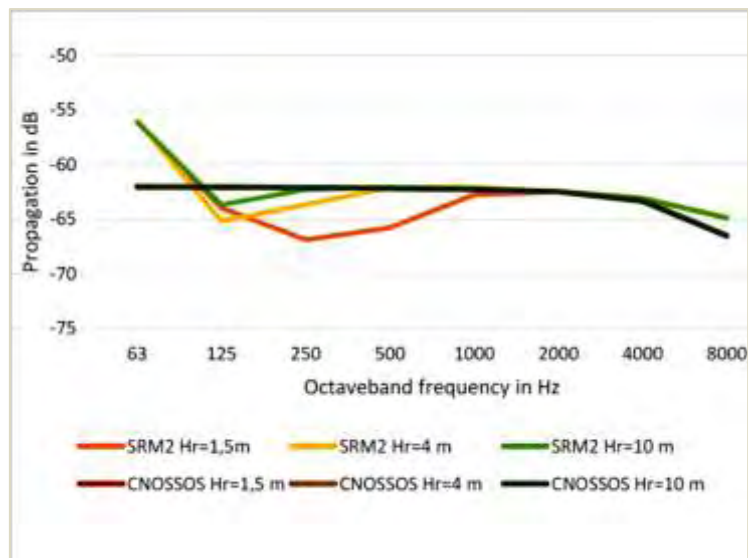
Ο υπολογισμός της εξασθένησης λόγω εδάφους στη SRM είναι βασισμένος στη διάδοση ήχου σε συνθήκες ανέμου υπήνεμης πλευράς. Ο συντελεστής διόρθωσης CM διορθώνει σε μακροπρόθεσμες μέσες συνθήκες. $CM = 3,5 - 35 * (h_{source} + h_{receiver}) / R$. Αντίθετα στην CNOSSOS οι εν λόγω ηχοστάθμες σταθμίζονται βάσει της μέσης εμφάνισης p ευνοϊκών συνθηκών προς την κατεύθυνση της διαδρομής (S,R).



Σχήμα [5.γ]: διάδοση ήχου πηγής στα 0,5 μ, σε μικρόφωνο σε 25, 50, 200, 500, 1000 πάνω από το έδαφος. (Leeuwen, 2016)

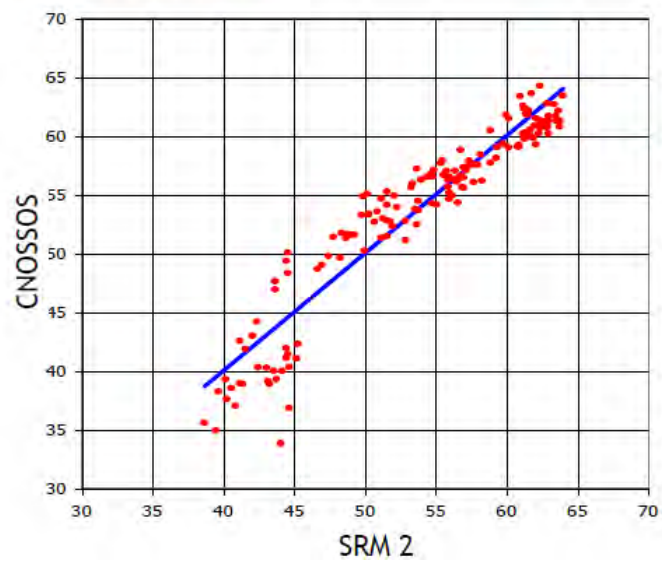


Σχήμα[5.δ]: Διάδοση σε μικρόφωνο στα 500 m (Leeuwen, 2016)



Σχήμα [5.ε]:διάδοση ήχου πηγής σε μικρόφωνο στα 50 m (Leeuwen, 2016)

CNOSSOS - SRM 2



Σχήμα[5.στ]: Σύγκριση μεθόδου CNOSSOS με SRM II (Leeuwen, 2016)

6.Η ανάγκη εξέλιξης της οδηγίας 2002/49/ΕΚ

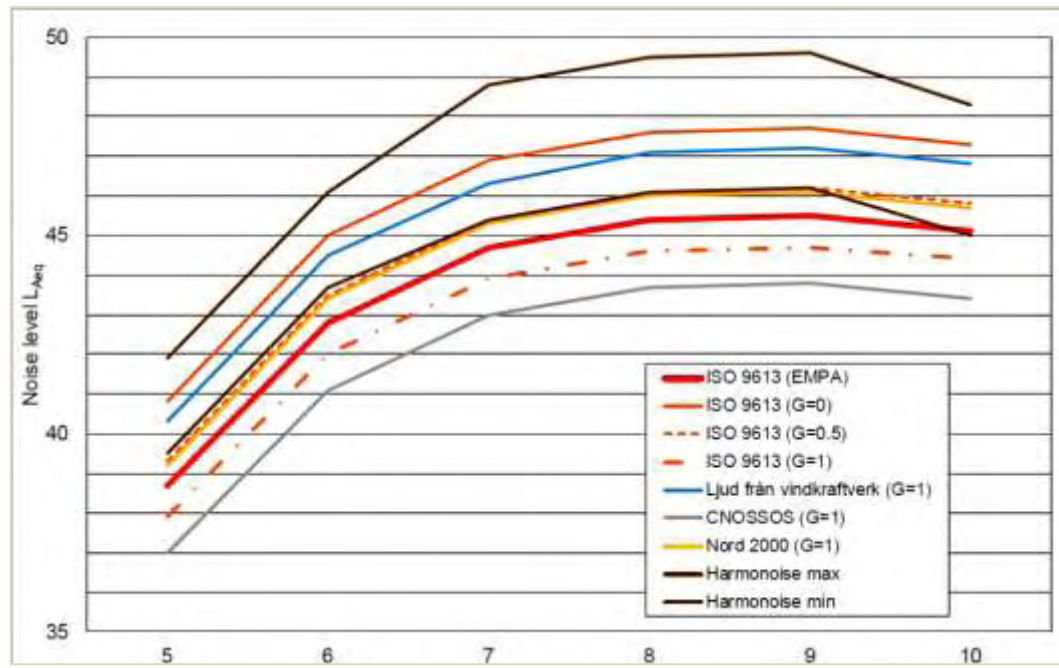
Όπως αναφέρθηκε, οι χάρτες θορύβου χρησιμοποιούνται από τις εθνικές αρμόδιες αρχές για να προσδιορίσουν τις προτεραιότητες και τον προγραμματισμό δράσης, αλλά και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για να αξιολογήσει το επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο σε παγκόσμιο επίπεδο σε ολόκληρη την ΕΕ. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμεύουν επίσης για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με τα επίπεδα του θορύβου στην οποία εκτίθενται, καθώς και για τις δράσεις για τη μείωση της ηχορύπανσης σε ένα επίπεδο που δεν θα είναι επιβλαβής για τη δημόσια υγεία και την περιβάλλον.

Ένα κοινό και εναρμονισμένο πλαίσιο για την αξιολόγηση του θορύβου σε μια κοινή προσέγγιση για την αξιολόγηση των επιπέδων θορύβου στην Ευρώπη, αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής της οδηγίας 2002/49/ΕΚ για τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Αυτό θα βοηθήσει στην απόκτηση συνεκτικών και συγκρίσιμων στοιχείων σχετικά με τον αριθμό των ατόμων που εκτίθενται σε επίπεδα θορύβου και στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτός ακριβώς ήταν και ο σκοπός της δημιουργίας ενός κοινού πλαισίου(CNOSSOS) για όλα τα κράτη.

Στην προσπάθεια αυτή, πριν την cnoossos δημιουργήθηκαν και άλλα πλαίσια γι αυτό το λόγο (Harmonoise/Imagine), τα οποία όμως κρίθηκαν ιδιαίτερα εκτενή και πολύπλοκα στην εφαρμογή τους. Αντίθετα το νέο ευρωπαϊκό μοντέλο χαρακτηρίζεται από ακρίβεια, ευκολία υπολογισμού και απλοϊκότητα.

Το μοντέλο της CNOSSOS αναμένεται να εφαρμοσθεί σχετικά πιο εύκολα ,από τις χώρες που χρησιμοποιούν άλλες εθνικές μεθόδους υπολογισμού.(Nord 2000, CRTN, EMPA, NMPB, RMR). Αυτό φάνηκε και παραπάνω από τη σύγκριση του με το γαλλικό μοντέλο για τον οδικό θόρυβο, όπου η διαφοροποίηση δεν ήταν ιδιαίτερα μεγάλη. Διέφεραν κάποια δεδομένα εκπομπής ,όπως η κατηγοριοποίηση των οχημάτων και το πεδίο εφαρμογής στο εύρος συχνοτήτων. Ως προς τη διάδοση υπήρχε πάλι κοινή πορεία, πέρα από τους υπολογισμούς της εξασθένησης λόγω περίθλασης και λόγω επίδρασης του εδάφους στις ευνοϊκές, μόνο συνθήκες. Μεγαλύτερες διαφορές βέβαια εμφανίστηκαν στη μέθοδο για το σιδηροδρομικό θόρυβο σε σχέση με το ολλανδικό μοντέλο, που ως προς και τα δεδομένα και τον υπολογισμό της διάδοσης υπήρχαν αξιοσημείωτες διαφορές.

Το νέο ευρωπαϊκό μοντέλο φαίνεται να δίνει πιο χαμηλές τιμές σε σχέση με τα άλλα μοντέλα πρόβλεψης.



Σχήμα[6.α]: υπολογισμός LAeq με τις διάφορες μεθόδους. (Desarnaulds, 2017)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Cicoira, P., Gerola, F., Clementel, M., & Scaramuzza, P. (2016). Noise mapping of agglomerations : a comparison of interim standards vs new CNOSSOS-EU method in a real case study, 1356–1366.
- Desarnaulds, V. (2017). Evaluation of wind farm noise in Switzerland – Comparison between measurement and modeling. *7th International Conference on Wind Turbine Noise Rotterdam – 2nd to 5th May 2017 Evaluation*, (May), 1–10.
- IMMI – What ‘s new ? (2018).
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M., & Anfosso-Lédée, F. (2012). *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. <https://doi.org/10.2788/31776>
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M., Anfosso-Lédée, F., Van Maercke, D., Shilton, S., & Jones, N. (2014). Advances in the development of common noise assessment methods in Europe: The CNOSSOS-EU framework for strategic environmental noise mapping. *Science of the Total Environment*, 482–483(1), 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.031>
- Leeuwen, H. J. A. Van. (2016). CNOSSOS-EU Railway noise versus The EU Interim Railway noise Standard Calculation Method II Contents • Introduction • History • Purpose - field of application • Sources • Noise Propagation • Conclusions and recommendations, (October).
- Paviotti, M., Shilton, S. J., Jones, R., & Jones, N. (2015). Conversion of existing railway source data to use CNOSSOS-EU. *EuroNoise 2015*.
- Ε., Ο. 2015, & Επιτροπή. (2015). *ΟΔΗΓΙΑ 2015/996 ΤΗΣ Ε.Ε.*
- Κ. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ. (2012). *ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ&ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ. ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ.*
- Licitra, G. (2012). Noise Mapping in the Eu: Models and Procedures. Retrieved from http://books.google.com.br/books?id=Ra_vqdF3HqsC
- Besnard, F., Lefèvre, H., & Zouboff, V. (2001). Validation and evolution of the road traffic noise prediction model NMPB-96 - Part 1: Comparison between calculation and measurement results, 3–8.
- Of, R., Interim, T. H. E., Computation, N., For, M., Purpose, T. H. E., Strategic, O. F., & Mapping, N. (2001). CALCULATION AND MEASUREMENT GUIDELINES FOR RAIL TRANSPORT NOISE 1996 (ADAPTED TO END) PROPOSED COMPUTATION METHOD FOR STRATEGIC, 1–60.

Kephalopoulos, S., Paviotti, M., Anfosso-Lédée, F., Van Maercke, D., Shilton, S., & Jones, N. (2014). Advances in the development of common noise assessment methods in Europe: The CNOSSOS-EU framework for strategic environmental noise mapping. *Science of the Total Environment*, 482–483(1), 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.031>

Approach, G. (2014). Develop and Implement Harmonised Noise Assessment Methods Process Applied to Establish CNOSSOS-EU / National Method Equivalence for, 1–25.

