

## ***Παραγοντικό μοντέλο πρόβλεψης κυκλοφοριακού θορύβου***

**Ζακυνθινός Τηλέμαχος**

Παν/μιο Πατρών  
Τμ. Μηχ/γων &  
Αεροναυπηγών Μηχ/κων  
tilzak@mech.upatras.gr

**Σ. Πολυχρονόπουλος**

Παν/μιο Πατρών  
Τμ. Μηχ/γων &  
Αεροναυπηγών Μηχ/κων  
spyweirdos@yahoo.gr

**Δημήτρης Σκαρλάτος**

Παν/μιο Πατρών  
Τμ. Μηχ/γων &  
Αεροναυπηγών Μηχ/κων  
skarlat@mech.upatras.gr

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Για τον υπολογισμό του κυκλοφοριακού θορύβου τα υπάρχοντα μοντέλα υπολογίζουν με ακρίβεια τη στάθμη του θορύβου σε κατοικημένες περιοχές. Η ακρίβεια του υπολογισμού της στάθμης στηρίζεται στην ακριβή εκτίμηση ή μέτρηση των παραμέτρων που σχετίζονται με την πρόβλεψη του κυκλοφοριακού θορύβου. Το γεγονός αυτό απαιτεί δαπανηρά όργανα και εξειδικευμένο προσωπικό. Οι παράμετροι που σχετίζονται με τη στάθμη στη φύση τους είναι τυχαίοι και ο ακριβής προσδιορισμός τους δεν αντιπροσωπεύει το θόρυβο δεδομένης περιοχής. Με την εργασία αυτή σχεδιάζεται ένα παραγοντικό μοντέλο το οποίο με ποιοτικές μεταβλητές προσδιορίζει το θόρυβο μιας περιοχής. Το μοντέλο αυτό έχει το πλεονέκτημα της προσεγγιστικής αλλά πιο αντιπροσωπευτικής τιμής του θορύβου σε μία περιοχή ενώ ταυτόχρονα δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και ειδικές συσκευές μέτρησης. Η ακρίβεια της πρόβλεψης κρίνεται ικανοποιητική.

### ***A factorial model for traffic noise prediction***

#### **ABSTRACT**

Traffic noise has been extensively studied. The main problem with traffic noise models is that they are based on analytical expressions, and the predicted level is based on quantitative variables that sometimes are weakly measured. The question arising is how useful is the accurate value of the noise level, if one wants to characterize an area as noisy or not. A new simplified model for traffic noise prediction has been developed. The model predicts 1-hour A-weighted equivalent noise level  $L_{eq}$ , in a simple way by assigning each variable into high, medium or low level. The significance of each variable that affects the traffic noise is also estimated.

## Εισαγωγή

Ο θόρυβος κυκλοφορίας έχει μελετηθεί εκτενώς από το 1952 [1-3]. Οι περισσότερες μελέτες ως δείκτες περιγραφής του θορύβου χρησιμοποιούν τις ποσότητες  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{\max}$ ,  $L_{\text{eq}}$ . Στα κοινοτικά προγράμματα SILVIA και HARMONOISE προτείνεται για την περιγραφή του θορύβου η Α σταθμισμένη ισοδύναμη στάθμη θορύβου  $L_{\text{Aeq,1h}}$  και ο δείκτης  $L_{\text{DEN}}$  [4,5]

Το κύριο πρόβλημα με τα διάφορα μοντέλα είναι ότι αυτά είναι βασισμένα σε αναλυτικές εκφράσεις, και η προβλεπόμενη στάθμη είναι βασισμένη σε ποσοτικές μεταβλητές που μερικές φορές μετρούνται με σημαντικό σφάλμα. Ο χρόνος παρατήρησης (συνήθως 1 ώρα) είναι αρκετά μεγάλος αλλά σε μερικές περιπτώσεις οι αποκλίσεις των μεταβλητών από τις μέσες τιμές που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα είναι σημαντικές.

Τα περισσότερα από τα μοντέλα είναι ακριβή στην πρόβλεψη της στάθμης του θορύβου, αλλά η ακρίβειά τους εξαρτάται από την ακριβή εκτίμηση των μεταβλητών που σχετίζονται με την κυκλοφορία. Η ερώτηση που προκύπτει είναι πόσο χρήσιμη είναι η ακριβής αξία της στάθμης του θορύβου, εάν απλά θέλουμε να χαρακτηρίσουμε μια περιοχή ως θορυβώδη ή όχι. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι μεταβλητές που σχετίζονται με την κυκλοφορία μπορούν να ποικίλουν σημαντικά, η ακρίβεια της πρόβλεψης είναι περιορισμένη.

Σε αυτή την εργασία προκειμένου να υπερνικηθούν αυτά τα προβλήματα, χρησιμοποιήσαμε παραγοντική ανάλυση. Η ακρίβεια της πρόβλεψης είναι χαμηλότερη από τα προηγούμενα πρότυπα αλλά η απλότητα στην εκτίμηση των παραμέτρων κυκλοφορίας είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του προτεινόμενου μοντέλου. Σαν μεταβλητή πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε η Α σταθμισμένη ισοδύναμη στάθμη θορύβου. Κάθε μεταβλητή μετριέται και ορίζεται σε δύο ή περισσότερα επίπεδα (χαμηλή, μέση, υψηλή κ.λπ.)

Η χρήση των μεταβλητών με περιορισμένες στάθμες επιτρέπει στο μοντέλο να περιλάβει και ποιοτικές μεταβλητές που δεν λαμβάνονται υπόψη σε άλλα μοντέλα.

## 1. Μέθοδος

### 1.1 Παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στο θόρυβο κυκλοφορίας

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στον κυκλοφοριακό θόρυβο είναι:

1. Το κυκλοφοριακό φορτίο (q): Γίνεται γενικά αποδεκτό στα περισσότερα μοντέλα γενικά ότι για ένα ευρύ φάσμα των κυκλοφοριακών ροών η ισοδύναμη στάθμη  $L_{\text{eq}}$  είναι λογαριθμική συνάρτηση του κυκλοφοριακού φορτίου (q):

$$L_{\text{eq}} = C \log q \quad (1.1)$$

όπου το q είναι το κυκλοφοριακό φορτίο σε οχήματα ανά ώρα και C είναι μια σταθερά. Κατά τον Delany [6] το C ποικίλλει μεταξύ 7,5 και 11,5, για τους διαφορετικούς τύπους ροών, των αστικών όρων και των κλίσεων. Όμως γενικά μια τιμή  $C = 10$  γίνεται αποδεκτή από τους περισσότερους ερευνητές [4,5].

Για το μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ χρησιμοποιήσαμε πέντε επίπεδα για την κυκλοφοριακή ροή. 1: πολύ χαμηλή ροή (μέχρι 300 οχήματα ανά ώρα), 2: χαμηλή ροή (300-600 οχήματα ανά ώρα), 3: μέση ροή (600-1200 οχήματα ανά ώρα), 4:

υψηλή ροή (1200-2400 οχήματα ανά ώρα) 5: πολύ υψηλή ροή (πάνω από 2400 οχήματα ανά ώρα).

2. Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων (p): Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων έχει μια σημαντική επίδραση στην παραγόμενη στάθμη θορύβου. Πειραματικά στοιχεία του Lewis [7] έδειξαν ότι τα βαρέα οχήματα (μεγαλύτερα από 1500 kg) παράγουν στάθμη θορύβου 5- 10 dB μεγαλύτερη από τα ελαφρά. Για το ποσοστό των βαρέων οχημάτων και της στάθμης θορύβου, μια γενική έκφραση που χρησιμοποιείται σε μερικά μοντέλα είναι:

$$L_{10} = 10 \log\left(1 + \frac{5p}{v}\right) \quad (1.2)$$

όπου p είναι το ποσοστό των βαρέων οχημάτων και v είναι η ταχύτητα. Η κατηγορία ελαφρών οχημάτων περιλαμβάνει μικρά αυτοκίνητα και η κατηγορία βαρέων οχημάτων περιλαμβάνει μεγάλα αυτοκίνητα ή θορυβώδη οχήματα πχ λεωφορεία, βαριά φορτηγά κ.λπ..

Το μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ χρησιμοποιεί τη σύνθεση κυκλοφορίας ως παράγοντα. Αυτός ο παράγοντας ορίζεται για να έχει τρία επίπεδα. 1: χαμηλό ποσοστό των βαρέων οχημάτων (μέχρι 5%), 2: μέσο (5%-15%) και 3: υψηλό ποσοστό (πάνω από 15%).

3. Η μέση ταχύτητα οχημάτων (v): Κατά τον Anderson [4] η μείωση της στάθμης του θορύβου που προκαλείται από τη μείωση κατά 10 Km/h της ταχύτητας είναι μεταξύ 2,1 και 3,7 dB για τα ελαφρά οχήματα και 1,7 έως 2,7 dB για τα βαρέα οχήματα. Πολλοί ερευνητές ορίζουν δύο περιοχές ταχύτητας: μία επάνω από 50 Km/h όπου η κυκλοφοριακή ροή είναι ελεύθερη, και μία κάτω από 50 Km/h όπου η πλειοψηφία των οχημάτων δεν ρέει ελεύθερα.

Γενικά γίνεται αποδεκτό ότι η παραγωγή θορύβου είναι λογαριθμική συνάρτηση της ταχύτητας. Η σχέση μεταξύ της μέγιστης στάθμης του θορύβου και της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

$$L = a + b \log v \quad (1.3)$$

όπου το a και το b είναι οι σταθερές, το b έχει κατά προσέγγιση τιμή 35 και για τα ελαφρά και για τα βαρέα οχήματα.

Στο μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ χρησιμοποιήσαμε έξι επίπεδα για τη ταχύτητα 1: πολύ χαμηλή (μέχρι 25 Km/h) 2: χαμηλή (25-35 Km/h), μέση 3: (35-50 Km/h), 4: υψηλή (50 - 70 Km/h) 5: πολύ υψηλή (70 - 100 Km/h), 6:εθνική οδός (πάνω από 100 Km/h).

4. Η κλίση (g): Στους δρόμους με την κλίση ο οδηγός πρέπει να επιταχύνει ή να χρησιμοποιήσει τα φρένα συχνότερα απ' ότι στους ευθείς δρόμους. Οι μετρήσεις Delany βρήκαν μια αύξηση του θορύβου κατά 0,38 dB(A) ανά 1°. Ένας γενικά αποδεκτός τύπος για την επίδραση της κλίσης στο θόρυβο που χρησιμοποιείται στο μοντέλο CRTN είναι:

$$L = a \cdot g \quad (1.4)$$

όπου το g είναι η κλίση σε μοίρες και a μια σταθερά με τιμές  $a = 3$  για την κίνηση οχημάτων προς τα πάνω και  $a = 2$  για τα οχήματα που κινούνται προς τα κάτω.

Στο μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ χρησιμοποιήσαμε τρεις στάθμες για την κλίση του δρόμου. 1:Μικρή: δρόμοι με μικρή κλίση (0- 2%) 2: Μέση: δρόμοι με

κλίση <2% και κίνηση προς τα κάτω 3: Μεγάλη: δρόμοι με κλίση >2% και κίνηση προς τα επάνω ή και στις δύο κατευθύνσεις.

5. Το έδαφος (r) Η αλληλεπίδραση μεταξύ των ελαστικών αυτοκινήτου και της οδικής επιφάνειας, έχει επιπτώσεις άμεσα στη στάθμη του θορύβου που παράγεται από την κυκλοφορία. Ο θόρυβος που διαδίδεται μεταξύ των ελαστικών των αυτοκινήτων είναι μικρότερος στις πορώδεις επιφάνειες απ' ότι στις πυκνές επιφάνειες. Στο μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ χρησιμοποιήσαμε δυο στάθμες για την επιφάνεια του οδοστρώματος. 1: ήσυχος: όλοι οι δρόμοι με μικρό μέγεθος κόκκων (<11mm) 2: κανονικοί: θορυβώδεις δρόμοι ή δρόμοι με μεγάλο μέγεθος κόκκων.

6. Ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας (l). Η απόσταση του μικροφώνου από τις λωρίδες κυκλοφορίας έχει επίσης μια σημαντική επίδραση στη στάθμη του θορύβου. Αν και στο μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ η στάθμη θορύβου αναφέρεται σε μια σταθερή απόσταση από την πλησιέστερη λωρίδα (7,5 m), στους δρόμους με πολλαπλές λωρίδες η επίδραση της απόστασης κάθε λωρίδας από το σημείο παρατήρησης είναι σημαντική. Οι περισσότεροι ερευνητές υποθέτουν ότι κάθε λωρίδα είναι μια γραμμική πηγή και για την επίδραση της απόστασης χρησιμοποιούν την διόρθωση:

$$\Delta L = 10 \log \frac{d}{d_0} \quad (1.5)$$

όπου το d είναι η απόσταση κάθε λωρίδας από το σημείο παρατήρησης και το d<sub>0</sub> η απόσταση αναφοράς (7,5 m). Στο μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ χρησιμοποιήσαμε δυο στάθμες για τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας. 1: μικρός μέχρι τρεις λωρίδες 2: μεγάλος πάνω από τρεις λωρίδες.

7. Τα περιβάλλοντα κτήρια (b). Η επίδραση μιας πρόσοψης ενός κτηρίου πίσω από το σημείο υποδοχής θα αυξήσει το επίπεδο θορύβου. Σύμφωνα με τον Delany, μέτρηση σε απόσταση 1m από ένα συνεχές τούβλο δείχνει μια αύξηση 2,3 dB (A) στη μετρούμενη στάθμη. Στο μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ χρησιμοποιήσαμε δυο στάθμες για την παρουσία κτηρίων. 1: Ανοικτή περιοχή ή περιοχή με κτήρια σε απόσταση >10 m από το σημείο παρατήρησης 2: Περιοχή με κτήρια σε απόσταση <10 m από το σημείο παρατήρησης.

## 2. Μετρήσεις θορύβου

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην Πάτρα. Για τη συλλογή των μετρήσεων επιλέχθηκαν 20 σημεία στην πόλη, και 5 σημεία στις εθνικές οδούς, που καλύπτουν όλες τις πιθανές τιμές των παραγόντων. Η ποσότητα μέτρησης ήταν η 1 ωριαία A – σταθμισμένη ισοδύναμη στάθμη. Το ηχόμετρο τοποθετήθηκε 7,5 μ μακριά από την πλησιέστερη λωρίδα και τουλάχιστον 6m από οποιαδήποτε ανακλαστική επιφάνεια. Το ηχόμετρο ήταν σε ένα ύψος 1,2 μέτρων επάνω από το έδαφος. Η κατηγορία ταχύτητας οχημάτων υπολογίστηκε με την καταγραφή του χρόνου των οχημάτων που περνούν πέρα από μια γνωστή απόσταση (20 μέτρα). Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό B&K 7815. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς βροχή με μέγιστο αέρα στα 3 m/s.

### 3. Το παραγοντικό μοντέλο

Για την περιγραφή του κυκλοφοριακού θορύβου χρησιμοποιήθηκαν επτά παράγοντες: η πυκνότητα κυκλοφοριακής ροής ( $q$ ), το ποσοστό των βαρέων οχημάτων ( $p$ ), η ταχύτητα των οχημάτων, ( $v$ ) η κλίση του δρόμου ( $g$ ), η επιφάνεια του οδοστρώματος ( $r$ ), ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας ( $l$ ) και η παρουσία κτηρίων ( $b$ ). Κάθε παράγοντας ορίστηκε να έχει από δύο έως έξι στάθμες όπως περιγράφονται παραπάνω.

Το παραγοντικό μοντέλο μπορεί να εκφραστεί με την μορφή:

$$y_{ijlmp} = \mu + q_i + p_j + v_l + g_m + r_n + l_q + b_r + (qp)_{ij} + (qv)_{il} + \dots + (qpv)_{ijl} + \dots + (qpv)_{ijlm} + \dots e_{ijklmp} \quad (3.1)$$

όπου το  $\mu$  είναι η επίδραση γενικού μέσου όρου,

$q_i$  είναι η επίδραση από το  $i^{\text{th}}$  επίπεδο ροής,

$p_j$  είναι η κύρια επίδραση από το  $j^{\text{th}}$  επίπεδο ποσοστού των βαρέων οχημάτων,

$(qp)_{ij}$  είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ της ροής και του ποσοστού,

$(qv)_{il}$  είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ της ροής και της ταχύτητας

$e_{ijklmp}$  είναι το τυχαίο λάθος.

### 4. Ακρίβεια του μοντέλου

Η ταξινόμηση των συνεχών μεταβλητών σε έναν περιορισμένο αριθμό επιπέδων εισάγει πρόσθετα λάθη στην πρόβλεψη. Υποθέτουμε ότι το λάθος κατανέμεται ομοιόμορφα στο διάστημα  $-\Delta x/2$  έως  $\Delta x/2$ , όπου το  $\Delta x$  είναι το εύρος του σφάλματος. Το μέσο σφάλμα για κάθε παράγοντα είναι μηδέν και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι:  $\frac{1}{12} (\Delta x)^2$ .

Το συνολικά σφάλμα λόγω της κατηγοριοποίησης των μεταβλητών είναι:

$$\Delta L_{\max, \text{tot}} = \Delta L_q + \Delta L_p + \Delta L_s + \Delta L_g + \Delta L_r + \Delta L_l + \Delta L_b \quad (4.1)$$

Τα επιμέρους σφάλματα υπολογίζονται ως εξής.

Υποθέτουμε ότι η επίδραση του κυκλοφοριακού φορτίου περιγράφεται από την εξίσωση (1.1). Λόγω του ότι σε κάθε στάθμη η μεγαλύτερη τιμή είναι διπλάσια από την μικρότερη, το εύρος των τιμών της ηχητικής στάθμης θα είναι 3 dB, που αντιστοιχεί σε μέγιστη απόκλιση από την κεντρική τιμή:  $\Delta L_q = \frac{\Delta x}{2} = 1.5 \text{ dB}$ .

Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων σε κάθε κατηγορία θα εισαγάγει ένα λάθος

$$\Delta L = 10 \log \frac{v + 5p_{\max}}{v + 5p_{\min}}$$

όπου  $p_{\max}$  και  $p_{\min}$  είναι το μέγιστο και ελάχιστο ποσοστό των βαρέων οχημάτων μέσα στην ίδια κατηγορία. Για ελάχιστη ταχύτητα 20 Km/h και μέγιστο ποσοστό

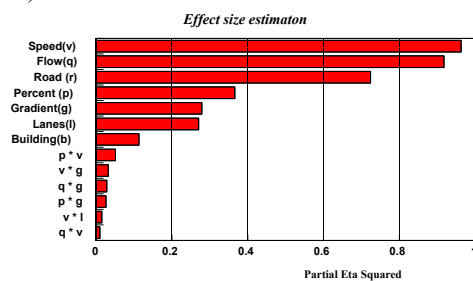
βαρέων οχημάτων 35%, το εύρος των ηχητικών σταθμών στην ίδια κλάση θα είναι 3.5 dB και η μέγιστη απόκλιση από τη μέση τιμή θα είναι  $\Delta L_p = 1.75dB$ .

Ομοίως υπολογίζουμε και τα άλλα λάθη κι έτσι αθροίζοντας όλα τα προαναφερθέντα λάθη, το συνολικό μέγιστο λάθος είναι  $\Delta L_{max,tot} = 11dB$

Αυτό το λάθος που υπολογίζεται θεωρητικά πέρα από τους υπάρχοντες αναλυτικούς τύπους αντιστοιχεί στην πιο ακραία περίπτωση όπου όλοι οι παράγοντες είναι ταυτόχρονα στο ανώτερο ή χαμηλότερο όριο της αντίστοιχης κατηγορίας.

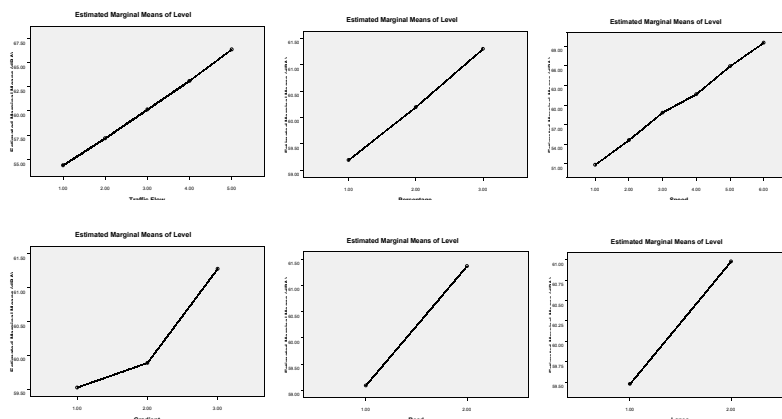
## 5. Αποτελέσματα

Στις μετρήσεις εφαρμόστηκε ένα γραμμικό μοντέλο (GLM). Στο μοντέλο συμπεριλήφθηκαν μόνο οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις πρώτης τάξης, διότι οι αλληλεπιδράσεις υψηλότερης τάξης δεν έχουν σημαντική επίδραση στην απόκριση (βλ σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα Pareto

Το διάγραμμα του pareto στο σχήμα 5.1 παρουσιάζει το μέγεθος της επίδρασης κάθε παράγοντα (όπως προκύπτει από τις τιμές του partial eta squared) κατά φθίνουσα τάξη. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα η ταχύτητα οχημάτων και η κυκλοφοριακή ροή έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στο επίπεδο θορύβου.



Σχήμα 5.2 Διαμόρφωση σελίδας

Το σχήμα 5.2 δίδει τις κύριες επιδράσεις των παραγόντων. Ο πίνακας 5.1 δίνει το εύρος των κυρίων επιδράσεων ανά στάθμη. Όπως προκύπτει από τον πίνακα το μέγιστο μετρηθέν σφάλμα είναι 7.32 dB(A).

Πίνακας 5.1 Σφάλματα μοντέλου

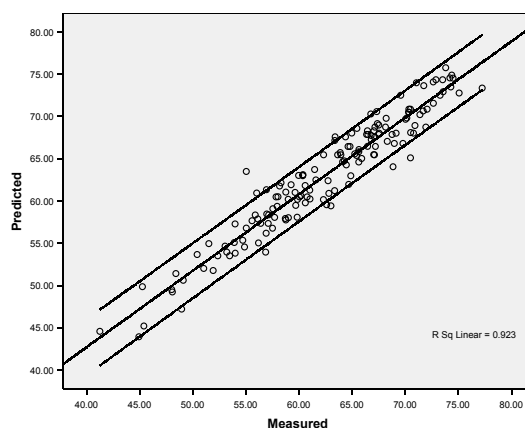
Σταθμες	Παράγοντες						
	(q)	(p)	(v)	(g)	(r)	(l)	(b)
1-2	2.79	1.00	3.77	0.36	2.28	1.50	0.84
2-3	2.97	1.11	4.20	1.39			
3-4	2.95		2.82				
4-5	3.24		4.28				
5-6			3.61				

## 6. Μοντέλο κυκλοφοριακού θορύβου.

Κρατώντας μόνο τους πιο σημαντικούς όρους οι συντελεστές παλινδρόμησης δίνονται στην εξίσωση,

$$L_{A,eq} = 27.43 + 2.98q + 1.06p + 3.71v + 0.87g + 2.28r + 1.50l + 0.86b \quad (6.1)$$

Το διάγραμμα 6.1 συγκρίνει τις τιμές που προβλέπονται από το μοντέλο με τις μετρήσεις.



Σχήμα 6.1 Σύγκριση θεωρητικών δεδομένων με τις μετρήσεις

## 7. Συμπεράσματα

Η παραγοντική ανάλυση έχει χρησιμοποιηθεί για την κατάρτιση ενός νέου απλουστευμένου μοντέλου της πρόβλεψης του κυκλοφοριακού θορύβου. Όλοι οι παράγοντες είναι σε δυο ή περισσότερα επίπεδα και αυτό απλοποιεί το μοντέλο σημαντικά. Η ανάλυση της διασποράς (ANOVA) έδειξε ότι η σημαντικότερη επίδραση στην στάθμη του θορύβου  $L_{eq}$ , έχει η ταχύτητα και η κυκλοφοριακή ροή.

Η εξίσωση παλινδρόμησης που προτείνεται από το μοντέλο είναι δυνατή, με έναν εύκολο τρόπο να βρεθεί ο θόρυβος μιας δεδομένης περιοχής δίδοντας απλά το χαρακτηρισμό υψηλό - μέσο - χαμηλό για τις παραμέτρους που χρησιμοποιήσαμε.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του μοντέλου είναι:

1. Το μοντέλο δεν χρειάζεται ακριβή όργανα ή ειδικούς, δεδομένου ότι απαιτείται μια κατά προσέγγιση εκτίμηση των παραμέτρων κυκλοφορίας.

2. Η εκτιμώμενη στάθμη του θορύβου είναι λιγότερο ευαίσθητη στις μικρές αλλαγές των παραμέτρων κυκλοφορίας.

Η μειωμένη ακρίβεια είναι το κύριο μειονέκτημα του προτύπου αυτού.

### Αναφορές

- [1] Steele C. "A critical review of some noise prediction models" *Applied acoustics* 62 (2001) 271-287.
- [2] Skarlatos D., Manatakis E. "Noise Probability Density Function for Poisson type Traffic Flow" *Applied Acoustics* 27(1989) 47-55
- [3] Skarlatos D. "A Numerical Method for calculation of Probability Density Function of Equivalent Level in the case of Traffic Noise" *Applied Acoustics* 38 (1993) 37-50
- [4] HARMONOISE WP 3 "Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine tuning." HAR 32TR-040922-DGNR20
- [5] SILVIA WP 5 "Integration of low noise pavements with other noise abatement measures" SILVIA –TUV 052-04-WP5 20050322
- [6] Delany M., Harland D., Hood R., Scholes W., "The prediction of noise levels  $L_{10}$  due to road traffic" *Journal of Sound and Vibration* (1976) 48(3) 305-325.
- [7] Lewis P. "The noise generated by single vehicles in freely flowing traffic" *Journal of Sound and Vibration* (1973) 30(2) 191-206.
- [8] J.Seshagiri R., Ramalingeswara R., Srinivas D. "V dependence of noise emission levels of individual motor vehicles in free flow" *Acustica* (1998) vol. 67 135-143.
- [9] de Vos P., Beuving M., Verheijen E. "HARMONOISE: Final Technical Report" Deliverable 4, 2005
- [10] HARMONOISE WP 1.1 "Vehicle categories for description of noise control"
- [11] TemaNord 1996 "Road Traffic Noise \_Nordic Prediction Method" Nordic Council of Ministers 1996, Copenhagen, Denmark.
- [12] Karakasis K., Skarlatos D., Zakinthinos T. "A factorial analysis for the determination of an optimal train speed for a desired comfort" *Applied Acoustics* Volume 66, Issue 10, October 2005, Pages 1121-1134
- [13] Hines W., Montgomery D. "Probability and Statistics in Engineering and Management Science" John Willey and Sons, 1990, Third edition.