

**Παραγοντική ανάλυση της επίδρασης των συνθηκών
οδήγησης και της κατάστασης του δρόμου στον
συντελεστή άνεσης αυτοκινήτων.**

Χαράλαμπος
Σουγλέρης¹

Σπύρος
Πολυχρονόπουλος²

Τηλέμαχος
Ζακινθινός¹

Δημήτρης
Σκαρλατος¹

¹Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών

²Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Φυσικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή με την βοήθεια της παραγοντικής ανάλυσης γίνεται μία προσπάθεια της εύρεσης των επιδράσεων των διαφόρων παραγόντων που σχετίζονται με την κατάσταση των δρόμων και των συνθηκών οδήγησης στον συντελεστή άνεσης N_{MV} . Συγκεκριμένα μελετήθηκε η κατάσταση του δρόμου σε τρία επίπεδα, η διαμόρφωση του δρόμου, σε δύο επίπεδα η ταχύτητα του αυτοκινήτου σε δύο επίπεδα και ο χειρισμός του αυτοκινήτου σε τρία επίπεδα. Η ανάλυση έδειξε ότι οι πιο σπουδαίοι παράγοντες που επιδρούν στην άνεση είναι η κατάσταση του δρόμου και ο συνδυασμός στροφές τρόπος οδήγησης. Τέλος υπολογίζεται η εξίσωση παλινδρόμησης που περιγράφει την άνεση συναρτήσει των παραγόντων.

ABSTRACT

A factorial design was used in order to examine the effect of various factors on the comfort index N_{MV} of small cars. We studied the effect of road situation, the vehicle speed and the vehicle operation on N_{MV} . The analysis showed that the most important factor on comfort is the road situation and the interaction of vehicle operation and road curves.

1. Εισαγωγή

Κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού η άνεση των επιβατών είναι μία παράμετρος θεμελιώδους σημασίας. Για τον λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια οι εταιρίες κατασκευής οχημάτων διαφόρων τύπων δίδουν μεγάλη σημασία στον περιορισμό των ταλαντώσεων που μαζί με τον θόρυβο είναι και οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν την άνεση. Η επίδραση τους πάντως επάνω στον άνθρωπο είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο φαινόμενο και εξαρτάται από την ιδιομορφία του κάθε επιβάτη.

Οι δυσκολίες του ποσοτικού προσδιορισμού της άνεσης εστιάζονται σε δύο σημεία:

1. Ο καθορισμός των ορίων που επιδρούν στην άνεση,
2. Ο προσδιορισμός της ευαισθησίας των ατόμων στα παραπάνω όρια.

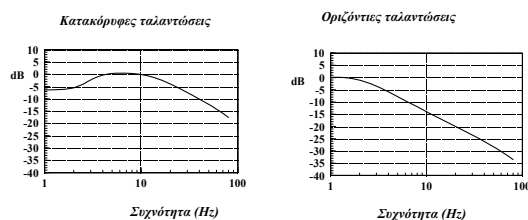
Οι ταλαντώσεις των οχημάτων είναι τυχαίες και αποτελούνται από 6 συνιστώσες: τρεις κατά την διεύθυνση των αξόνων X,Y,Z και τρεις περιστροφικές ως προς τους ίδιους άξονες. Η επίδραση των τελευταίων θεωρείται γενικά αμελητέα και συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη.

Η μελέτη της άνεσης των επιβατών ενός ταξιδιού ξεκίνησε το 1941 στους γερμανικούς σιδηροδρόμους, υπό την αιγίδα του Sperling [1] Ο Sperling εισήγαγε την μέθοδο Wz (Wertzungzahl). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή η άνεση των επιβατών προσδιορίζεται από τον δείκτη W_z που ορίζεται από την σχέση.

$$W_z = 4.42a_{w,rms}^{0.3} \quad (1.1)$$

Όπου $a_{w,rms}$ η rms τιμή της επιτάχυνσης (μέσω κατάλληλου φίλτρου) κατά την διεύθυνση x, y ή z, σε m/s^2 .

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι η άνεση των επιβατών



Σχήμα 1 Τιμές συνάρτησης βάρους για οριζόντιες και κατακόρυφες ταλαντώσεις (ISO 2631-1)

εκφράζεται με ένα (ή τρεις) απλό αριθμό. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη την διάρκεια του ταξιδιού και συνεπώς την κόπωση (fatigue time) και ότι υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε κατεύθυνση.

Αργότερα από τους Γαλλικούς σιδηροδρόμους SNCF προτάθηκε ο SNCF δείκτης που λαμβάνει υπόψη του την κόπωση των επιβατών και συνεπώς την διάρκεια του ταξιδιού. Ο δείκτης αυτός συγχωνεύτηκε με τους κανονισμούς ISO 2631 (1978) [2,3]. Σύμφωνα με τους παραπάνω κανονισμούς ο δείκτης ISO/SNCF σε ώρες ορίζεται από την σχέση:

$$NC = 10^{Z_2} \quad (1.2)$$

όπου:

$$Z_2 = \frac{-0.6667Z_1^2 + 1.6667Z_1 - 0.084396}{Z_1 - 0.7033}, \quad Z_1 = \log a \quad (1.3)$$

στις παραπάνω σχέσεις μέσω κατάλληλης συνάρτησης βάρους a είναι η επιτάχυνση σε m/s^2 .

Τελευταία η επιτροπή ORE B153 καθόρισε τον δείκτη άνεσης N_{MV} [4]. Ο δείκτης αυτός ορίζεται από την σχέση:

$$N_{MV} = 6\sqrt{(a_{xp95})^2 + (a_{yp95})^2 + (a_{zp95})^2} \quad (1.4)$$

Όπου a_{xp95} , a_{yp95} , a_{zp95} οι επιταχύνσεις κατά τους άξονες x , y , z , καθοριζόμενες ως τα 95% ποσοστιαία σημεία. Οι επιταχύνσεις πολ/ζονται με κατάλληλες συναρτήσεις βάρους που ορίζονται στους κανονισμούς ISO 2631-1 (1997), που αντικατέστησαν τους κανονισμούς ISO 2631(1978) [5]. Το σχήμα 1 δείχνει τις συναρτήσεις βάρους που έχουν οριστεί ανάλογα με την ευαισθησία του ανθρώπου. Ο δείκτης N_{MV} έχει το πλεονέκτημα ότι λαμβάνει υπόψη του τις ταλαντώσεις σε τρεις διευθύνσεις ταυτόχρονα και επί πλέον εκφράζεται με ένα απλό αριθμό. Για τον λόγο αυτό στην ανάλυση που ακολουθεί χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης N_{MV} .

2. Μετρήσεις

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε αυτοκίνητο τύπου WW Taro 2.4 lit, 4X4 Diesel, 9 Hp με αμορτισέρ και σούστες. Για τις μετρήσεις των ταλαντώσεων χρησιμοποιήθηκαν 3 επιταχυνσιόμετρα (ένα για κάθε κατεύθυνση) B&K 4730. Το εύρος των συχνοτήτων ανάλυσης ήταν 1-80 Hz, για την ανάλυση δε χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα τριτοοκτάβας. Η εικόνα 1 δείχνει την θέση των επιταχυνσιομέτρων.



Εικόνα 1 Θέση επιταχυνσιομέτρων (X, Y, Z) κατεύθυνση

3 Μέθοδος ανάλυσης

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης των διαφόρων παραμέτρων στον δείκτη N_{MV} χρησιμοποιήθηκαν παραγοντικά πειράματα (factorial experiments) με τέσσερις παράγοντες σε περισσότερα από δύο επίπεδα. Η επιλογή αυτή στηρίχτηκε στο γεγονός ότι η εξάρτηση του δείκτη N_{MV} από τους παράγοντες που μελετώνται δεν είναι γραμμική. Συγκεκριμένα ως παράγοντες χρησιμοποιήθηκαν κατάσταση του

δρόμου (route) σε δύο επίπεδα (1:καλή, 2:κακή) η ταχύτητα (speed) σε τρία επίπεδα (1:μικρή, 2:μεσαία, 3:μεγάλη), ο χειρισμός του αυτοκινήτου (oper) σε τρία επίπεδα (1:επιτάχυνση, 2:επιβράδυνση, 3:σταθερή ταχύτητα), και οι στροφές του δρόμου (curve) (1:με στροφές, 2: ευθεία).

4 Αποτελέσματα

Ο πίνακας 1 δείχνει την ανάλυση της μεταβλητότητας. Από τον πίνακα 1 φαίνεται ότι δύο παράγοντες η κατάσταση του δρόμου και ο συνδυασμός τρόπος οδήγησης / στροφές έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στο 95% διάστημα εμπιστοσύνης εφ όσον οι τιμές p (p-value) είναι μικρότερες του 0.05.

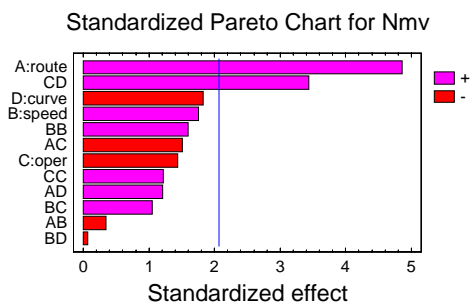
Πίνακας 1 Ανάλυση της μεταβλητότητας (ANOVA)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:route	205,44	1	205,44	23,52	0,0001
B:speed	26,7628	1	26,7628	3,06	0,0934
C:oper	17,9959	1	17,9959	2,06	0,1647
D:curve	28,9752	1	28,9752	3,32	0,0816
AB	0,975335	1	0,975335	0,11	0,7413
AC	19,7046	1	19,7046	2,26	0,1467
AD	12,6859	1	12,6859	1,45	0,2404
BB	22,1868	1	22,1868	2,54	0,1247
BC	9,44576	1	9,44576	1,08	0,3092
BD	0,0266254	1	0,0266254	0,00	0,9564
CC	12,8101	1	12,8101	1,47	0,2382
CD	102,589	1	102,589	11,74	0,0023
Total error	200,918	23	8,73558		

R-squared = 69,5816 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 53,7112 percent

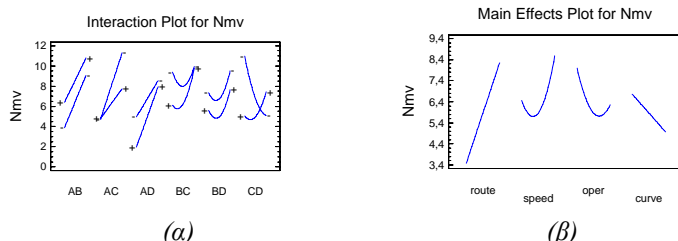
Αυτό φαίνεται καλύτερα στο διάγραμμα Pareto του σχήματος 2, όπου



Σχήμα 2 Διάγραμμα Pareto που δείχνει την σημαντικότητα των παραμέτρων.

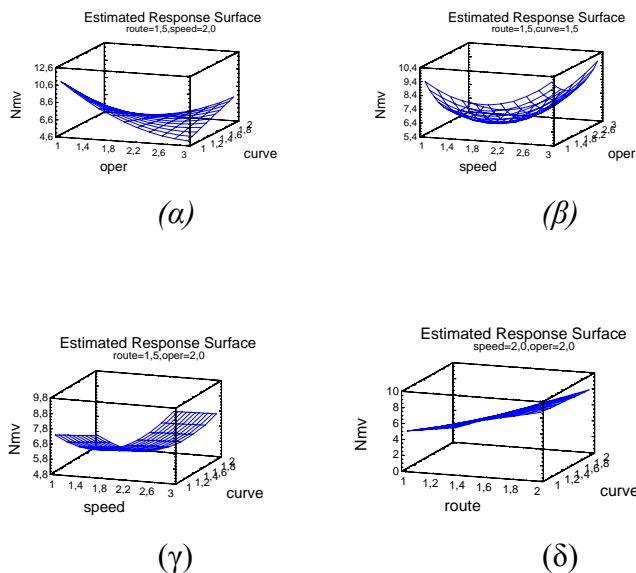
κατατάσσονται οι επιδράσεις κατά σειρά μεγέθους.

Το σχήμα 3α δείχνει το διάγραμμα της αλληλεπίδρασης των παραγόντων. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων AC: Δρόμος- τρόπος οδήγησης, BC: ταχύτητα τρόπος οδήγησης, CD: τρόπος οδήγησης – στροφές. Το σχήμα 3β δείχνει τις κύριες επιδράσεις των παραγόντων .



Σχήμα 3 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης παραγόντων

Το σχήμα 4 δείχνει τις επιφάνειες απόκρισης των διαφόρων παραγόντων.



Σχήμα 4: Επιφάνειες απόκρισης παραγόντων

5 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα. Ο συντελεστής άνεσης των αυτοκινήτων παίρνει μεγάλες τιμές συνεπώς η άνεση είναι μειωμένη. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα Pareto των επιδράσεων των παραγόντων (σχήμα 2), ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την άνεση των επιβατών είναι κατά κύριο λόγο η κατάσταση του δρόμου και κατά δεύτερο λόγο η αλληλεπίδραση χειρισμός αυτοκινήτου / στροφές δρόμου.

Από το διάγραμμα των αλληλεπιδράσεων (σχήμα 3α) Υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων χειρισμός αυτοκινήτου / στροφές δρόμου ενώ δεν υπάρχει καμία αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων κατάσταση δρόμου / ταχύτητα και ταχύτητα / στροφές.

Πίνακας 2 Συντελεστές Παλινδρόμησης του μοντέλου
Regression coeffs. for N_{mv}

constant	= 26,7062
A:route	= 5,64678
B:speed	= -6,43736
C:oper	= -10,9484
D:curve	= -13,4928
AB	= -0,403182
AC	= -1,81221
AD	= 2,37448
BB	= 1,66534
BC	= 0,768349
BD	= -0,0666151
CC	= 1,26541
CD	= 4,13499

Από το διάγραμμα των κυρίων επιδράσεων (σχήμα 3β), προκύπτει ότι η εξάρτηση της άνεσης από την ταχύτητα δεν είναι γραμμική.

6. Αναφορές

- [1]. ORE: Methods for assessing the comfort quality of passenger vehicles. Report No. 8. Utrecht, April 1997 Interaction between vehicles and track: Methods for assessing the comfort quality of passenger vehicles” ORE Question C116 Report N0 8 Utrecht, April 1977.
- [2]. ISO 2631 –1978 (E) “Guide for the evaluation of human exposure to whole body vibration”
- [3]. Application of the ISO 2631 standard to railway vehicles”. ORE: Question B153. Report No. 8 (2nd edition). Utrecht, September 1986.
- [4]. ORE: Methods for assessing the comfort quality of passenger vehicles. Report No. 8. Utrecht, April 1997 Interaction between vehicles and track: Methods for assessing the comfort quality of passenger vehicles” ORE Question C116 Report N0 8 Utrecht, April 1977.
- [5]. ISO 2631-1 (1997) “Mechanical vibration and shock –Evaluation of human exposure to whole body vibration” Part 1 General requirement.
- [6]. Karakasis K., Skarlatos D., Zakinthinos T., “A factorial analysis for the determination of an optimal train speed for a desired comfort” Applied Acoustics (In review process)