



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ
ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΕΣ ΟΔΟΥΣ ΔΥΟ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΤΑ ΤΗ ΝΥΚΤΕΡΙΝΗ ΟΔΗΓΗΣΗ**

ΜΑΛΑΚΑΤΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

A.M. 06102091

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ψαριανός Βασίλειος

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ψαριανό Βασίλειο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας αλλά και για τη συνεχή υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της. Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω τους φίλους και συναδέλφους για τη φιλοξενία και τη βοήθεια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της παρούσης έρευνας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	2
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 Γενικά.....	12
1.2 Αντικείμενο της μελέτης και προσδιορισμός του προβλήματος	13
1.3 Στόχος της έρευνας.....	15
1.4 Προσέγγιση της έρευνας	16
1.5 Δομή της Εργασίας	17
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Γεωμετρικά Σχεδιαστικά Πρότυπα	19
2.2.1 Συσχέτιση ατυχημάτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών	19
2.2.2 Επίδραση του πλάτους του οδοστρώματος.....	21
2.2.3 Επίδραση της ακτίνας της καμπύλης	27
2.2.4 Τρόπος επίδρασης της καμπύλης στα ατυχήματα.....	34
2.2.5 Επίδραση της κατά μήκος κλίσης.....	35
2.2.6 Επίδραση του μήκους ορατότητας	36
2.2.7 Επίδραση του Φόρτου κυκλοφορίας	38

2.2.8	Συμπεράσματα	42
2.3	Ορισμοί της συνέχειας στο σχεδιασμό	44
2.4	Η προσέγγιση της συνέχειας στο σχεδιασμό	46
2.4.1	Η χρήση των μεγεθών εκτίμησης συνέχειας σε διάφορες χώρες	48
2.4.2	Η εφαρμογή της ταχύτητας μελέτης στο σχεδιασμό.....	52
2.4.3	Λειτουργική ταχύτητα και μοντέλα ταχυτήτων.....	55
2.4.3.1	Σύνοψη των μοντέλων πρόβλεψης ταχύτητας στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας	58
2.4.3.2	Κανόνες που βασίζονται στη λειτουργική ταχύτητα	60
2.4.4	Δυναμική κίνησης οχημάτων.....	68
2.4.5	Μέθοδοι συνέχειας που βασίζονται στους δείκτες χάραξης	70
2.4.6	Οδηγητική ένταση (driver workload).....	72
2.4.6.1	Ορισμοί	72
2.4.6.2	Η οδηγητική ένταση ως μέτρο συνέχειας στο σχεδιασμό	73
2.4.7	Σύνοψη της βιβλιογραφικής επισκόπησης σχετικά με τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια του σχεδιασμού.....	90
2.5	Η σχέση μεταξύ των μέτρων καθορισμού της συνέχειας στο σχεδιασμό και την ασφάλεια.....	91
2.6	Η σχέση μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της ασφάλειας	95
2.6.1	Μήκος ορατότητας.....	96
2.6.2	Οριζοντιογραφικές Καμπύλες.....	96
2.6.3	Κατά μήκος χάραξη	98

2.6.4	Συνδυασμός της οριζόντιας και της κατά μήκος χάραξης	98
3	ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	100
3.1	Εισαγωγή.....	100
3.2	Επιλογή οδικών τμημάτων και περιοχή μελέτης.....	100
3.3	Συλλογή στοιχείων στο πεδίο των μετρήσεων	101
3.4	Δεδομένα ταχυτήτων	102
3.4.1	Απαιτούμενο δείγμα.....	104
3.4.2	Ανάλυση των μετρήσεων πεδίου ταχύτητας.....	105
3.4.2.1	Μέση τιμή του δείγματος	105
3.4.2.2	Τυπική απόκλιση	106
3.4.2.3	Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	106
3.4.3	Τεστ Kolmogorov-Smirnov.....	107
3.4.4	Υπολογισμός της V85.....	109
3.5	Πρακτική εκτίμηση των στοιχείων της Οριζοντιογραφίας	110
4	ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΝΥΚΤΕΡΙΝΗ ΟΔΗΓΗΣΗ	112
4.1	Εισαγωγή.....	112
4.2	Αναλύσεις Παλινδρόμησης: Υπόβαθρο	113
4.3	Προκαταρκτική ανάλυση.....	114
4.3.1	Έλεγχος συγγραμμικότητας μεταξύ των μεταβλητών	114
4.3.2	Έλεγχος ταχύτητας ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας	119
4.4	Ανάπτυξη μοντέλων λειτουργικής ταχύτητας	120

4.4.1	Επιλογή μεθόδου ανάλυσης παλινδρόμησης	123
4.4.2	Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για επιλογή μοντέλου για όλα τα πλάτη λωρίδας	135
4.4.3	Μεθοδολογία των αναλύσεων παλινδρόμησης.....	144
4.4.4	Μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης	144
4.4.4.1	Αξιολόγηση ευθυγραμμίων	145
4.4.4.2	Πρώτη Προσέγγιση	145
4.4.4.3	Δεύτερη Προσέγγιση	152
4.4.5	Συζήτηση των μοντέλων που αναπτύχθηκαν	155
4.4.6	Σύγκριση των παραγόμενων μοντέλων με τα υφιστάμενα μοντέλα στην Ελλάδα	157
5	ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ	165
5.1	Στοιχεία ορατότητας	165
5.1.1	Επίδραση της κατά μήκος κλίσης στην ορατότητα.....	168
5.2	Προσδιορισμός υφιστάμενων μηκών ορατότητας	169
5.3	Διαθέσιμο μήκος ορατότητας κατά τη νυκτερινή οδήγηση	171
5.4	Έλεγχος ορατότητας	174
5.4.1	Έλεγχος ορατότητας κατά την κίνηση των οχημάτων στη καμπύλη	174
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	179
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	182
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	203
	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΩΝ	205

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ορισμοί της συνέχειας στο σχεδιασμό.....	45
Πίνακας 2: Μεταβλητές που επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα που αναπτύσσεται στο μέσο των καμπυλών σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας	59
Πίνακας 3: Μεταβλητές που επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα που αναπτύσσεται στις ευθυγραμμίες στις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας	60
Πίνακας 4: Κριτήριο Ασφαλείας I για υπεραστικές οδούς με ενιαία κυκλοφορίας. Όριο τιμών απόκλισης μεταξύ V_{85} και V_e , για το χαρακτηρισμό της ποιότητας σχεδιασμού ενός οδικού τμήματος. (ΟΜΟΕ – Χ).....	65
Πίνακας 5: Κριτήριο Ασφαλείας II για υπεραστικές οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Όρια τιμών απόκλισης μεταξύ διαδοχικών V_{85} για το χαρακτηρισμό της ποιότητας σχεδιασμού ενός οδικού τμήματος ως καλής, μέτριας ή μη αποδεκτής (ΟΜΟΕ – Χ).....	67
Πίνακας 6: Κριτήριο Ασφαλείας III: Επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στη δυναμική της κίνησης των οχημάτων (Ψαριανός Β., 2001)	68
Πίνακας 7: Δείκτες χάραξης	71
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά του τεστ Kolmogorov-Smirnov.....	109
Πίνακας 9: Πίνακας συσχέτισης των παραμέτρων του μοντέλου	118
Πίνακας 10: Ανάλυση δεδομένων συμφωνα με τη λωρίδα κίνησης στο οδόστρωμα. Εξωτερική Οριογραμμή 0, Εσωτερική Οριογραμμή 1	120
Πίνακας 11: Πίνακες R^2 γραμμικής, αντίστροφη, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (1η περίπτωση)	125
Πίνακας 12: Πίνακες ανάλυσης διασποράς γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (1η περίπτωση)	126
Πίνακας 13: Συντελεστές γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (1η περίπτωση)	128

Πίνακας 14: Πίνακες R^2 γραμμικής, αντίστροφη, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (2η περίπτωση)	130
Πίνακας 15: Πίνακες ανάλυσης διασποράς γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (2η περίπτωση)	132
Πίνακας 16: Συντελεστές γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (2η περίπτωση)	133
Πίνακας 17: Συγκεντρωτικοί πίνακες διασποράς μεταβλητών	135
Πίνακας 18: Πίνακες Απονα για τις δύο περιπτώσεις	137
Πίνακας 19: Πίνακες Συντελεστών για τα δύο μοντέλα	138
Πίνακας 20: Πίνακες Υπολοίπων	140
Πίνακας 21: Σύγκριση Μοντέλων για τιμές ελικτότητας 0-300gon/km	149
Πίνακας 22: Σύγκριση Μοντέλων για τιμές ελικτότητας 300-700gon/km	149
Πίνακας 23: Σύγκριση Μοντέλων για τιμές ελικτότητας 700-2500gon/km	150
Πίνακας 24: Συντελεστής d υπολογισμού του μήκους ορατότητας στάσης Sh (ΟΜΟΕ-Χ,σελ. 65)	168
Πίνακας 25: Πίνακας για την εκλογή ύψους εμποδίων	171
Πίνακας 26: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας όπως υπολογίζονται σύμφωνα με τη ναυαμενόμενη λειτουργική ταχύτητα και τη κατά μήκος κλίση (AASHTO)	175
Πίνακας 27: Διατιθέμενο μήκος ορατότητας και προτεινόμενο όριο ταχύτητας για διάφορες καμπύλες στη νυκτερινή οδήγηση	178
Πίνακας 28: Δεδομένα ταχυτήτων στις 30 καμπύλες και 6 ευθυγραμμίες για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας	183
Πίνακας 29: One- Sample Kolmogorov Smirnov Test.....	195
Πίνακας 30: Λειτουργικές ταχύτητες (V_{85}) επιβατηγών οχημάτων για κίνηση τις βραδινές ώρες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων (εξωτερική λωρίδα)201	
Πίνακας 31: Λειτουργικές ταχύτητες (V_{85}) επιβατηγών οχημάτων για κίνηση τις βραδινές ώρες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων (εσωτερική λωρίδα)	202

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1:	Μεταβολή του δείκτη ατυχημάτων σε συνάρτηση της ΕΜΗΚ και του πλάτους του οδοστρώματος για ατυχήματα τύπου εκτροπής	24
Σχήμα 2:	Μεταβολή του δείκτη ατυχημάτων σε συνάρτηση της ΕΜΗΚ και του πλάτους του οδοστρώματος για ατυχήματα τύπου σύγκρουσης αντιθέτων κινούμενων οχημάτων	25
Σχήμα 3:	Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας. Έρευνα Raff (1956)	31
Σχήμα 4:	Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης, Έρευνα Leisch & Assoc. (1974)	32
Σχήμα 5:	Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης, Έρευνα Matthews & Barnes.	33
Σχήμα 6:	Επιλογή οριζόντιας ακτίνας για δεδομένη πολυγωνική	34
Σχήμα 7:	Διάγραμμα διασποράς V85-CCR.....	123
Σχήμα 8:	Μοντέλο πρόβλεψης με τη μέθοδο της παλινδρόμησης σε βήματα, εξίσωση (i)	142
Σχήμα 9:	Μοντέλο πρόβλεψης με τη μέθοδο πολλαπλής παλινδρόμησης Backward, εξίσωση (ii).....	142
Σχήμα 10:	Σύγκριση των δύο μοντέλων για πλάτος λωρίδας 3.50m, εξισώσεις (i) και (ii)	143
Σχήμα 11:	Γραφική παράσταση των εξισώσεων (iii), (v), (vii).....	146
Σχήμα 12:	Γραφική παράσταση των εξισώσεων iv, vi, viii.....	147
Σχήμα 13:	Γραφική παράσταση εξίσωσης (i)	148
Σχήμα 14:	Γραφική παράσταση εξισώσεων (ix) και (vii).....	151
Σχήμα 15:	Γραφική Παράσταση των εξισώσεων (x) και (viii).....	151
Σχήμα 16:	Γραφική παράσταση όλων των εξισώσεων (ix), (xi), (xiii)	153

Σχήμα 17:	Γραφική παράσταση όλων των εξισώσεων (x), (xii), (xiv)	153
Σχήμα 18:	Σύγκριση παραγόμενου μοντέλου με τα υφιστάμενα μοντέλα Ηνωμένων Πολιτειών, Γερμανίας και Ελλάδας για πλάτος λωρίδας $b \geq 3.5m$	158
Σχήμα 19:	Σύγκριση παραγόμενων μοντέλων με υφιστάμενα στην Ελλάδα για πλάτος λωρίδας 3.25m	159
Σχήμα 20:	Σύγκριση παραγόμενων μοντέλων με υφιστάμενα για πλάτος λωρίδας 3.50m	159
Σχήμα 21:	Σύγκριση παραγόμενων μοντέλων με υφιστάμενα για πλάτος λωρίδας 3.75m	160
Σχήμα 22:	Ποσοστιαίες διαφορές στην προβλεπόμενη V_{85} (νυχτερινή) μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και των υφιστάμενων μοντέλων στην Ελλάδα σε σχέση με την ελκτικότητα για οδικά τμήματα πλάτους λωρίδας 3.25m	161
Σχήμα 23:	Ποσοστιαίες διαφορές στην προβλεπόμενη V_{85} (νυχτερινή) μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και των υφιστάμενων μοντέλων στην Ελλάδα σε σχέση με την ελκτικότητα για οδικά τμήματα πλάτους λωρίδας 3. 50m	162
Σχήμα 24:	Ποσοστιαίες διαφορές στην προβλεπόμενη V_{85} (νυχτερινή) μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και των υφιστάμενων μοντέλων στην Ελλάδα σε σχέση με την ελκτικότητα για οδικά τμήματα πλάτους λωρίδας 3.75m	163
Σχήμα 25:	Εκτενής σύγκριση προτεινόμενου μοντέλου με υφιστάμενα μοντέλα πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας	164
Σχήμα 26:	Στοιχεία Ελέγχου ορατότητας από τον πλευρικό ελεύθερο οπτικών εμποδίων χώρο	166
Σχήμα 27:	Απεικόνιση τυπικής διαδικασίας προσπέρασης προπορευόμενου οχήματος	167
Σχήμα 28:	Δυνατή πορεία των οπτικών ακτίνων από τον οφθαλμό του οδηγού σε εμπόδιο για τον προσδιορισμό του μήκους ορατότητας για στάση	170
Σχήμα 29:	Διαθέσιμο μήκος ορατότητας στη νυκτερινή οδήγηση (figure31 light distribution pattern at road level automotive electrics and electronics bosch)	173
Σχήμα 30:	Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση κατά AASHTO για οδήγηση την ημέρα και τη νύκτα	176

Σχήμα 31: Σύγκριση φωτεινής δέσμης: α)στη διεύθυνση της κίνησης του οχήματος, β)στραμμένη κατά τη διεύθυνση της καμπύλης σύμφωνα με τη στροφή του τιμονιού 177

Σχήμα 32: Σύγκριση απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση σε συνθήκες οδήγησης κατά την ημέρα και κατά τη νύκτα..... 178

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επικαιροποίηση των μοντέλων εκτίμησης της λειτουργικής ταχύτητας V_{85} σε υπεραστικές οδούς ενιαίου οδοστρώματος μιας λωρίδας κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση κατά τη νυκτερινή οδήγηση. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν από τις 8 το απόγευμα έως τις 12 το βράδι σε οδούς το ελληνικού οδικού δικτύου, στο Νομό Αττικής και στο Νομό Αχαΐας.

Ο εντοπισμός των μεταβολών των λειτουργικών ταχυτήτων σε σχέση με τις τιμές που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας οδού επιτυγχάνεται με τη μελέτη του προβλήματος όπως εντοπίζεται στη διεθνή βιβλιογραφία. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε και η στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε έγινε με τη χρήση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της μη γραμμικής παλινδρόμησης με περιορισμό.

Ακόμη, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου (νύκτα) που προκύπτει από τη συγκεκριμένη έρευνα με το υφιστάμενο μοντέλο των Ο.Μ.Ο.Ε. (μέρα) που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και υιοθετείται από το Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. και από άλλα μοντέλα που εντοπίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία, ενδεχομένως να αντληθούν χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά το σχεδιασμό και τον επανασχεδιασμό υπεραστικών οδών δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Σύμφωνα με την έρευνα των Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger (1987), στις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας συμβαίνουν παγκοσμίως τα περισσότερα ατυχήματα από τα οποία η πλειοψηφία αποδίδεται σε λανθασμένη εκτίμηση της ταχύτητας. Σύμφωνα με τα ΟΜΟΕ-Χ σε οδούς κατηγορίας ΑΙ – ΑΙV ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας σε Ευρώπη και Η.Π.Α. λαμβάνει χώρα το 60% περίπου των σοβαρών ατυχημάτων, με αποτέλεσμα αυτές οι οδοί να είναι οι πλέον επικίνδυνες στο σύνολο του οδικού δικτύου. Τα αίτια που οδηγούν σε αυτά τα στοιχεία είναι:

- Ο οδηγός
- Το όχημα
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού

Η βασικότερη αιτία μπορεί να θεωρηθεί ο ανθρώπινος παράγοντας, όμως από σχεδιαστική και κατασκευαστική πλευρά δεν μπορούμε να προβλέψουμε την αντίληψη και την ικανότητα του εκάστοτε οδηγού. Πέρα από την κατάχρηση αλκοόλ και την κακή οδηγική κρίση, ένα σημαντικό ποσοστό της τάξης του 15-30% της λανθασμένης εκτίμησης της ταχύτητας σχετίζεται με το σχεδιασμό των οδών, κυρίως με την έννοια της υπέρβασης της κρίσιμης ταχύτητας μιας καμπύλης, με αποτέλεσμα την απώλεια ελέγχου του οχήματος. Όπως προκύπτει από στατιστικά στοιχεία στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό οι νέοι οδηγοί ηλικίας έως και 24 ετών, αποτελούν την πιο επιρρεπή σε πρόκληση ατυχήματος ομάδα χρηστών του δρόμου κυρίως λόγω της έλλειψης οδηγικής εμπειρίας. Στις Η.Π.Α. για παράδειγμα, το 35% περίπου των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων αντιστοιχεί στο γκρουπ αυτών των οδηγών.

Για την αύξηση της οδικής ασφάλειας των μετακινούμενων πρέπει να ληφθούν ορισμένα μέτρα(κυκλοφοριακή αγωγή, καλύτερη αστυνόμευση, σωστά όρια ταχύτητας κλπ.). Πέρα όμως από αυτά, στην αύξηση της οδικής ασφάλειας θα συνέβαλλε η κατασκευή νέων οδικών έργων ή μεγάλων ανακατασκευών. Επιπλέον ένα μεγάλο ποσοστό των υπεραστικών οδών αυτής της κατηγορίας, στο Ελληνικό οδικό δίκτυο, χρήζουν αποκατάστασης και επισκευής προκειμένου να διατηρηθεί ή και να βελτιωθεί η ασφάλεια της οδικής κυκλοφορίας. Όμως μια τέτοια διαδικασία είναι ιδιαίτερα δύσκολη, μιας και οι

παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια και τα πορίσματα γύρω από την ασφάλεια επιβάλλουν συνεχή ανανέωση, αλλά και επειδή τα κυκλοφοριακά προβλήματα αναμένεται ολοένα να αυξάνονται και να δυσχεραίνονται.

Η κυκλοφορία σε οδούς αυτής της κατηγορίας ενέχει πολλά προβλήματα. Τα προβλήματα περιλαμβάνουν για παράδειγμα την έλλειψη αρμονίας μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ταχύτητας μελέτης, ανεπάρκεια στη δυναμική της κίνησης των οχημάτων και την ασυνέχεια στα στοιχεία της οριζοντιογραφίας. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τις έντονες μεταβολές στη λειτουργική ταχύτητα, λόγω της ασυνέχειας και της έλλειψης αρμονίας μεταξύ των στοιχείων της οριζοντιογραφίας, σε οδικά τμήματα. Στην παρούσα έρευνα θα εξεταστεί κυρίως το πρόβλημα της ασυνέχειας στα στοιχεία της οριζοντιογραφίας στα πλαίσια που σχετίζεται με τη συνέχεια στις λειτουργικές ταχύτητες που με τη σειρά του θα βελτιώσει την οδική ασφάλεια στις υπεραστικές οδούς ενιαίας κυκλοφορίας, δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση.

1.2 Αντικείμενο της μελέτης και προσδιορισμός του προβλήματος

Στη μελέτη αυτή θα ασχοληθούμε με το πως επηρεάζεται η λειτουργική ταχύτητα των οχημάτων κατά τη νυκτερινή οδήγηση και τι διαφορές έχει συγκριτικά με την αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα κατά την κίνηση των οχημάτων στο ίδιο οδικό τμήμα την ημέρα.

Πολλοί ειδικοί θεωρούν πως οι απότομες αλλαγές στις λειτουργικές ταχύτητες μπορούν να οδηγήσουν σε ατυχήματα στις οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας ενιαίου οδοστρώματος και ότι αυτές οι ασυνέχειες στις ταχύτητες αποδίδονται βασικά στις απότομες αλλαγές των στοιχείων της οριζοντιογραφίας.

Σε μια έρευνα που διεξήχθη υπό τη χορηγία της IRF (International Road Federation 1987) σχετικά με τις ισχύουσες πρακτικές που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη για το γεωμετρικό σχεδιασμό, τα κάτωθι θεμελιώδη ευρήματα και συστάσεις που σχετίζονται με το παρόν θέμα συντάθηκαν:

Στις περισσότερες περιπτώσεις η επιρροή που έχουν τα μεμονωμένα στοιχεία σχεδιασμού στις λειτουργικές ταχύτητες αποτελεί το μηχανισμό προσδιορισμού της σχεδιαστικής συνέχειας.

Η χρήση της ταχύτητας μελέτης ως έννοια που εφαρμόζεται σε μεμονωμένα στοιχεία υφίσταται ελάττωση σε σύγκριση με τις παραμέτρους της λειτουργικής ταχύτητας.

Είναι αναγκαία η ανάπτυξη σχεδιαστικών οδηγιών που θα επιτρέπουν στο σχεδιαστή να αναλύει την επίδραση των προτεινόμενων βελτιώσεων που θα επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα του δρόμου.

Στα πλαίσια των πρακτικών που εφαρμόζονται τώρα, η διαπλάτυνση ενός δρόμου για παράδειγμα δεν επιφέρει πάντα βελτίωση της ασφάλειας καθώς ένα τέτοιο οδόστρωμα δίνει την εντύπωση ενός καινούριου και ασφαλούς τμήματος, δημιουργώντας την αίσθηση στον οδηγό ότι μπορεί να κινείται με υψηλότερες ταχύτητες και ως εκ τούτου μπορεί να προκαλέσει ατυχήματα ειδικότερα σε τμήματα όπου κατά τη μετάβαση από το ένα στοιχείο της οριζοντιογραφίας σε ένα άλλο υπάρχουν ασυνέχειες.

Έτσι λοιπόν για το σχεδιαστή μηχανικό, ο οποίος θα πρέπει να λάβει αποφάσεις σχετικά με το σχεδιασμό ενός δρόμου, η αναγνώριση των χαρακτηριστικών του δρόμου είναι σημαντική μιας και η λειτουργική ταχύτητα V_{85} και η δυναμική κίνησης των οχημάτων θα πρέπει να βρίσκονται σε μια κατάσταση ισορροπίας. Αν δεν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση, σε συνθήκες ελεύθερης ροής, η λειτουργική ταχύτητα επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού αλλά και το πλήθος διελεύσεων που έχει ο οδηγός στο εκάστοτε τμήμα. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κυρίως η σύνθεση μεμονωμένων σχεδιαστικών παραμέτρων αλλά και η αλληλουχία όλων των οριζοντιογραφικών χαρακτηριστικών σε ένα δεδομένο οδικό τμήμα. Τα παραπάνω στοιχεία επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα και πιθανώς την ασφάλεια κατά τη κυκλοφορία των οχημάτων.

Επομένως τίθεται θέμα επικαιροποίησης των πηγών των οδηγιών αξιολόγησης της αρμονικής συνέχειας στο σχεδιασμό που ο μηχανικός καλείται να ακολουθήσει κατά τη διαδικασία κατασκευής νέων και ανακατασκευής – βελτίωσης υφιστάμενων οδών.

1.3 Στόχος της έρευνας

Έννοιες και ορισμοί της ταχύτητας μελέτης έχουν διατυπωθεί ήδη από το 1930 τόσο στις Η.Π.Α αλλά και στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης, στόχος των οποίων ήταν κυρίως η αξιολόγηση δυναμικών στοιχείων της οδήγησης, όπως ο καθορισμός της ελάχιστης οριζοντιογραφικής ακτίνας στις καμπύλες, τα μέγιστα ποσοστά επικλίσεων ανά διατομή, η μέγιστη επιτρεπτή μηκοτομική κλίση, τα απαιτούμενα μήκη για προσπέρασμα, οι ελάχιστες κυρτές και κοίλες καμπύλες για δεδομένη ταχύτητα μελέτης. Για αυτό το λόγο κρίνεται αναγκαία η συνεχής ανανέωση της γνώσης σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά και τους λόγους που ένας δρόμος κρίνεται ανεπαρκής και επικίνδυνος. Στα πλαίσια αυτά πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι είναι τουλάχιστον τρία τα κριτήρια αξιολόγησης ενός δρόμου τα οποία σχετίζονται με την επίτευξη της συνέχειας στο σχεδιασμό του.

Οι ασυνέχειες σε οδικά χαρακτηριστικά και στις λειτουργικές ταχύτητες εντοπίζονται κυρίως στα τμήματα μετάβασης μεταξύ των ευθυγραμμίων και των καμπυλών αλλά και μεταξύ διαδοχικών καμπυλών με σημαντικά διαφορετικές καμπύλες. Συνεπώς στόχος της έρευνας αυτής αποτελεί ο εντοπισμός των μεταβολών των λειτουργικών ταχυτήτων κατά τη νυκτερινή οδήγηση συγκριτικά με τις αναμενόμενες τιμές στο ίδιο κομμάτι κατά τη διάρκεια της ημέρας, που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας οδού, έτσι ώστε να αποτραπούν αιφνίδιες και απότομες εναλλαγές μεταξύ των διαδοχικών γεωμετρικών στοιχείων ενός δρόμου κατά τη κίνηση των οχημάτων. Ο παραπάνω στόχος της έρευνας θα επιτευχθεί με την ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης λειτουργικών ταχυτήτων για οδούς ενιαίου οδοστρώματος κατά τη νυκτερινή οδήγηση, το οποίο θα λάβει υπόψη νέες μετρήσεις ταχυτήτων, που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσης έρευνας και έλαβαν χώρα κατά τις βραδινές ώρες της ημέρας.

1.4 Προσέγγιση της έρευνας

Η γενικότερη προσέγγιση στην έρευνα αυτή ήταν η διερεύνηση των οριζοντιογραφικών στοιχείων που επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας και η ανάπτυξη μοντέλων εκτίμησης λειτουργικής ταχύτητας σε συνάρτηση με τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας που ασκούν τη μεγαλύτερη επίδραση σε αυτή για τη νυκτερινή οδήγηση. Προκειμένου να εντοπιστούν οι μεταβολές της λειτουργικής ταχύτητας και να επιτευχθεί ο στόχος της έρευνας, θα πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες ενέργειες κατά την έρευνα:

- Σύνοψη των συμπερασμάτων από προηγούμενες έρευνες αναφορικά με τα στοιχεία που επηρεάζουν την οριζοντιογραφική συνέχεια αλλά και τη λειτουργική ταχύτητα.
- Ανασκόπηση των ερευνών που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και αυτών που συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων.
- Ανασκόπηση των συσχετίσεων των ταχυτήτων με γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες.
- Ταξινόμηση σε λίστα των στοιχείων που μελετήθηκαν και προσδιορισμός των κυριότερων από αυτά που μπορούν να συμβάλλουν στην ασυνέχεια μεταξύ των στοιχείων της οριζοντιογραφίας.
- Επιλογή των επεξηγηματικών μεταβλητών που θα εξετασθούν για την εισαγωγή τους στα μοντέλα που θα αναπτυχθούν στην παρούσα έρευνα, με βάση τη μελέτη μοντέλων που εντοπίστηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία.
- Διεξαγωγή μετρήσεων σε δρόμους κατά τη διάρκεια της νύκτας που ανταποκρίνονται στα στοιχεία της έρευνας – Συλλογή δεδομένων που προκύπτουν από τις σχεδιαστικές παραμέτρους και τις κατανομές των ταχυτήτων για διάφορες τιμές ελκτότητας στις καμπύλες και διαφορετικά πλάτη κυκλοφορίας.
- Αποκλεισμός των μετρούμενων σημείων που τα αποτελέσματά τους δε συνάδουν με τη γενικότερη τάση του δείγματος, μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης και διαγραμμάτων διασποράς.
- Προσδιορισμός της λειτουργικής ταχύτητας V_{85} για το καθένα από τα εναπομείναντα σημεία.
- Ποσοτικοποίηση μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης της επιρροής επιπρόσθετων σχεδιαστικών παραμέτρων στις λειτουργικές ταχύτητες.
- Δημιουργία μοντέλων και επιλογή του πλέον αξιόπιστου που συνδέει τη λειτουργική ταχύτητα με τα υπό εξέταση γεωμετρικά στοιχεία – Καθορισμός της συσχέτισης μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της

ελικτότητας της μεμονωμένης καμπύλης, καθώς και η δημιουργία αντιστοιχων νομογραφημάτων για διαφορετικά πλάτη λωρίδας.

1.5 Δομή της Εργασίας

Το υπόλοιπο της διπλωματικής εργασίας αποτελείται από 5 κεφάλαια και το Παράρτημα. Στο 2^ο Κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής επισκόπησης. Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία διεξαγωγής των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας ενιαίας επιφάνειας για το σκοπό της παρούσης έρευνας. Στο Κεφάλαιο 4 περιλαμβάνεται η διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων παλινδρόμησης για την κατασκευή εξισώσεων πρόβλεψης λειτουργικών ταχυτήτων σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται αξιολόγηση των μετρούμενων οδικών τμημάτων όσον αφορά την κυκλοφορία τις βραδινές ώρες με αναφορά στις συνθήκες ορατότητας. Τέλος στο Παράρτημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του 3^{ου} Κεφαλαίου καθώς και πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και επεξεργασία αυτών.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που καθορίζουν την οδική συμπεριφορά και την κυκλοφοριακή ασφάλεια ενός οδικού τμήματος. Σύμφωνα με τους Lamm, Choueiri, Kloeckner και Mailaender, πολλοί παράγοντες είναι αυτοί που επηρεάζουν σε μετρήσιμο βαθμό την οδική συμπεριφορά και την ασφάλεια. Αυτοί είναι κατά κύριο λόγο :

Ανθρώπινοι Παράγοντες όπως η λανθασμένη εκτίμηση των ιδιοτήτων της οδού, της κυκλοφορίας, της ταχύτητας, της έλλειψης εμπειρίας οδήγησης (κυρίως στους νέους οδηγούς), η οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ, καθώς και δυσκολίες που μπορούν να παρουσιαστούν κυρίως στους μεγαλύτερους σε ηλικία οδηγούς.

Η ίδια η γεωμετρία της οδού, ο συνδυασμός της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και των διατομών ως προς το βαθμό ανάπτυξης των παρόδιων χρήσεων και του επιπέδου πρόσβασης.

Η ύπαρξη αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου σε συνδυασμό με τις ποιοτικές και χρονικές της διαφοροποιήσεις.

Θέματα που άπτονται της νομοθεσίας που ισχύει σε μια περιοχή όπως ο έλεγχος της κυκλοφορίας και ο βαθμός επιβολής αυτού.

Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες και η κατάσταση του οδοστρώματος.

Χαρακτηριστικά του οχήματος, όπως τα ελαστικά, το σύστημα πέδησης και η παλαιότητα του.

Όλα από τα παραπάνω αποτελούν κατά συνέπεια ένα πολύπλοκο μείγμα ποικίλων παραγόντων που μπορούν να συμβάλλουν στην ύπαρξη τροχαίων ατυχημάτων από τους οποίους ο δρόμος καθαυτός είναι μόνο ένας αλλά σημαντικός παράγοντας. Για να φανεί αξιόπιστα κατά πόσο η ασφάλεια της κυκλοφορίας επηρεάζεται από το δρόμο, θα πρέπει να επιλεχθούν τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν και χαρακτηρίζουν επαρκώς το δρόμο. Αυτά περιλαμβάνουν τις σχεδιαστικές παραμέτρους, τη διατομή του δρόμου και τον κυκλοφοριακό φόρτο καθώς αυτά μπορούν εύκολα να αξιολογηθούν ποσοτικά.

Οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν συλλογικά την ασφάλεια και όχι μεμονωμένα. Επομένως, θα ήταν άσκοπο να εξετάσουμε την επίδραση μόνο του σχεδιασμού ή μόνο του κυκλοφοριακού φόρτου στην ασφάλεια. Έτσι λοιπόν θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι αλληλεξαρτήσεις των παραγόντων αυτών.

Η επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας που παρατίθεται στη συνέχεια περιορίζεται σε άρθρα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των ατυχημάτων που φαίνεται να συνεισφέρουν στον τομέα του γεωμετρικού σχεδιασμού υπεραστικών οδών δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Οι αναφορές που περιγράφονται στο κεφάλαιο αυτό βασίζονται κυρίως στις έρευνες που αναφέρονται από τους Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger (1987) η οποία βασίζεται κυρίως στη διεθνή βιβλιογραφική αναφορά των Krebs και Kloeckner (1977) στα οποία εξετάστηκαν οι συσχετισμοί μεταξύ των σχεδιαστικών παραμέτρων, του φόρτου κυκλοφορίας και των δεικτών ατυχημάτων στις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας.

2.2 Γεωμετρικά Σχεδιαστικά Πρότυπα

2.2.1 Συσχέτιση ατυχημάτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Σκοπός της συσχέτισης των ατυχημάτων με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών είναι η διατύπωση μαθηματικών εξισώσεων που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναμόρφωση των κανονισμών χάραξης των οδών και σε περιπτώσεις συντήρησης ή ανακατασκευής τμημάτων υφιστάμενων οδών για τη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στην οδική ασφάλεια είναι το όχημα, η οδός και το περιβάλλον, καθώς και οι χρήστες της οδού. Τα ποσοστά συμμετοχής του κάθε παράγοντα στο οδικό ατύχημα είναι διαφορετικά και ποικίλουν από χώρα σε χώρα. Ερευνητικές εργασίες στις Η.Π.Α. οι οποίες ανέλυσαν τη συμμετοχή του κάθε παράγοντα στην πρόκληση οδικού ατυχήματος, έδειξαν ότι το 75% των τροχαίων ατυχημάτων οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, το 10% στο όχημα και το 15% στην οδό και το περιβάλλον. Παρόμοιες εργασίες στη Μ. Βρετανία έδειξαν ότι ο ανθρώπινος παράγοντας μόνος ή σε συνδυασμό με την οδό και το περιβάλλον παίζει ρόλο στο 95% των ατυχημάτων, η οδός στο 28% και το όχημα στο 8,5%.

Η μείωση των ατυχημάτων πρέπει να αποτελεί μια από τις βασικές προτεραιότητες της πολιτείας. Εφόσον ο ανθρώπινος παράγοντας είναι εκείνος ο οποίος ευθύνεται για τα περισσότερα ατυχήματα, πρέπει να δίνεται μεγαλύτερο βάρος στην σωστότερη εκπαίδευση, αστυνόμευση κλπ. Παρόλα αυτά η επίδραση της οδού και του περιβάλλοντος της παίζει σημαντικό ρόλο στην πρόκληση ατυχημάτων. Ως εκ τούτου, ο προσδιορισμός της επίδρασης των επιμέρους χαρακτηριστικών της οδού στην πρόκληση ατυχημάτων αποτελεί σημαντικό πεδίο έρευνας.

Η μεθοδολογία εντοπισμού των επικίνδυνων θέσεων που ακολουθείται σήμερα στις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας με ενιαίο οδόστρωμα, παρουσιάζει σημαντική αδυναμία όσον αφορά εκείνων των παραμέτρων που συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα θέσεις με σοβαρά δομικά προβλήματα να μην χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνες. Οι διάφορες στατιστικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται (μέθοδος κατανομής Poisson, μέθοδος ποιοτικού ελέγχου, μέθοδος Bayes κ.α.) προσδιορίζουν «μελανά» σημεία στα οποία ο αριθμός των ατυχημάτων που έχουν συμβεί υπερβαίνει μια «κρίσιμη» τιμή και έτσι η θέση αυτή χαρακτηρίζεται επικίνδυνη για πρόκληση ατυχημάτων. Οι διορθωτικές επεμβάσεις καθορίζονται εμπειρικά και αποτελούνται από βραχυπρόθεσμες επεμβάσεις (χαμηλού κόστους που περιλαμβάνουν βελτίωση της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, βελτίωση του εξοπλισμού ασφαλείας της οδού κ.λπ.) και μακροπρόθεσμες επεμβάσεις (υψηλού κόστους όπως η βελτίωση των οριζόντιων καμπύλων, μεταβολή της επικλίσης της οριζόντιας καμπύλης κ.α.).

Εκτός του εντοπισμού των επικίνδυνων θέσεων και τη λήψη των κατάλληλων διορθωτικών μέτρων, ειδική μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται και στο στάδιο της μελέτης ενός νέου δρόμου. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι επιλογές των γεωμετρικών μεγεθών ακόμα και όταν τηρούνται τα όρια των κανονισμών δημιουργούν κρίσιμα σημεία τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα. Για το λόγο αυτό πρέπει να εφαρμόζονται από το σύνολο των δυνατών επιλογών (στα πλαίσια πάντοτε μιας συνολικής οικονομοτεχνικής θεώρησης) εκείνες οι οποίες αποδεδειγμένα έχουν μικρότερη επικινδυνότητα.

2.2.2 Επίδραση του πλάτους του οδοστρώματος

Μελέτες έχουν δείξει ότι για την ασφαλή κυκλοφορία των οχημάτων είναι απαραίτητο να καθοριστεί επαρκές πλάτος οδοστρώματος. Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ – Δ τα βασικά πλάτη των λωρίδων κυκλοφορίας κάθε ομάδας διατομών προκύπτουν από το πλάτος του αντιπροσωπευτικού οχήματος μελέτης, συμπεριλαμβανομένου του πλάτους του πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεως. Στην περίπτωση που τα πλάτη δεν είναι ορθά σχεδιασμένα, υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί πρόβλημα σχετικά με την ασφάλεια της κυκλοφορίας στη διατομή. Έτσι λοιπόν, είναι επόμενο να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του πλάτους οδοστρώματος και της ασφαλούς κυκλοφορίας.

Η σχέση μεταξύ πλάτους λωρίδας κυκλοφορίας και ατυχημάτων επιδέχεται δύο ερμηνείες. Η πρώτη ερμηνεία θεωρεί ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας τόσο μεγαλύτερη είναι η μέση απόσταση μεταξύ δύο αντιθέτως κινούμενων οχημάτων. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας τόσο μεγαλύτερος χώρος υπάρχει για διορθώσεις στην πορεία ενός οχήματος σε περιπτώσεις επικίνδυνων ελιγμών. Έτσι στη περίπτωση αυτή ένα όχημα μπορεί να αποφύγει την κίνηση εκτός ασφαλοστρωμένης επιφάνειας.

Η δεύτερη ερμηνεία σχετίζεται με τη ταχύτητα που αναπτύσσεται από ένα όχημα ως επίδραση του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η ταχύτητα αυξάνει με την αύξηση του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επικινδυνότητας μιας οδού.

Η εξέταση της επίδρασης του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας στην αύξηση της επικινδυνότητας μπορεί να γίνει μόνο σε συνδυασμό με την εξέταση των στοιχείων των ατυχημάτων. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας έχει διαφορετική επίδραση σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας και μία λωρίδα ανά κατεύθυνση σε σχέση με οδούς πολλών λωρίδων κυκλοφορίας. Για παράδειγμα οι κανονισμοί οδοποιίας προβλέπουν προσαύξηση του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας κατά 0.25m σε περίπτωση αντίθετης κατεύθυνσης οχημάτων.

Επιπρόσθετα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οδικά τμήματα με μικρή επιφάνεια κυκλοφορίας έχουν χαμηλούς φόρτους. Συνεπώς πρέπει να εξεταστεί και η επίδραση της ΕΜΗΚ (Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία δηλαδή ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος ενός έτους διαιρούμενος με τον αριθμό των ημερών του έτους) στο δείκτη ατυχημάτων. Είναι συνήθως πρακτική σε οδούς με χαμηλούς φόρτους να προτιμώνται διατομές με μικρό πλάτος και γενικά

υποβαθμισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (ακτίνες οριζοντίων καμπύλων, κατά μήκος κλίσεις, αποστάσεις ορατότητας κλπ.).

Συνεπώς η επίδραση του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας στο δείκτη ατυχημάτων εμπεριέχει στοιχεία όπως η κατηγορία της οδού, ο κυκλοφοριακός φόρτος κ.α., τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διερεύνηση της επίδρασης του πλάτους στο δείκτη ατυχημάτων.

Ο Baldwin, (όπως αναφέρεται στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 44), διερεύνησε τα ατυχήματα σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας και ανακάλυψε ότι ο δείκτης ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση του πλάτους του οδοστρώματος. Σύμφωνα με την έρευνα του, φαίνεται να δημιουργούνται μη ευνοϊκές συνθήκες για την κυκλοφοριακή ασφάλεια για πλάτη μικρότερα από 5.5m, ενώ το όφελος της ασφάλειας δεν είναι πολύ μεγαλύτερο για πλάτη μεγαλύτερα από 7m. Ο Cope (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 44), μελέτησε την επίδραση της διαπλάτυνσης των λωρίδων σε δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας στο Illinois. Διερεύνησε 22 οδικά τμήματα όπου τα οδοστρώματα διαπλάτυνθηκαν από τα 5.5m στα 6.7m. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι ο δείκτης ατυχημάτων ανά 10^6 km μειώθηκαν από το 1.4 σε 0.9. Ανέφερε επίσης ότι η μεγαλύτερη μείωση στο δείκτη αυτό εντοπίστηκε στα τμήματα στα οποία αυτός είχε τις υψηλότερες τιμές πριν τη διαπλάτυνση.

Ο Raff (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 44), δεν εντόπισε κάποια σχέση μεταξύ του πλάτους του οδοστρώματος και του δείκτη ατυχημάτων όταν παράμετροι όπως το πλάτος του ερείσματος κ.ά. δεν λαμβάνονταν υπόψη. Αντίθετα, οι Charlesworth και Coburn (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 44), θέσπισαν μια συγκεκριμένη τάση των ατυχημάτων (injury accidents) τα οποία μειώνονται με την αύξηση του πλάτους του οδοστρώματος. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα ευρήματα, ο Perkins (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 44) δεν καθόρισε κάποια σχέση μεταξύ του πλάτους του οδοστρώματος και του δείκτη ατυχημάτων, ακόμα και όταν λαμβάνονταν υπόψη διαφορετικά πλάτη ερεισμάτων. Ο Bitzl (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 45) ανέφερε ότι είναι κατανοητή μια τέτοια σχέση καθώς αν είναι διαθέσιμα μεγαλύτερα πλάτη λωρίδων, οι προσπεράσεις και οι ελιγμοί μπορούν να επιτευχθούν ευκολότερα και με μικρότερο κίνδυνο. Κατά συνέπεια, μια τέτοια προσέγγιση τον κάνει να πιστεύει ότι το μεγαλύτερο πλάτος οδοστρώματος παρέχει μια αύξηση της ασφάλειας.

Από μια Καναδική έρευνα που διεξήχθη από τον Winch (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 45), η αύξηση του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας έχει ως συνέπεια τη μείωση στη συχνότητα των ατυχημάτων σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Παρόμοια

συμπεράσματα ανέφερε και ο Balogh (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 45) για τους δρόμους της Ουγγαρίας.

Σε σύγκρουση με τα παραπάνω αποτελέσματα έρχονται τα δεδομένα που παρουσίασε ο Thorson (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 45) για τους δρόμους της Δανίας. Τα δεδομένα αυτά κατέδειξαν ότι για πλάτη οδοστρώματος μικρότερα από 6m, οι δείκτες ατυχημάτων ήταν μικρότεροι συγκριτικά με τα πιο πλατιά οδοστρώματα. Ανέφερε πως φυσιολογικά η χάραξη στενότερων δρόμων είναι χειρότερη από την αντίστοιχη των δρόμων με πιο πλατύ οδόστρωμα. Κατά συνέπεια αυτό συμβάλλει στην ανάπτυξη χαμηλότερων ταχυτήτων αλλά και τη συνεχή επαγρύπνηση των οδηγών. Παρομοίως, οι Atzwabger και Schmid (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 45) υπολόγισαν ότι ο δείκτης ατυχημάτων αυξάνεται με την αύξηση του πλάτους του οδοστρώματος.

Μια συνοπτική αποτίμηση των διεθνών αποτελεσμάτων από τον Silyanov (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 45), έδειξε ότι για πλάτη οδοστρώματος μεταξύ 4 και 9m, ο δείκτης των ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση του πλάτους. Παρόλα αυτά, ο ρυθμός μείωσης του δείκτη ατυχημάτων ελαττώνεται σε μεγάλο βαθμό για μεγαλύτερα πλάτη οδοστρώματος. Σε μια έρευνα του Babkon (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 46), φαίνεται επίσης η μείωση του δείκτη ατυχημάτων με την αύξηση του πλάτους στο οδόστρωμα.

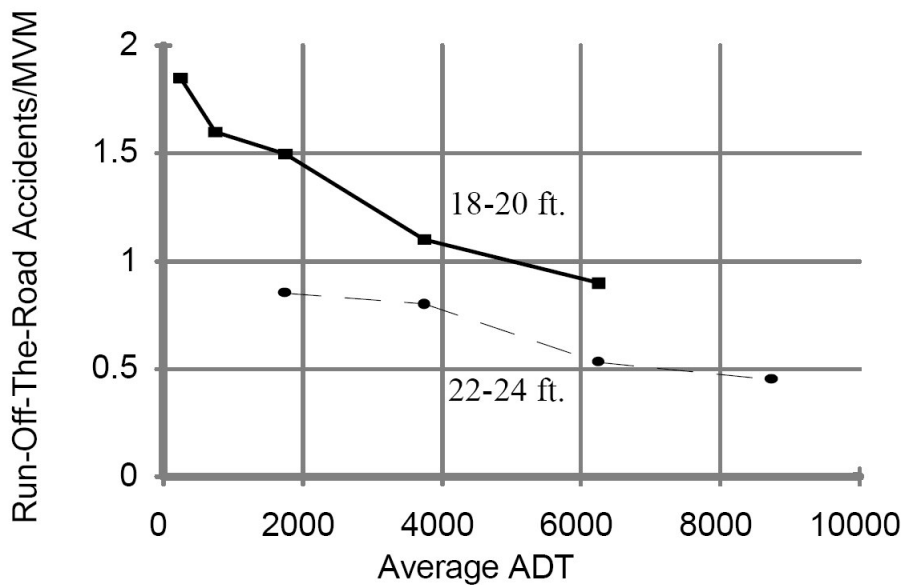
Ο Nilsson (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 46), συνέταξε μια μελέτη στη Σουηδία σχετικά με τη σχέση των μεγεθών αυτών και βρήκε ότι για χαράξεις με κλίσεις μικρότερες από 1.5%, ο δείκτης ατυχημάτων μειώνεται στο μισό κατά τη μετάβαση από τα 6m στα 13m πλάτους του οδοστρώματος.

Ο Kunze (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 46), μελέτησε τη σχέση μεταξύ του δείκτη ατυχημάτων και των διαφορετικών πλατιών οδοστρωμάτων για όλα τα ατυχήματα και όλους τους τύπους ατυχημάτων. Κατέδειξε μια ξεκάθαρη τάση μείωσης του δείκτη ατυχημάτων με την αύξηση του πλάτους στα οδοστρώματα, για όλα τα είδη ατυχημάτων, για αυτά που οφείλονται σε έξοδο από το δρόμο, για τα ατυχήματα στις διασταυρώσεις, για τις μετωπικές συγκρούσεις και τις συγκρούσεις με το προπορευόμενο όχημα.

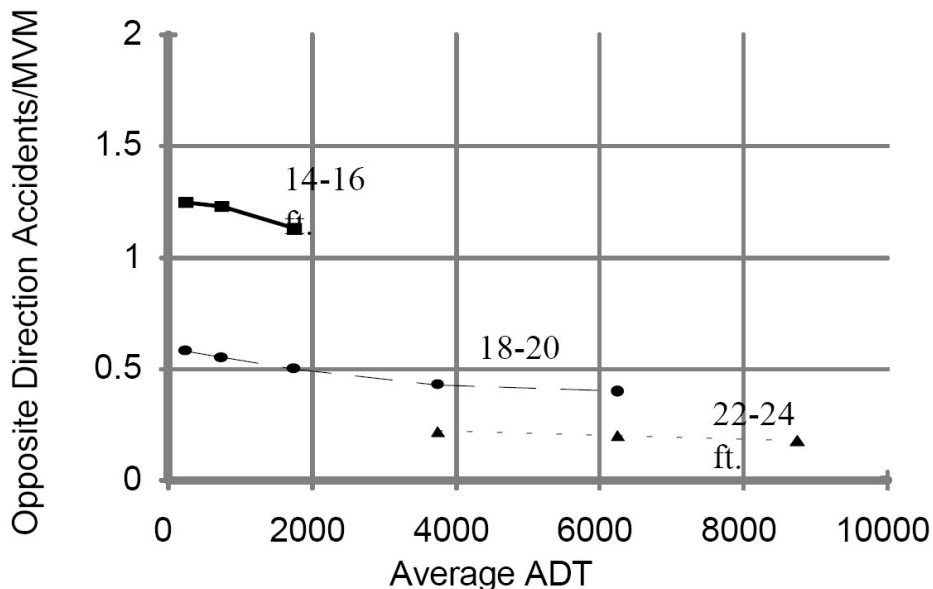
Οι Krebs και Kloeckner (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 46), διερεύνησαν τα ατυχήματα σε δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας ενιαίου οδοστρώματος και διαπίστωσαν πως υπάρχει μια αρνητική γραμμική σχέση μεταξύ του πλάτους οδοστρώματος και του δείκτη ατυχημάτων.

Ανέφεραν επίσης ότι για κάθε αύξηση 1m στο πλάτος οδοστρώματος, η μείωση στο δείκτη ατυχημάτων είναι 0.25 (MV/km).

Στην έρευνα του Zeger et al. το 1981, εξετάστηκαν δεδομένα από 17.000 ατυχήματα στην περιοχή του Κεντάκι, από τμήματα αυτοκινητοδρόμων συνολικού μήκους 25.670 km . Η μεγάλη πλειοψηφία των οδών (70%) δεν είχε έρεισμα. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στα ατυχήματα με ένα όχημα με εκτροπή (run off the road) και σύγκρουση αντίθετων κινουμένων οχημάτων (opposite direction). Η γραφική παράσταση της μεταβολής του δείκτη ατυχημάτων σε σχέση με τη μεταβολή της ΕΜΗΚ και του πλάτους του οδοστρώματος για δύο κατηγορίες οχημάτων φαίνονται στα σχήματα 1, 2. Μείωση του πλάτους του οδοστρώματος κατά 1 ft (=0.33m) συνεπάγεται αύξηση του δείκτη ατυχημάτων κατά 1,12 φορές. Συνεπώς ένα οδόστρωμα πλάτους 18ft (=5,5m) αναμένεται να έχει $1,12^4 = 1,57$ φορές περισσότερα ατυχήματα τύπου εκτροπής από ένα οδόστρωμα πλάτους 22ft (=6,70 m).



Σχήμα 1: Μεταβολή του δείκτη ατυχημάτων σε συνάρτηση της ΕΜΗΚ και του πλάτους του οδοστρώματος για ατυχήματα τύπου εκτροπής



Σχήμα 2: Μεταβολή του δείκτη ατυχημάτων σε συνάρτηση της ΕΜΗΚ και του πλάτους του οδοστρώματος για ατυχήματα τύπου σύγκρουσης αντιθέτων κινούμενων οχημάτων

Οι Zegeer et. Al. το 1987, εξέτασαν την επίδραση του πλάτους οδοστρωσίας, πλάτους ερεισμάτων, κλίσης πρανών επιχωμάτων και ορυγμάτων κ.α. στο δείκτη ατυχημάτων. Συλλέχθηκαν στοιχεία ατυχημάτων, κυκλοφορικά δεδομένα και στοιχεία της γεωμετρίας της οδού (πλάτη, κλίσεις πρανών κ.α.) από 1.944 τμήματα υπεραστικών οδών δύο λωρίδων συνολικού μήκους 4.951 μιλίων.

Τα συμπεράσματα από την στατιστική ανάλυση των παραπάνω δεδομένων είναι:

- i. Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας και του ερείσματος έχουν άμεση επίδραση στα ατυχήματα τύπου εκτροπής και σύγκρουσης αντίθετων οχημάτων.
- ii. Οι δείκτες ατυχημάτων για τους παραπάνω δύο τύπους ατυχημάτων μειώνονται με την αύξηση του πλάτους της λωρίδας ή του ερείσματος.
- iii. Η μεταβολή του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας έχει μεγαλύτερη επίδραση στο δείκτη ατυχημάτων σε σχέση με τη μεταβολή του πλάτους του ερείσματος.
- iv. Μη σταθεροποιημένα ερείσματα (με χρήση φυτικής γης, θραυστών υλικών χωρίς συμπύκνωση κλπ.) εμφανίζουν μεγαλύτερους δείκτες ατυχημάτων σε σχέση με σταθεροποιημένα ερείσματα από σκυρόδεμα ή ασφαλτικό.

Ο Rumar (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 46), βασιζόμενος στην πριν και μετά σύγκριση του κινδύνου ατυχημάτων ανέφερε ότι με την αύξηση του πλάτους οδοστρώματος, ο δείκτης ατυχημάτων μειώνεται.

Ξέχωρα από το πλάτος οδοστρώματος, οι Cirillo και Council (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 47), αναφέρουν σχετικά με το πλάτος ερεισμάτων ότι οι περισσότερες μελέτες συμφωνούν ότι τα πλάτη ερεισμάτων μέχρι 1.8m σε δρόμους με μέση ημερήσια κυκλοφορία (Μ.Η.Κ) μεγαλύτερη από 1.000 οχήματα παρέχουν οφέλη σχετικά με την ασφάλεια. Η επίδραση αυτή όμως για πλάτη μεγαλύτερα από 1.8m δεν είναι εμφανής.

Από την έρευνα των Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 (Part II, σελ. 101), μελετήθηκε η επίδραση της διαπλάτυνσης των λωρίδων κυκλοφορίας στις λειτουργικές ταχύτητες και στο ρυθμό των ατυχημάτων. Στη συγκεκριμένη μελέτη αναφέρεται ότι για μεγαλύτερα πλάτη λωρίδας, αναμένονται μεγαλύτερες λειτουργικές ταχύτητες και μάλιστα με τη μείωση της οριζοντιογραφικής ακτίνας, οι λειτουργικές ταχύτητες για τα διάφορα πλάτη οδοστρωμάτων μειώνονται με σχεδόν παράλληλη σχέση. Αναφορικά με το ρυθμό των ατυχημάτων, για βαθμό καμπύλης μέχρι 5°, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές για τα διαφορετικά πλάτη λωρίδων. Για μεγαλύτερους βαθμούς καμπύλης όμως, σημειώνεται ότι για κάθε αύξηση 1°, αναμένεται μια αύξηση 1.5 ατυχημάτων ανά 10⁶ οχηματομιλίων στις λωρίδες των 10 (3m) ή 11 ποδιών (3,35m) σε σχέση με τα ατυχήματα που συμβαίνουν στις λωρίδες των 12 (3,65m) ποδιών. Κατά συνέπεια, για βαθμούς καμπύλης πάνω από 5°, το πλάτος της λωρίδας ασκεί σημαντική επιρροή στην ασφάλεια της κυκλοφορίας. Να σημειωθεί όμως ότι με βάση την έρευνα αυτή, οι διαφορές στους ρυθμούς

των ατυχημάτων είναι πιο έκδηλες μεταξύ των λωρίδων των 12 και 11 ποδιών από τις αντίστοιχες για πλάτη λωρίδων 11 και 10 ποδιών.

Συμπερασματικά μπορούμε να καταλήξουμε ότι οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες μελέτες έδειξαν ότι ο δείκτης ατυχημάτων συσχετίζεται αρνητικά με το πλάτος οδοστρώματος όταν αυτό είναι περίπου μέχρι 7,5 m.

2.2.3 Επίδραση της ακτίνας της καμπύλης

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός οδικού τμήματος επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ασφαλή και αποτελεσματική κίνηση της κυκλοφορίας. Παρατηρώντας τους χάρτες ατυχημάτων για υπεραστικές οδούς ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας, προκύπτει το συμπέρασμα πως τα ατυχήματα συγκεντρώνονται ως επί το πλείστον στις καμπύλες και ειδικότερα στις πιο κλειστές καμπύλες. Παρά το γεγονός ότι κατά το σχεδιασμό του εκάστοτε οδικού τμήματος παρέχονται πληροφορίες και λεπτομέρειες σχετικά με την οδήγηση στο υπό μελέτη κομμάτι, οι οποίες προέρχονται από δυναμικές φόρμουλες και διατυπώσεις αλλά και από καθορισμένες τιμές, οι συχνότητες των ατυχημάτων δεν αντιστοιχούν στην πραγματική οδική συμπεριφορά όπως συχνά φαίνεται από την υψηλή συχνότητα των ατυχημάτων στις κλειστές καμπύλες. Για αυτό το λόγο, έχουν γίνει διάφορες απόπειρες στα στάδια μελέτης να εξεταστεί η αναμενόμενη οδική συμπεριφορά στις καμπύλες. Κάτι τέτοιο έχει προταθεί από πολλούς συγγραφείς (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 47) και θεωρείται απαιτούμενο στις ελβετικές και τις γερμανικές οδηγίες. (βλ. 2.4.1 και 2.4.3.2)

Η οριζοντιογραφική χάραξη του δρόμου φυσικά δεν καθορίζεται μόνο από την οριζοντιογραφική ακτίνα της καμπύλης. Η συνέχεια και η αρμονία της χάραξης αναφορικά με την αλληλουχία καμπύλων επιδρά καταλυτικά στην ασφαλή διέλευση των μετακινουμένων από το υπό εξέταση κομμάτι. Δηλαδή, μια καμπύλη συγκεκριμένης ακτίνας, εάν χρησιμοποιηθεί σε ένα σύμπλεγμα καμπύλων παρόμοιας ακτίνας εναρμονίζεται πολύ καλύτερα, επιδρά διαφορετικά από ότι εάν εντοπίζεται σε μια αλληλουχία μη εναρμονισμένων καμπυλών μεταξύ τους. Ακόμα, μια καμπύλη που συνδυάζεται με μια μικρή αλλαγή στη χάραξη, έχει μικρότερη επίδραση στην οδική συμπεριφορά από ότι αν η ίδια η ακτίνα υπήρχε σε μια περιοχή όπου ο ρυθμός της μεταβολής ήταν μεγαλύτερος, (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987). Παρόλα αυτά η ποσοτικοποίηση όλων αυτών των επιδράσεων είναι δύσκολη και κατά συνέπεια στην πλειοψηφία τους, η πλειονότητα των προηγούμενων

διερευνήσεων έχουν επιλέξει την ακτίνα ως το βασικό προσδιοριστικό παράγοντα της αξιολόγησης των συγκρούσεων σε σχέση με την οριζόντια χάραξη.

Παρότι η επικρατούσα άποψη είναι ότι με την αύξηση της ακτίνας της καμπύλης ο κίνδυνος ατυχήματος μειώνεται, οι απόψεις διαφοροποιούνται σχετικά με το μέγεθος της επίδρασης αυτής.

Από την έρευνα του Baldwin (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 49) που διεξήχθη στους αμερικάνικους δρόμους με φόρτο κυκλοφορίας μικρότερο από 5.000 οχήματα, βρέθηκε ότι ο δείκτης ατυχημάτων είναι αρνητικά συσχετισμένος με την ακτίνα της καμπύλης. Σε δρόμους με μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (Ε.Μ.Η.Κ.) μεταξύ 5.000 και 10.000 οχήματα η σχέση αυτή δεν μπορούσε να επαληθευθεί. Κατά κύριο λόγο, όπως είναι αναμενόμενο μικρότεροι δείκτες ατυχημάτων εντοπίζονται σε δρόμους με αρμονία και συνέχεια στην οριζοντιογραφική χάραξη και με μικρό φόρτο κυκλοφορίας.

Καθώς τα ατυχήματα που συμβαίνουν στις απότομες καμπύλες είναι κατά κύριο λόγο ατυχήματα που οφείλονται σε εκτροπή του οχήματος από το δρόμο, ο Pfundt (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 49) διατύπωσε ότι σε δρόμους με μικρό φόρτο οι οδηγοί τείνουν να οδηγούν γρηγορότερα σε αντίθεση με τους δρόμους με μεγαλύτερο φόρτο. Η διαπίστωση αυτή μπορεί να εξηγήσει τα ευρήματα της έρευνας του Baldwin.

Ακόμα μια ενδιαφέρουσα επισήμανση είναι ότι ο Baldwin (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 50) συμπέρανε ότι ο ρυθμός ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση στη συχνότητα των καμπυλών ακτίνας μέχρι 600m. Κατά συνέπεια, αν σε ένα οδικό τμήμα υπάρχει μία καμπύλη μικρής ακτίνας, αυτή αξιολογείται δυσμενέστερα από ότι αν υπήρχε μια αλληλουχία καμπυλών παρόμοιας ακτίνας.

Από την έρευνα του Coburn (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 50), διαπιστώθηκε πως για οριζοντιογραφικές ακτίνες μικρότερες από 175m ο δείκτης ατυχημάτων ήταν ιδιαίτερα υψηλός. Παρόλα αυτά, για μεγαλύτερες ακτίνες, η βελτίωση της κυκλοφοριακής ασφάλειας ήταν αρκετά μικρή. Σε μια μετέπειτα δημοσίευση, ο Coburn (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 50), ανέφερε ότι ο ρυθμός ατυχημάτων ήταν πράγματι μεγαλύτερος στις απότομες (μικρής ακτίνας) καμπύλες παρά στις πιο ομαλές καμπύλες.

Ο Raff (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 50), διερεύνησε την επιρροή πρόσθετων παραμέτρων στο δείκτη ατυχημάτων. Η έρευνα του αποκάλυψε ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση της ακτίνας για κυκλοφοριακούς φόρτους μικρότερους από 5.000 οχήματα την ημέρα. Η τάση αυτή για μεγαλύτερους φόρτους δεν ήταν εμφανής. Όταν έλαβε υπόψη και την επίδραση της κατά μήκους κλίσης, βρήκε ότι οι τάσεις στο ρυθμό ατυχημάτων ήταν αντίστοιχες για κλίσεις μικρότερες και μεγαλύτερες από 3%, με την εξαίρεση ότι για κλίσεις μεγαλύτερες από 3% ο δείκτης ατυχημάτων ήταν περίπου 25% μεγαλύτερος.

Στους Γερμανικούς δρόμους, ο Bitzl (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 50), βρήκε ότι όταν εξετάζονταν διαφορετικές κατηγορίες πλάτους οδοστρώματος, ο ρυθμός ατυχημάτων μειωνόταν με την αύξηση της ακτίνας για όλες τις κατηγορίες. Η μείωση αυτή ήταν αισθητή κυρίως για πλάτη οδοστρωμάτων μικρότερα από 8.5m. Για μεγαλύτερα πλάτη, παρατηρήθηκε μια ανεπαίσθητη μείωση.

Η σχέση μεταξύ του ρυθμού ατυχημάτων και της ακτίνας της καμπύλης διατυπώθηκε και σε μια μελέτη του Balogh (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 51), για τους δρόμους της Ουγγαρίας. Βρήκε ότι ο ρυθμός ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση των ακτινών των καμπυλών.

Ο Vasilev (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 51), σε μια μελέτη ατυχημάτων σε ορεινές υπεραστικές οδούς της Ρωσίας (USSR) υπολόγισε ότι με την αύξηση στην ακτίνα μιας καμπύλης, παρατηρείται μια σταθερή μείωση στο ρυθμό των ατυχημάτων. Ο Vasilev διατύπωσε επίσης ότι λόγω της μεγάλης φυγόκεντρου δύναμης στις καμπύλες με μικρή ακτίνα, ο κίνδυνος ατυχήματος στις καμπύλες αυτές είναι μεγαλύτερος. Σχετικά με το προκείμενο, ο Knoeflacher (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 51), διαπίστωσε ότι για ακτίνες μέχρι 800m, το ποσοστό των ατυχημάτων που οφείλονται σε ντεραπάρισμα είναι μεγαλύτερο σε βρεγμένο από ότι σε στεγνό οδόστρωμα και η διαφορά αυτή είναι ιδιαίτερα μεγάλη στις ακτίνες μικρότερες από 250m.

Ο Wilson (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 51), ανέφερε ότι ο ρυθμός ατυχημάτων σε καμπύλες ακτίνας μικρότερης από 170m ήταν περίπου 5 φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο σε καμπύλες με ακτίνα μεγαλύτερη από 910m. Εκτός αυτού, επεσήμανε τον κίνδυνο που ενέχει μια καμπύλη μετά από ένα μεγάλο ευθύγραμμο τμήμα. Ο κίνδυνος αυτός των μεμονωμένων καμπύλων αναφέρθηκε και από τον Babkon (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 51). Πιο συγκεκριμένα, μίλησε για ασφαλείς καμπύλες όπου η διαφορά των ταχυτήτων πριν και μέσα στην καμπύλη είναι μικρότερη του 20%, για σχετικά ασφαλείς καμπύλες όπου η αντίστοιχη διαφορά είναι μεταξύ 20 και 40%, για επικίνδυνες καμπύλες όπου η

διαφορά στις ταχύτητες είναι μεταξύ 40 και 60% και τέλος για πολύ επικίνδυνες καμπύλες όταν η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη από 60%.

Ο Pfundt (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 52), συμπέρανε ότι περίπου το 75% των ατυχημάτων που οφείλονται στην έξοδο του οχήματος από το δρόμο προκύπτουν ή στις καμπύλες είτε κοντά σε αυτές και άρα η επίδρασή των καμπυλών δεν μπορεί αγνοηθεί. Για οδικά τμήματα με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, έδειξε ότι ο κίνδυνος των ατυχημάτων που οφείλονται στην έξοδο του οχήματος από το δρόμο αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η ασυνέχεια της χάραξης. Συνεπώς, τα οδικά τμήματα που αποτελούνται από λίγες καμπύλες είναι πιο επικίνδυνα από αυτά που περιλαμβάνουν πολλές στροφές.

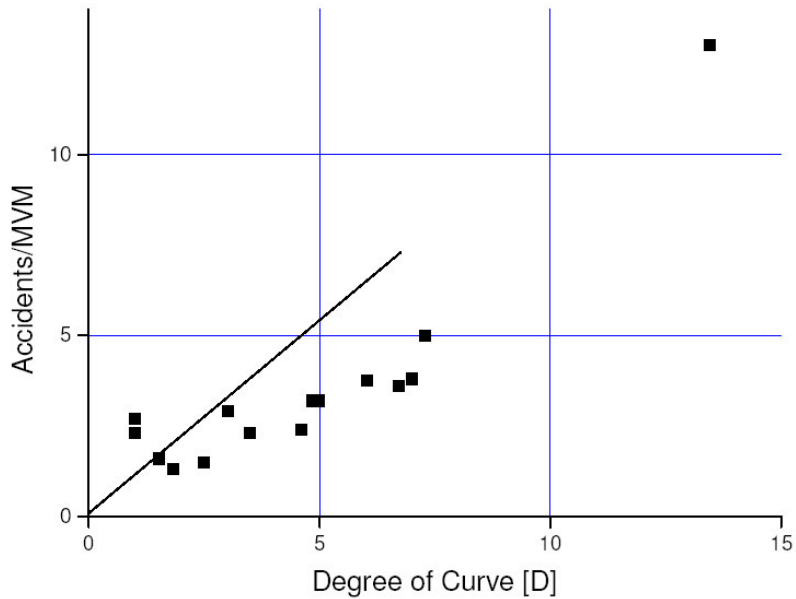
Χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων δέκα ερευνών από διαφορετικές χώρες, ο Silyanov (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 52), ανέπτυξε μια εξίσωση παλινδρόμησης για τον προσδιορισμό του ρυθμού των ατυχημάτων ως συνάρτηση της ακτίνας της καμπύλης. Βρήκε ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση της ακτίνας. Σε ανάλογο συμπέρασμα κατέληξε και ο O'Flaherty (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 52), σε μια μελέτη ατυχημάτων που διεξήγαγε στη Μεγάλη Βρετανία.

Οι Krebs και Kloeckner (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 52), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με την αύξηση της ακτίνας της καμπύλης ο ρυθμός ατυχημάτων ξεκάθαρα μειώνεται και ότι στα τμήματα με ακτίνα μικρότερη από 200m ο ρυθμός αυτός είναι διπλάσιος από ότι στα τμήματα με ακτίνα μεγαλύτερη από 400m. Ανέφεραν επίσης ότι η ακτίνα των 400m αποτελεί κρίσιμο σημείο στον τομέα της ασφάλειας και ότι για ακτίνες μεγαλύτερες από 400m το όφελος υπέρ της ασφάλειας είναι αρκετά μικρό. Παρόλα αυτά, ακτίνες μεταξύ 500 και 800m φανερώνουν καμία φορά μια μικρή αύξηση του κινδύνου ατυχήματος, ίσως λόγω της εμπιστοσύνης που δίνουν στον οδηγό να αναπτύξει ταχύτητα. Ο Lamm (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 52), εξηγεί ότι συχνά, αρκετά μεγάλες ακτίνες είναι σχεδιασμένες για μικρές ταχύτητες μελέτης για τις οποίες τα ποσοστά των επικλίσεων είναι της τάξης του 2 – 3 %. Οι παρατηρούμενες V_{85} δείχνουν όμως ότι οι επικλίσεις που απαιτούνται είναι πάνω από 5,5%. Έτσι λοιπόν δημιουργείται μια ανακολουθία μεταξύ της ταχύτητας μελέτης και της λειτουργικής ταχύτητας πράγμα το οποίο επηρεάζει αρνητικά την ασφάλεια κυκλοφορίας στο οδικό τμήμα.

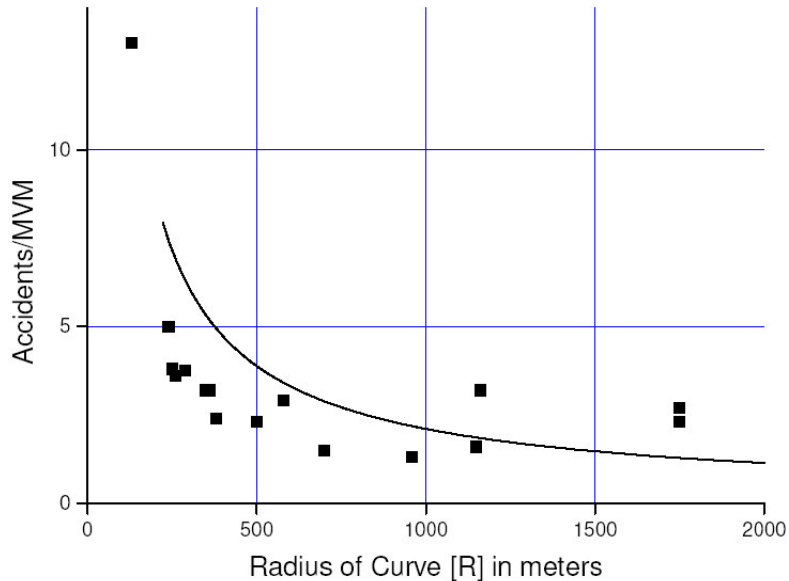
Ο Rumar (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 53), ανέλυσε 14.000 ατυχήματα σε τμήματα μήκους 9.000km σε δρόμους δύο λωρίδων της Σουηδίας και τα αποτελέσματά του έδειξαν μια μείωση του

ποσοστού των ατυχημάτων με την αύξηση των ακτινών των οριζοντιογραφικών καμπυλών.

Μια από τις πρώτες ολοκληρωμένες μελέτες είναι αυτή των Leisch and Associates. Βασίζεται στη χρήση στοιχείων παλαιών μελετών. Τα στοιχεία των ίδιων δεδομένων χρησιμοποιούνται και στα σχήματα (σχήμα 3 και 4). Το ένα συσχετίζει το δείκτη ατυχημάτων με το βαθμό καμπυλότητας, και το άλλο με την ακτίνα της καμπύλης.



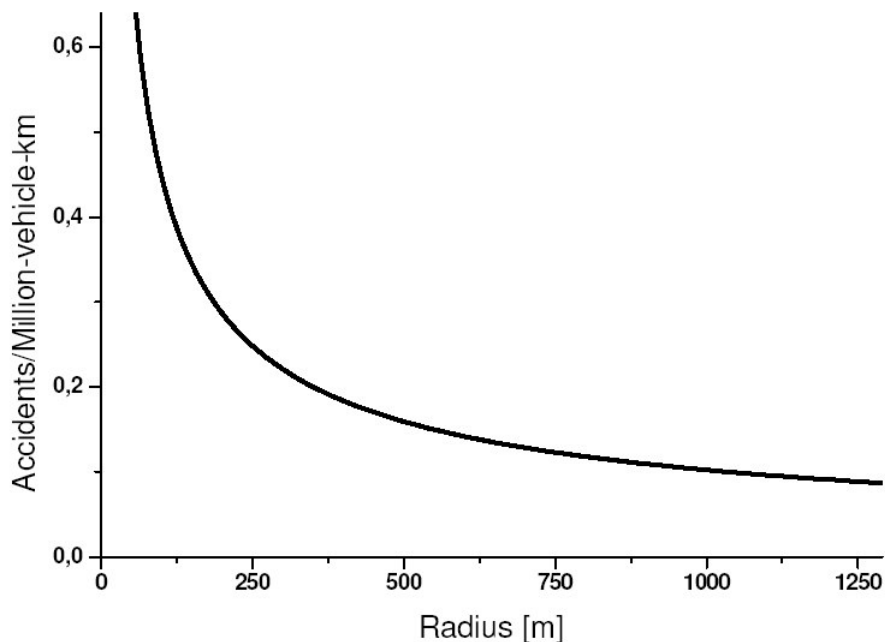
Σχήμα 3: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας. Έρευνα Raff (1956)



Σχήμα 4: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης, Έρευνα Leisch & Assoc. (1974)

Στο διάγραμμα «αριθμός ατυχημάτων – βαθμός καμπυλότητας» είναι προφανές ότι η μείωση από 10 βαθμούς στους 9 βαθμούς έχει περίπου το ίδιο ευεργετικό αποτέλεσμα στον αριθμό ατυχημάτων, όπως μια μείωση από 3 σε 2 βαθμούς.

Στο διάγραμμα «αριθμός ατυχημάτων – ακτίνα καμπύλης φαίνεται ότι, όταν αυξάνει η ακτίνα από 200m στα 300m, έχει πολύ περισσότερο ευεργετικό αποτέλεσμα στον αριθμό των ατυχημάτων από μια αύξηση από 900m στα 1.000m. Αυτό μερικές φορές είχε ερμηνευτεί λάθος, ότι σήμαινε πως η συνάρτηση είχε κάποια καμπή γύρω στα R=500m και πως αυξάνοντας την ακτίνα πάνω από τα π.χ. 500m η συσχέτιση είναι σταθερή.

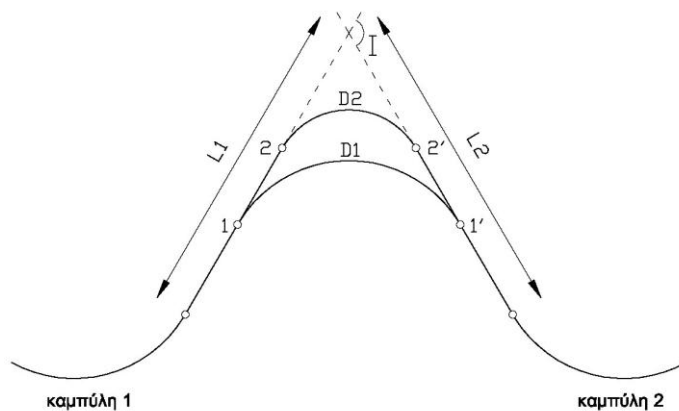


Σχήμα 5: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης, Έρευνα Matthews & Barnes.

Μια άλλη επιβεβαίωση της σχέσης μεταξύ αριθμού ατυχημάτων και βαθμού καμπυλότητας ή ακτίνας, έρχεται από τη μελέτη των Matthews and Barnes στη Νέα Ζηλανδία. Τα δεδομένα προέρχονται από 4.666 καμπύλες αυτοκινητοδρόμων και από 5 έτη ατυχημάτων (σύνολο 1.082). Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας.

2.2.4 Τρόπος επίδρασης της καμπύλης στα ατυχήματα

Υπάρχουν δύο υποθέσεις πάνω στο τρόπο με τον οποίο επιδρά η καμπυλότητα στην πρόκληση ατυχημάτων και πάνω σε αυτές γίνονται σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες. Η πρώτη υπόθεση υποστηρίζει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός καμπυλότητας μιας καμπύλης (δηλ. όσο μικρότερη είναι η ακτίνα) τόσο αυξάνει ο κίνδυνος ατυχήματος σε αυτή τη καμπύλη και μάλιστα ο κίνδυνος αυτός είναι όμοιος σε όλο το μήκος της καμπύλης. Η δεύτερη υπόθεση αναφέρει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός καμπυλότητας μιας καμπύλης τόσο αυξάνει ο κίνδυνος ατυχήματος στην είσοδο και στην έξοδο της καμπύλης ενώ κατά τη διάνυση της καμπύλης ο κίνδυνος ατυχήματος είναι ίσος με αυτόν στην ευθυγραμμία του εξεταζόμενου τμήματος.



Σχήμα 6: Επιλογή οριζόντιας ακτίνας για δεδομένη πολυγωνική

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων απαιτείται ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης του ατυχήματος ο οποίος είναι γενικά δύσκολος ιδίως για τα ελληνικά δεδομένα του τρόπου καταγραφής της θέσης του ατυχήματος.

Πρώτη Υπόθεση : Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η πρώτη υπόθεση υποστηρίζει ότι ο δείκτης ατυχημάτων εξαρτάται από το βαθμό καμπυλότητας και είναι σταθερός σε όλο το μήκος της καμπύλης. Έτσι λοιπόν μπορούμε να διατυπώσουμε το εξής:

Αυξάνοντας το βαθμό καμπυλότητας μιας καμπύλης από D_1 σε D_2 αυξάνεται ο αναμενόμενος δείκτης ατυχημάτων.

Δεύτερη Υπόθεση : Θεωρεί ως επικίνδυνα σημεία σε ένα κυκλικό τόξο τα σημεία εισόδου και εξόδου του. Αυτό σημαίνει ότι εάν ο οδηγός καταφέρει να αντιμετωπίσει τη δυσκολία της αλλαγής από το ευθύγραμμο τμήμα στο κυκλικό τόξο θα καταφέρει να διανύσει την καμπύλη χωρίς πρόβλημα. Είναι προφανές ότι η δυσκολία αλλαγής από το ευθύγραμμο στο κυκλικό τόξο και αντίστροφα εξαρτάται και από το βαθμό καμπυλότητας του κυκλικού τόξου.

2.2.5 Επίδραση της κατά μήκος κλίσης

Από μια έρευνα του Bitzl στη δεκαετία του 50 που διεξήχθη σε υπεραστικούς δρόμους της Γερμανίας δύο λωρίδων κυκλοφορίας η οποία αναφέρεται από τον Pucher (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 56), συστάθηκε μια ασθενής αλλά στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ του ρυθμού ατυχημάτων και των κατά μήκος κλίσεων. Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα αυτά, υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος ατυχημάτων για κατά μήκος κλίσεις μεγαλύτερες από 4% από ότι όταν οι κλίσεις είναι μικρότερες.

Σε μια άλλη δημοσίευση που σχετίζεται με τους γερμανικούς αυτοκινητοδρόμους, ο Bitzl (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 56), βρήκε μια σχέση μεταξύ των παραπάνω χαρακτηριστικών. Ανέφερε ότι έντονες κλίσεις της τάξης του 6 με 8% είναι υπαίτιες για την πρόκληση 4 φορές παραπάνω ατυχημάτων από ότι κλίσεις μικρότερες από 2%.

Ο Vasilev (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 56), ανέφερε επίσης ότι μόνο για εξαιρετικά έντονες κλίσεις οι δείκτες ατυχημάτων εμφανίζουν υψηλές τιμές. Εξάλλου, ο Silyanov (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 56), ανέπτυξε μια εξίσωση παλινδρόμησης, από δεδομένα μιας έρευνας που περιελάμβανε στοιχεία από τη Γερμανία, τη Μεγάλη Βρετανία και τη Ρωσία, σύμφωνα με την οποία ακόμα και στις μικρές κλίσεις μπορεί να αναμένεται μια αύξηση στο ρυθμό των ατυχημάτων. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφερε και ο Babkov (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 56).

Οι Krebs και Kloeckner (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ. 56), ανέλυσαν δεδομένα ατυχημάτων σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων και βρήκαν ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων αυξάνεται ελαφρώς για κλίσεις μικρότερες από 7%. Παρόλα' αυτά, για κλίσεις μεγαλύτερες από 7% παρατηρήθηκε μια πιο απότομη αύξηση στο ρυθμό των ατυχημάτων.

Οι περισσότερες έρευνες καταδεικνύουν ότι στις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας μπορεί να αναμένεται μια αύξηση στο ρυθμό των ατυχημάτων στις αρκετά έντονες κλίσεις. Ωστόσο, δεν προκύπτει να υπάρχει κάποια ικανοποιητική τάση μεταξύ των κατά μήκος κλίσεων και του ρυθμού ατυχημάτων.

2.2.6 Επίδραση του μήκους ορατότητας

Σημαντικό χαρακτηριστικό για την ασφαλή κυκλοφορία των οχημάτων σε ένα οδικό τμήμα είναι το διαθέσιμο μήκος ορατότητας. Οι δρόμοι πρέπει να παρέχουν το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, την απόσταση δηλαδή που χρειάζεται ένας μέσος οδηγός για να σταματήσει με ασφάλεια το όχημα του εάν κινείται στην ταχύτητα μελέτης, πριν να παρουσιαστεί ένα ακίνητο εμπόδιο στην πορεία του. Παρόλα αυτά, επειδή τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο να αποκωδικοποιηθεί η πληροφορία που βρίσκεται στο δρόμο και ο οδηγός πρέπει να πάρει πολύπλοκες ή άμεσες αποφάσεις, ή απαιτείται ένας απροσδόκητος ελιγμός, τα μήκη ορατότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερα από το μήκος που απαιτείται για να ακινητοποιηθεί το όχημα.

Το μήκος ορατότητας εξαρτάται τόσο από την οριζοντιογραφική χάραξη όσο και από τη κατά μήκος χάραξη αποτελεί χαρακτηριστικό μείζονος σημασίας για την κυκλοφοριακή ασφάλεια. Συγκεκριμένα, ο Hiersche (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 57), θεωρεί ότι το μήκος ορατότητας είναι το πιο σημαντικό κριτήριο στην αξιολόγηση της χάραξης ενός δρόμου. Οι Krebs και Kloeckner (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 57), δεν συμφωνούν πλήρως με τη διατύπωση αυτή αλλά αναφέρουν ότι η ανεπάρκεια στα μήκη ορατότητας είναι αιτία πολλών ατυχημάτων. Οι Meyer, Jacobi και Stiefel (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 57), βρήκαν ότι το 24% περίπου όλων των ατυχημάτων στους υπεραστικούς δρόμους οφείλονταν σε ελιγμούς προσπέρασης όπου τα μήκη ορατότητας για προσπέραση δεν ήταν επαρκή. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξε και ο Netzer (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 57), ο οποίος υπολόγισε ότι οι ελιγμοί προσπέρασης ευθύνονται για το 21% περίπου όλων των ατυχημάτων.

Μια ανάλυση των ατυχημάτων στους αμερικάνικους δρόμους του Young (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 57), ανέφερε ότι υπάρχει υψηλός αρνητικός συσχετισμός του δείκτη ατυχημάτων με το μήκος ορατότητας. Για παράδειγμα, ο ρυθμός των ατυχημάτων για μήκος ορατότητας μικρότερο από 240m ήταν διπλάσιος από ότι για μήκος ορατότητας μεγαλύτερο από 750m.

Σε μια γερμανική έρευνα, οι Bitzl και Stenzel (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 59), ανέφεραν ότι για μήκη ορατότητας μεταξύ 400 και 600m, η συχνότητα των ατυχημάτων που σχετίζονταν με αντικανονικές προσπεράσεις μεγάλωνε ραγδαία. Ο Sparks (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 59), δημιούργησε ένα συγκεκριμένο αρνητικό συσχετισμό μεταξύ του μήκους ορατότητας για στάση και του ρυθμού ατυχημάτων.

Ο Silyanov (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 59), επικαλούμενος τη μελέτη του η οποία βασίζεται σε άλλες έρευνες, βρήκε μια αρνητική σχέση μεταξύ του μήκους ορατότητας και του δείκτη ατυχημάτων. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφερε και ο Kunze (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 59), σε μια μελέτη ατυχημάτων σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων στη Βόρεια Γερμανία.

Οι Krebs και Kloeckner (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 59), στην έρευνα τους για τα ατυχήματα σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων στη Γερμανία βρήκαν ότι ο κίνδυνος ατυχήματος μειώνεται καταφανώς με την αύξηση του μήκους ορατότητας. Πιο συγκεκριμένα, για μήκη ορατότητας μικρότερα από 100m, ο ρυθμός ατυχημάτων είναι συγκριτικά μεγάλος, ενώ για μήκη ορατότητας μεταξύ 100 και 200m το αντίστοιχο μέγεθος είναι $\frac{1}{4}$ μικρότερο. Για μήκη ορατότητας μεταξύ 200 και 600m δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά στο ρυθμό των ατυχημάτων αλλά είναι αξιοσημείωτη η παρατήρηση ότι για μήκη ορατότητας μεγαλύτερα από 600m παρατηρείται επίσης μια σημαντική μείωση.

Στις προαναφερθείσες μελέτες έχει βρεθεί μια καθαρά αρνητική σχέση μεταξύ του διατιθέμενου μήκους ορατότητας και του κινδύνου ατυχήματος. Παρόλο που μπορεί να υποθεθεί ότι άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν, όπως είναι τα πλατύτερα οδοστρώματα, οι ομαλότερες καμπύλες κ.α. έχουν μερίδιο στην παρατηρούμενη θετική επίδραση των μεγαλύτερων μηκών ορατότητας. Ειδικά για τα στενά οδικά τμήματα, μια αύξηση στα μήκη ορατότητας μπορεί να έχει ωφέλιμα αποτελέσματα στην οδική ασφάλεια.

2.2.7 Επίδραση του Φόρτου κυκλοφορίας

Από τον ορισμό του ρυθμού των ατυχημάτων (ατυχήματα/οχηματοχιλιόμετρα) υποδηλώνεται η ύπαρξη μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ του φόρτου κυκλοφορίας και του αριθμού των ατυχημάτων. Ο διπλασιασμός δηλαδή του φόρτου θα έπρεπε να διπλασιάσει και τον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ ο ρυθμός των ατυχημάτων θα έπρεπε να είναι ο ίδιος και στις δύο περιπτώσεις. Εν τούτοις, καθώς ο κυκλοφοριακός φόρτος επηρεάζει τόσο τη σφοδρότητα όσο και τη συχνότητα των ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου, η σχέση αυτή δεν υφίσταται στη πράξη. Η παραπάνω υπόθεση μπορεί πρακτικά να δικαιολογηθεί μόνο για μικρό εύρος της διακύμανσης του φόρτου.

Επιπρόσθετα, λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση μεταξύ της ετήσιας μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας (ΕΜΗΚ) και του ρυθμού των ατυχημάτων θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι τα οδικά τμήματα με μεγαλύτερους φόρτους αντιπροσωπεύουν δρόμους καλύτερου σχεδιασμού (μεγαλύτερα πλάτη δρόμου, καλύτερη οριζοντιογραφική χάραξη, μικρότερες κατά μήκος κλίσεις κ.α.). Το γεγονός αυτό ασκεί και τη μεγαλύτερη επιρροή για όλες τις σχετικές μελέτες που συντάσσονται.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση που ακολουθεί και βασίζεται στις αναφορές των Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 60), σε δρόμους της Αμερικής φανέρωσε ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων αυξάνεται όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνεται μέχρι τα 9.000 οχήματα ημερησίως. Για αύξηση του φόρτου πέρα από το σημείο αυτό ο ρυθμός των ατυχημάτων μειώνεται απότομα. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκε ο Raff (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), ο οποίος έδειξε ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση του φόρτου παραπάνω από τα 10.000 οχήματα ημερησίως. Ο Belmont (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), δημιούργησε μια θετική γραμμική σχέση μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου σε ευθυγραμμίες δύο λωρίδων στην Καλιφόρνια, παρόλα αυτά το ποσοστό της αύξησης επηρεαζόταν από το πλάτος των ερεισμάτων. Ο Moskowitz (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), υπολόγισε μια θετική μη γραμμική σχέση μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του φόρτου κυκλοφορίας.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω αποτελέσματα, τα δεδομένα που παρουσίασε ο Lefevre (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), για υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας του Βελγίου, προσδιόρισαν ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση του φόρτου μέχρι τα 7.500 οχήματα ημερησίως. Ο Goldberg (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), διερεύνησε ατυχήματα που συνέβησαν σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας στη Γαλλία και βρήκε ότι για φόρτους μέχρι 20.000 οχήματα την ημέρα, υπήρχε μια κατανομή σχήματος U μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του φόρτου, παρότι η επιρροή ήταν ασθενής. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφερε ο Bitzl (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), σε μια έρευνα ατυχημάτων σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων της Γερμανίας.

Σε μια μελέτη που διεξήχθη στην Ουγγαρία από τον Balogh (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), η οποία περιελάμβανε τους φόρτους μέχρι 3.500 οχήματα ημερησίως, αναφέρθηκε ότι υπάρχει μια θετική γραμμική σχέση μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου.

Οι Kihlberg και Tharp (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), σε μια μελέτη ατυχημάτων που αφορούσαν ατυχήματα τόσο τα μεμονωμένα όσο και αυτά που περιλαμβάνουν την εμπλοκή δύο ή περισσότερων οχημάτων σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων της Αμερικής, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων συσχετίζεται αρνητικά με τον κυκλοφοριακό φόρτο και για τους δύο τύπους ατυχημάτων. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφερε και ο Thorson (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 62), σε μια μελέτη ατυχημάτων σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων της Δανίας.

Μια μελέτη στη Μεγάλη Βρετανία από τον Paisley (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 63), στην οποία εξετάστηκε η επίδραση του κυκλοφοριακού φόρτου στη σοβαρότητα των ατυχημάτων, βρέθηκε ότι ο ρυθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση του φόρτου. Συγκεκριμένα, μεταξύ 2.000 και 9.000 οχημάτων ημερησίως, ο ρυθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων μειώθηκε 50%. Ωστόσο, για τα ατυχήματα τα οποία προκαλούν μόνο τραυματισμό, ο ρυθμός αυξήθηκε με την αύξηση του φόρτου αλλά με πολύ πιο βραδύ ρυθμό.

Ο Babkov (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 63), σε μια έρευνα με φόρτο μέχρι 8.500 οχήματα ημερησίως, έδειξε ότι ο αριθμός των ατυχημάτων μειώνεται αργά από τα 1.000 μέχρι τα 5.000 οχήματα ενώ για μεγαλύτερο φόρτο παρατηρείται απότομη αύξηση της συχνότητας των ατυχημάτων. Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων είναι σχετικά σταθερός για φόρτους μέχρι 5.000 οχήματα την ημέρα αλλά πάνω από αυτό το σημείο ο ρυθμός στα ατυχήματα αυξάνεται. Σε αντιπαράθεση με τα ευρήματα αυτής της έρευνας έρχονται τα δεδομένα που παρουσίασε ο Pfundt (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 63), ο οποίος υπολόγισε ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων μειώνεται με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου.

Ο Roosmark και ο Fraeki (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 63), ανέλυσαν τύπους ατυχημάτων σε δρόμους της Σουηδίας με φόρτους μέχρι 11.000 οχήματα την ημέρα και βρήκαν ότι όσο αυξανόταν ο φόρτος, ο ρυθμός των ατυχημάτων που σχετιζόταν με μεμονωμένα ατυχήματα μειωνόταν ελαφρώς ενώ αυτά που σχετιζόνταν με εμπλοκή πολλών οχημάτων παρουσίασαν μια ελαφρά αύξηση.

Μια διερεύνηση των ατυχημάτων σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων της Αυστρίας από τον Knoflacher (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 64), ανέφερε ότι η σχέση μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου ακολουθεί κατανομή σχήματος U, όπου ο ελάχιστος ρυθμός των ατυχημάτων εντοπίζεται μεταξύ των 6.000 και 6.500 οχημάτων. Στους μικρότερους φόρτους κυριαρχούσαν τα μεμονωμένα ατυχήματα ενώ τα πολλαπλά ατυχήματα (εμπλοκή δύο ή περισσότερων οχημάτων) κυριαρχούσαν στους μεγαλύτερους φόρτους.

Οι Lamm και Kloeckner (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 64), ανέφεραν ότι για κυκλοφοριακούς φόρτους μέχρι 10.000 οχήματα ημερησίως, ο ρυθμός των ατυχημάτων μειώνεται συνεχώς με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου. Παρόλα αυτά, δεν μπόρεσαν να επιβεβαιώσουν το βαθμό στον οποίο ο ρυθμός αυτός επηρεαζόταν από το φόρτο ή αν άλλοι παράγοντες έπαιζαν κάποιο σημαντικό ρόλο. Παρόλα αυτά, ανέφεραν ότι η ποιότητα του σχεδιασμού παρουσιάζει μια ισχυρή συσχέτιση με τον κυκλοφοριακό φόρτο. Έτσι λοιπόν, οι ευνοϊκές τάσεις στο ρυθμό των ατυχημάτων σε οδικά τμήματα υψηλών φόρτων μπορούν να εξηγηθούν από το καλύτερο επίπεδο σχεδιασμού.

Οι Krebs και Kloeckner (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 64), βρήκαν μια φθίνουσα γραμμική σχέση μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του φόρτου μέχρι τα 16.000 οχήματα την ημέρα στους υπεραστικούς γερμανικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

Οι προαναφερθείσες έρευνες περιλαμβάνουν αντιφατικά αποτελέσματα. Ενώ ορισμένες έρευνες έδειξαν ότι ο ρυθμός των ατυχημάτων αυξάνεται με την αύξηση του φόρτου, άλλες έδειξαν ότι μειώνεται. Ακόμα, άλλες έρευνες υπολόγισαν ότι η σχέση μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου περιγράφεται από μια κατανομή σχήματος U. Αυτός ο τύπος της κατανομής επιβεβαιώθηκε για δρόμους πολλών λωρίδων κυκλοφορίας από τους Gwyn, Pfundt και τους Leutzbach και Wiedemann (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 64). Εν τω μεταξύ, οι Leutzbach et al. (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 64), απέδειξαν ότι η κατανομή αυτή μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου ισχύει και για τους υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

2.2.8 Συμπεράσματα

Ως αποτέλεσμα αυτής της βιβλιογραφικής έρευνας, αντλούνται διάφορα συμπεράσματα τα οποία και παρατίθενται στη συνέχεια.

Επίδραση του πλάτους οδοστρώματος

Είναι απαραίτητη η ύπαρξη επαρκούς πλάτους οδοστρώματος για την ασφαλή κίνηση στο εκάστοτε οδικό τμήμα. Οι έρευνες, κατέδειξαν μια ξεκάθαρη τάση μείωσης των ατυχημάτων με την αύξηση του πλάτους οδοστρώματος μέχρι τα 7.5m. Αυτή η αύξηση στην ασφάλεια της κυκλοφορίας ήταν εμφανής για τις καμπύλες όλων των ακτινών, τις κατά μήκος κλίσεις και για όλους τους κυκλοφοριακούς φόρτους.

Αναφορικά με τους τύπους των ατυχημάτων, οι έρευνες έχουν καθορίσει μια λιγότερο ή περισσότερο ισχυρή αρνητική σχέση μεταξύ των πλατύτερων οδοστρωμάτων και των ατυχημάτων που οφείλονται σε έξοδο από το δρόμο. Η αντίστοιχη σχέση για τις μετωπικές συγκρούσεις ή αυτές με το προπορευόμενο όχημα ήταν πολύ πιο ασθενείς.

Επίδραση της ακτίνας της καμπύλης

Υπάρχει μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ακτίνας της καμπύλης και των ατυχημάτων. Οι έρευνες επίσης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μια καμπύλη καθορισμένης ακτίνας μπορεί να έχει διαφορετική επίδραση στις συνθήκες των ατυχημάτων όταν αυτή βρίσκεται σε μια αλληλουχία καμπυλών παρόμοιας ακτίνας από ότι αν βρίσκεται σε μία αλληλουχία ανόμοιων μεταξύ τους ακτινών. Ακόμα, μια ακτίνα που συνδυάζεται με μια μικρή αλλαγή στην οριζοντιογραφική χάραξη έχει μικρότερη επίδραση στον κίνδυνο ατυχήματος και την οδική συμπεριφορά από ότι αν η ακτίνα αυτή εντοπιζόταν σε μια περιοχή όπου ο ρυθμός της μεταβολής είναι μεγαλύτερος. Για παράδειγμα μειώνονται ραγδαία με την αύξηση της ακτίνας αλλά η τάση αυτή δεν ήταν ισχυρή για τις μετωπικές συγκρούσεις. Επιπλέον, για ακτίνες μικρότερες από 200m, ο ρυθμός των ατυχημάτων αναφέρθηκε να είναι περίπου διπλάσιος από όταν οι ακτίνες είναι 400 με 500m, η οποιαδήποτε αύξηση αποφέρει ένα συγκριτικά μικρό όφελος υπέρ της ασφάλειας.

Επίδραση της κατά μήκος κλίσης

Κλίσεις μικρότερες από 6-7% έχουν μια σχετικά μικρή επίδραση στην κατάσταση των ατυχημάτων. Για μεγαλύτερες κλίσεις, διαπιστώθηκε μια απότομη αύξηση στον ρυθμό των ατυχημάτων. Η μεγαλύτερη επίδραση αναφέρθηκε στα ατυχήματα που οφείλονται στις μετωπικές συγκρούσεις.

Επίδραση του μήκους ορατότητας

Ένας ισχυρός θετικός συσχετισμός υπάρχει μεταξύ του μήκους ορατότητας και της ακτίνας της καμπύλης. Κατά συνέπεια, με την αύξηση του μήκους ορατότητας, αναμένεται και μείωση στο ρυθμό των ατυχημάτων. Αυτό το γεγονός με τη σειρά του συμβάλλει και στην απότομη μείωση ειδικότερα των ατυχημάτων λόγω εξόδου από το δρόμο.

Επίδραση της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (ΕΜΗΚ)

Επικρατεί μια μικρή αρνητική σχέση μεταξύ του φόρτου κυκλοφορίας και των οδικών ατυχημάτων. Τα ατυχήματα λόγω εξόδου από το δρόμο βρέθηκε να μειώνονται με την αύξηση του ΕΜΗΚ έως και τα 10.000 οχήματα την ημέρα. Νεότερες έρευνες αναφέρουν μια κατανομή σχήματος U μεταξύ του ρυθμού των ατυχημάτων και του φόρτου κυκλοφορίας.

2.3 Ορισμοί της συνέχειας στο σχεδιασμό

Η απόδοση ενός ικανοποιητικού ορισμού για τη συνέχεια στο σχεδιασμό είναι σημαντική, μιας και δεν υπάρχει ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός στον τομέα των συγκοινωνιακών. Σύμφωνα με την έρευνα των Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al. (2003) που διεξήχθη για λογαριασμό του Transportation Research Board, προτάθηκαν σε 99 ερωτηθέντες 5 ορισμοί σχετικά με τη συνέχεια στο σχεδιασμό από τους οποίους απάντηση επέστρεψε το 54%.

Παρακάτω συνοψίζονται οι ορισμοί, καθώς και οι εναλλακτικές προτάσεις που διατυπώθηκαν από τους ερωτηθέντες. Οι περισσότεροι από τους εναλλακτικούς ορισμούς δεν απέκλιναν ιδιαίτερα από αυτούς που περιλαμβάνονταν στην έρευνα και συχνά ήταν ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων από τους δοσμένους ορισμούς. Οι κυριότεροι παράγοντες των εναλλακτικών ήταν η αποφυγή των απότομων αλλαγών και η αναφορά σε ομοιογενή οδικά τμήματα. Μικρή ήταν η προτίμηση για τους ορισμούς που αναφέρονταν ειδικά στην ομοιομορφία της ταχύτητας. Η χρήση στον ορισμό της φράσης για όμοιο δρόμο ή τμήμα δρόμου είναι ελκυστική αλλά ο σκοπός αυτής της φράσης ενσωματώνεται μέσα στη φράση «προσδοκία του οδηγού». Οι προσδοκίες των οδηγών βασίζονται στις εμπειρίες τους στο άμεσο παρελθόν και στην καθολική πορεία τους ως οδηγοί. Οι ορισμοί που περιλαμβάνουν τη λέξη τμήματα είναι προβληματικοί μιας και είναι προβληματική η εύρεση ενός αποδεκτού ορισμού για το τι είναι οδικό τμήμα. Η «απότομη αλλαγή» είναι μια φράση η οποία πιθανώς να είναι χρήσιμη, όμως δεν προσδίδει κάτι σημαντικό στον προτεινόμενο ορισμό. Η αναφορά σε ένα συγκεκριμένο μέτρο αποτελεσματικότητας θα ήταν παράλογα περιοριστική και κατά συνέπεια δεν προτιμάται, παρότι θα μπορούσε να απλοποιήσει οποιοδήποτε προτεινόμενο σύστημα (εύρεσης ορισμού). Ο προτεινόμενος ορισμός για τη συνέχεια στο σχεδιασμό είναι ο ακόλουθος:

Η συνέχεια στο σχεδιασμό είναι η συμμόρφωση των γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός δρόμου με τις προσδοκίες του οδηγού.

Ο ορισμός αυτός μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος καταστάσεων (για παράδειγμα στο σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας αλλά και στους ισόπεδους κόμβους) διότι δεν περιορίζεται σε ένα συγκεκριμένο μέτρο ή σε κάποιο τύπο μέτρου και προτιμήθηκε από το μεγαλύτερο αριθμό των ερωτηθέντων. Η αποδοχή του ορισμού δεν ήταν σε καμία περίπτωση καθολική αλλά φάνηκε να βρίσκει εφαρμογή στη χρήση διαφόρων μέτρων αποτελεσματικότητας και καταστάσεων.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι εναλλακτικοί ορισμοί που συμπεριελήφθησαν στην έρευνα των Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al. (2003).

Ορισμός
Η συμμόρφωση των γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός δρόμου με τις προσδοκίες του οδηγού.
Η αποφυγή απότομων αλλαγών στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά συνεχόμενων οδικών τμημάτων και η πιο προσεκτική χρήση των στοιχείων σχεδιασμού για να ανταποκρίνονται στις προσδοκίες του οδηγού.
Η αρμονία των γεωμετρικών και λειτουργικών στοιχείων του δρόμου με την προσδοκία του οδηγού.
Η οπτική και λειτουργική ομοιότητα των οδικών χαρακτηριστικών με τα προηγούμενα χαρακτηριστικά που συναντά ο οδηγός.
Η έλλειψη απότομων αλλαγών στα γεωμετρικά στοιχεία τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την οδηγική συμπεριφορά για συνεχή οδικά τμήματα και συνδυασμό στοιχείων σχεδιασμού.

Πίνακας 1: Ορισμοί της συνέχειας στο σχεδιασμό

2.4 Η προσέγγιση της συνέχειας στο σχεδιασμό

Το κρίσιμο κριτήριο αξιολόγησης της οδηγικής συμπεριφοράς είναι η λειτουργική ταχύτητα. Τα ατυχήματα συνήθως προέρχονται από μια απότομη αλλαγή στα χαρακτηριστικά του δρόμου διότι ο οδηγός είναι ικανός, μόνο για σταδιακή προσαρμογή της οδικής του συμπεριφοράς στις εναλλασσόμενες συνθήκες (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix, p.1).

Οι Awatta M. και Hassan Y. (2002) αναφέρουν ότι σύμφωνα με τους Lamm et al. (1999) πλήθος ερευνών έχουν καταδείξει ότι οι συγκρούσεις σημειώνονται με δυσανάλογη συχνότητα σε συγκεκριμένα οδικά τμήματα γεγονός που καταδεικνύει ότι εκτός από τα οδηγικά λάθη, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού έχουν εξέχοντα ρόλο στη συχνότητα των ατυχημάτων. Η κύρια αιτία αυτών των συγκρούσεων είναι η έλλειψη συνέχειας στη γεωμετρία του σχεδιασμού, το οποίο αφορά στη συμμόρφωση των χαρακτηριστικών του δρόμου με τις προσδοκίες των οδηγών. Η ύπαρξη ασυνέχειας σε ένα οδικό τμήμα αναφέρεται λοιπόν στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που μπορεί να προκαλέσουν κακή εκτίμηση της ταχύτητας από τους οδηγούς, ή επικινδυνούς ελιγμούς που συμβάλουν σε αυξημένη επικινδυνότητα. Κατά συνέπεια η αξιολόγηση της συνέχειας σε νέους ή υφιστάμενους δρόμους και ο επανασχεδιασμός των ασυνεχών τμημάτων θα μπορούσε να βελτιώσει κατά πολύ την οδική ασφάλεια. Σε μεγάλο ποσοστό η πρακτική του σχεδιασμού βασίζεται στην επιλογή της ταχύτητας μελέτης, η οποία όμως δεν εγγυάται συνέχεια, αλλά μπορεί και να δημιουργήσει ασυνέχειες στη χάραξη.

Για το λόγο αυτό, πολυάριθμα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση της συνέχειας ως αποτέλεσμα ανεξάρτητων ερευνητικών προσπαθειών παγκοσμίως, παρόλα αυτά δεν υπάρχει ένα γενικό μέτρο που να βασίζεται στην ασφάλεια για την αξιολόγηση της συνέχειας και της αρμονίας του γεωμετρικού σχεδιασμού. Οι Hassan et al. (2001) σε μια έρευνα προσδιόρισαν τέσσερα μέτρα τα οποία θεωρούνται ότι είναι τα πιο εφικτά στην εφαρμογή τους για την αξιολόγηση της συνέχειας σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Τα τέσσερα αυτά μέτρα είναι η λειτουργική ταχύτητα, η ευστάθεια του οχήματος που σχετίζεται με τη δυναμική της κίνησης του, οι δείκτες χάραξης και η οδηγητική ένταση. Παρόλα αυτά, καθώς τα μέτρα αυτά εστιάζουν σε διαφορετικές πτυχές του δρόμου, τα αποτελέσματα από το καθένα αναφορικά με τη συνέχεια στο σχεδιασμό μπορεί να έρχεται εν μέρει σε αντίθεση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των άλλων μέτρων. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες επίτευξης συνέχειας στο σχεδιασμό. Αυτές συχνά επικεντρώνονται στην εφαρμογή ενός μέτρου αποτελεσματικότητας (MOE) και σκοπεύουν στον περιορισμό της

μεταβλητότητας αυτού του μέτρου. Μειώνοντας τη μεταβλητότητα του μέτρου αυτού επιτυγχάνεται η συνέχεια στο σχεδιασμό του δρόμου. Τα μέτρα αποτελεσματικότητας που έχουν χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνουν την ταχύτητα (μέσω της πρόβλεψης της ταχύτητας), την οδηγητική ένταση (ή τις απαιτήσεις ορατότητας) και τους δείκτες χάραξης.

Η ταχύτητα είναι εύκολα μετρήσιμη ποσότητα, συνεχώς μεταβαλλόμενη, η οποία συνδέεται στενά με την αντίληψη του οδηγού σχετικά με το δρόμο και το άμεσο περιβάλλον του. Οι αντιδράσεις του οδηγού στις αλλαγές των χαρακτηριστικών του δρόμου αντικατοπτρίζονται στις αλλαγές της ταχύτητας που επιλέγει για το όχημα. Κατά συνέπεια, ο περιορισμός των απαιτούμενων αλλαγών στη ταχύτητα στα επιτρεπτά επίπεδα παρέχει τη βάση για βελτίωση της λειτουργίας του δρόμου διότι οι απαιτούμενες ενέργειες από τον οδηγό είναι περιορισμένες, μειώνοντας παράλληλα την πιθανότητα ακατάλληλης επιλογής ταχύτητας κίνησης του οχήματος.

Η οδηγητική ένταση είναι ένα μέτρο που έχει χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια του σχεδιασμού. Μειώνοντας την οδηγητική ένταση που απαιτείται από τον οδηγό σε αποδεκτά επίπεδα, μειώνεται η πιθανότητα υπερφόρτωσης των πνευματικών ικανοτήτων του οδηγού. Παρέχοντας ένα συνεχές επίπεδο της έντασης αυξάνεται η πιθανότητα ύπαρξης επιθυμητών λειτουργικών χαρακτηριστικών. Ένα μέτρο αποτελεσματικότητας που συνδέεται στενά με την οδηγητική ένταση αφού θεωρείται υποκατάστατό της είναι οι απαιτήσεις ορατότητας (visual demand), αυτό διότι η οδήγηση έγκειται κατά βάση στη λήψη και αξιολόγηση οπτικών πληροφοριών. Μετρώντας την ποσότητα των εισερχόμενων στον οδηγό πληροφοριών (την ποσότητα της ορατότητας που απαιτείται), μπορεί να μετρηθεί και η επιβαλλόμενη καταπόνηση στον οδηγό.

Οι δείκτες χάραξης χρησιμοποιούνται ευρέως στη σχεδιαστική πρακτική σε χώρες όπου η χάραξη θεωρείται καμπυλόγραμμη. Στη Γερμανία για παράδειγμα, ο δείκτης χάραξης χρησιμοποιείται στην πρόβλεψη της 85^{ης} ποσοστιαίας ταχύτητας στα οδικά τμήματα με παρόμοια χαρακτηριστικά χάραξης.

2.4.1 Η χρήση των μεγεθών εκτίμησης συνέχειας σε διάφορες χώρες

Η συνέχεια στο σχεδιασμό χρησιμοποιείται ευρέως στις οδηγίες πολλών χωρών. Στις οδηγίες της Αυστραλίας περιλαμβάνεται ο έλεγχος συνέχειας όπου οι ταχύτητες μελέτης στα διαδοχικά στοιχεία δεν θα πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 10 km/h (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18). Οι Γάλλοι ερευνητές έχουν βρει ότι είναι απαραίτητος ένας έλεγχος συνέχειας και ότι τα προβλήματα στην ασφάλεια είναι συνδεδεμένα με τις απότομες καμπύλες της οριζοντιογραφίας που έπονται των μεγάλων ευθυγραμμιών (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18). Κατά την πρακτική αυτή καθορίζεται η ελάχιστη ακτίνα της καμπύλης που ακολουθεί μεγάλα ευθύγραμμα τμήματα.

Ο Babkon προτείνει μια τεχνική ταξινόμησης για την ανάλυση των απομονωμένων καμπυλών που έπονται των ευθυγραμμιών, σύμφωνα με την οποία συγκρίνεται η μεταβολή στις λειτουργικές ταχύτητες μεταξύ των ευθυγραμμιών και των καμπυλών της οριζοντιογραφίας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18). Πιο συγκεκριμένα:

Ασφαλείς είναι οι καμπύλες όταν η μεταβολή στις ταχύτητες είναι μικρότερη από 20%.

Σχετικά ασφαλείς είναι οι καμπύλες όταν η μεταβολή αυτή είναι μεταξύ 20 και 40%.

Επικίνδυνες είναι οι καμπύλες όταν η μεταβολή στις λειτουργικές ταχύτητες είναι μεταξύ 40 και 60%.

Πολύ επικίνδυνες χαρακτηρίζονται οι καμπύλες όταν η μεταβολή στις ταχύτητες είναι μεγαλύτερη από 60%.

Πολλές χώρες έχουν αναπτύξει μοντέλα προφίλ ταχυτήτων τα οποία και εφαρμόζουν στη διαδικασία σχεδιασμού. Η Ελβετία αρχικά ανέπτυξε μοντέλα προφίλ ταχυτήτων τα οποία βασίζονται στην ακτίνα της καμπύλης. Η Γερμανία χρησιμοποιεί αντίστοιχα την ελικτότητα για την πρόβλεψη της ταχύτητας. Παρακάτω παρατίθεται μια σύνοψη της θεώρησης της συνέχειας στην Αυστραλία, τη Βρετανία και τη Γερμανία.

Αυστραλία

Στις Αυστραλιανές οδηγίες για υπεραστικές οδούς περιλαμβάνεται μια διαδικασία αξιολόγησης της συνέχειας της ταχύτητας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18). Ο Mclean συνέταξε μεγάλο μέρος της έρευνας που οδήγησε στη διαδικασία αυτή (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18). Ο ίδιος επίσης όρισε την επιθυμητή ταχύτητα ως τη ταχύτητα την οποία επιλέγουν οι οδηγοί να ταξιδεύουν σε συνθήκες ελεύθερης ροής όταν δεν περιορίζονται από στοιχεία της χάραξης. Ο Mclean πρότεινε ότι η επιθυμητή ταχύτητα επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο σκοπός του ταξιδιού η εγγύτητα στις αστικές περιοχές αλλά και από γεωμετρικά χαρακτηριστικά ή τη συνολική ποιότητα της χάραξης της οδού. Στις Αυστραλιανές οδηγίες περιλαμβάνεται ένας πίνακας καθορισμένων τιμών ταχυτήτων βάσει της έρευνας του Mclean, για διάφορους τύπους εδάφους (όπως για παράδειγμα πεδινό, λοφώδες, ορεινό) και διάφορα εύρη ακτινών των οριζοντίων καμπυλών (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18).

Βρετανία

Στην εκτίμηση της συνολικής χάραξης, οι Βρετανοί ενσωματώνουν τόσο τα οριζοντιογραφικά χαρακτηριστικά όσο και αυτά που εντοπίζονται κατά μήκος της χάραξης. Οι δείκτες χάραξης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό ταχυτήτων ταξιδιού που βασίζονται σε προκαθορισμένα μοντέλα τα οποία συγκρίνονται με την ταχύτητα μελέτης για το τμήμα του δρόμου. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία απαιτεί λεπτομερή γεωμετρική πληροφορία πριν από την ολοκλήρωση του σχεδιασμού. Τα Βρετανικά πρότυπα αναφέρονται σε μια ταχύτητα ταξιδιού κατά μήκος ενός οδικού τμήματος το οποίο ορίζεται από την ομοιογένεια των οδικών τμημάτων, με ελάχιστο μήκος όχι μικρότερο από 2km. Η ταχύτητα ταξιδιού προβλέπεται από χαρακτηριστικά όπως τα μέσα μήκη ορατότητας, ο αριθμός των ισόπεδων διαβάσεων ανά χιλιόμετρο, το πλάτος των ερεισμάτων και έπειτα αυτή ελέγχεται με την δοκιμαστική ταχύτητα μελέτης του τμήματος. Παρόλα αυτά, η προσέγγιση της ταχύτητας ταξιδιού δεν περιλαμβάνει τις ασυνέχειες που σχετίζονται με τα τμήματα μετάβασης μεταξύ των στοιχείων. Έτσι, μπορεί να ενσωματωθεί στο σχεδιασμό μια μικρή καμπύλη που έπεται μεγάλης ευθυγραμμίας ή καμπύλη μεγάλης ακτίνας αφού δεν θα προβλεφθεί ότι για το τμήμα αυτό η ταχύτητα ταξιδιού είναι μικρότερη από την ταχύτητα μελέτης.

Γερμανία

Η ταχύτητα μελέτης όπως εφαρμόζεται στη Γερμανία βασίζεται σε περιβαλλοντικές και οικονομικές καταστάσεις, στη λειτουργία του οδικού δικτύου, στο σκοπό των μετακινήσεων, στο φόρτο κυκλοφορίας, στις κατηγορίες των δρόμων, στη τοπογραφία κ.ά. Οι περιοριστικές και καθορισμένες τιμές για τα περισσότερα στοιχεία σχεδιασμού κατηγοριοποιούνται βάσει της ταχύτητας μελέτης. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα μελέτης καθορίζει:

- Την ελάχιστη ακτίνα των καμπυλών
- Τις μέγιστες κατά μήκος κλίσεις
- Τις ελάχιστες ακτίνες κυρτών και κοίλων καμπυλών

Η ταχύτητα μελέτης επηρεάζει τα οδικά χαρακτηριστικά και συνεπώς επηρεάζει την οδική ασφάλεια, το κυκλοφοριακό φόρτο αλλά και το κόστος κατασκευής. Η Γερμανική πρακτική απαιτεί την εφαρμογή σταθερής ταχύτητας μελέτης σε μεγάλο μήκος οδικών τμημάτων ή σε συγκεκριμένες κατηγορίες οδών.

Πέρα από την ταχύτητα μελέτης, οι Γερμανικές οδηγίες ορίζουν τη λειτουργική ταχύτητα. Η λειτουργική ταχύτητα αντιστοιχεί στην 85^η ποσοστιαία λειτουργική ταχύτητα των επιβατηγών οχημάτων που κινούνται στο υπό εξέταση τμήμα, σε συνθήκες ελεύθερης ροής, ανεξάρτητα καιρικών συνθηκών και κατά συνέπεια συνθηκών ορατότητας. Η 85^η ποσοστιαία ταχύτητα αποτελεί μια παράμετρο αξιολόγησης μεμονωμένων σχεδιαστικών παραμέτρων όπως:

- Τις επαρκείς επικλίσεις
- Τα απαραίτητα μήκη ορατότητας για στάση και για προσπέρασμα
- Τις αντίστοιχες κυρτές και κατακόρυφες καμπύλες

Καθώς η 85^η ποσοστιαία ταχύτητα είναι συνήθως μεγαλύτερη από την ταχύτητα μελέτης, ειδικά σε τμήματα με χαμηλότερες ταχύτητες, αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα οδικής ασφάλειας για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού.

Σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας ενιαίου οδοστρώματος, θα πρέπει να επικρατεί μια ισορροπία μεταξύ της ταχύτητας μελέτης και της V_{85} για να διασφαλιστεί ότι τα οδικά χαρακτηριστικά και η οδηγική συμπεριφορά των μετακινούμενων είναι συναφή. Πιο συγκεκριμένα, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει η μεταξύ τους διαφορά να είναι μεγαλύτερη από 20km/h. Οι Γερμανοί σχεδιαστές λαμβάνουν υπόψη και άλλες παραμέτρους κατά τον έλεγχο της συνέχειας του σχεδιασμού ενός δρόμου. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν το μήκος των καμπυλών, τα τμήματα μετάβασης, τις ευθυγραμμίες καθώς και τις ακτίνες όλων των καμπυλών. Επιπρόσθετα, στις Γερμανικές οδηγίες εκπόνησης οδικών έργων χρησιμοποιούνται νομογραφήματα τα οποία παρέχουν καθοδήγηση για την επίτευξη των ασφαλών συνδυασμών μεταξύ διαδοχικών καμπυλών.

Το μήκος των ευθυγράμμων τμημάτων μεταξύ των καμπυλών καθορίζεται από την επιλεγμένη ταχύτητα μελέτης. Έτσι, σύμφωνα με τις γερμανικές οδηγίες το μέγιστο μήκος μεταξύ των καμπυλών σε μέτρα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το εικοσαπλάσιο (σε μέτρα) της ταχύτητας μελέτης (km/h). Με τον τρόπο αυτό υπάρχει έλεγχος των μεγάλων ευθυγραμμιών και υιοθετείται μια πιο καμπυλόγραμμη χάραξη.

Οι Γερμανοί, χρησιμοποιούν την ελικτότητα για την περιγραφή των οδικών χαρακτηριστικών και για να αποτρέψουν απότομες και επικίνδυνες μεταβάσεις στις λειτουργικές ταχύτητες μεταξύ ομοιογενών τμημάτων των δρόμων (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18). Η ελικτότητα ορίζεται ως το άθροισμα κατ' απόλυτη τιμή των γωνιακών μεταβολών στη χάραξη της οριζοντιογραφίας διαιρεμένο με το μήκος του οδικού τμήματος.

Πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι η μέθοδος της ελικτότητας είναι η πιο χρηστική για την πρόβλεψη των αλλαγών στο προφίλ των λειτουργικών ταχυτήτων κατά μήκος ενός επαρχιακού δρόμου που προέρχονται από τις ασυνέχειες της οριζοντιογραφικής χάραξης, συγκριτικά με τις γραφικές τεχνικές του προφίλ ταχυτήτων που προτείνονται για χρήση στις Η.Π.Α. και το θεωρητικό μοντέλο ταχυτήτων που χρησιμοποιείται στις Ελβετικές οδηγίες (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 18).

Η χρήση της μεθόδου αυτής και η υιοθέτηση της παραμέτρου της ελικτότητας εννοείται στην Ελλάδα και έχει υιοθετηθεί από τους Ελληνικούς κανονισμούς (ΟΜΟΕ-Χ), μιας και υπάρχουν ομοιότητες στα οδικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται σε ένα οδικό τμήμα. Ακόμα, οι Ελληνικοί όπως και οι Γερμανικοί δρόμοι είναι σχεδιασμένοι με λίγες ευθυγραμμίες και πολλές καμπύλες και κατά συνέπεια είναι εύκολος ο προσδιορισμός των σημείων με παρόμοια χάραξη. Στην έρευνα τους, οι Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger, (Part I, σελ. 154, 1987) έδειξαν ότι για μια πιο καμπυλόγραμμη χάραξη, η μέθοδος της ελικτότητας μπορεί να είναι πιο αποδοτική για την εξαγωγή συμπερασμάτων από τη μέθοδο βαθμού καμπυλότητας.

2.4.2 Η εφαρμογή της ταχύτητας μελέτης στο σχεδιασμό

Η ταχύτητα μελέτης έχει αποτελέσει ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό μιας οδού. Η ταχύτητα αυτή χρησιμοποιείται για να καθορίσει αρκετά από τα χαρακτηριστικά μιας οδού. Χρησιμοποιώντας ένα μόνο χαρακτηριστικό προκειμένου να καθορίσουμε τις τιμές διάφορων κριτηρίων που επηρεάζουν τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά μιας οδού, τα βασικά αυτά χαρακτηριστικά θα μπορούσαν θεωρητικά να έχουν συνέπεια με τις ανάγκες των οδηγών.

Η έννοια της ταχύτητας μελέτης εισήχθη κατά τη διάρκεια του 1930 και η εφαρμογή της υιοθετήθηκε τη δεκαετία του 1940. Δύο δημοσιεύσεις (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 10) στα "highway geometrics" έπαιξαν ένα σημαντικό ρόλο στη θέσπιση αυτής της σχεδιαστικής οδηγίας, η οποία με ελάχιστες τροποποιήσεις χρησιμοποιήθηκε στις Geometric Policies της American Association of Highway Officials (AASHO) (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 10). Παρόλα αυτά, λόγω των σύγχρονων κυκλοφοριακών συνθηκών και των οδηγικών χαρακτηριστικών, είναι προφανές ότι οι προδιαγραφές και οι εφαρμογές πρέπει να ανανεωθούν.

Ο ορισμός του Barnett το 1936 για την ταχύτητα μελέτης αναφέρει ότι είναι η μεγαλύτερη δυνατή ομοιόμορφη ταχύτητα που θα υιοθετούσε το ταχύτερο γκρουπ οδηγών από το σύνολο των οχημάτων, εκτός κατοικημένων περιοχών (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p.2). Η έννοια της ταχύτητας μελέτης τεκμαίρεται ότι οι καμπύλες ανταποκρίνονται ή υπερβαίνουν τα κριτήρια για την επιλεγμένη ταχύτητα μελέτης. Αρχικά, η έννοια της ταχύτητας μελέτης διεπτόταν από δύο βασικές αρχές:

- i. Όλες οι καμπύλες κατά μήκος μιας οδού θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες για την ίδια ταχύτητα.
- ii. Η ταχύτητα μελέτης θα πρέπει να ανταποκρίνεται στην ομοιόμορφη εκείνη ταχύτητα με την οποία επιθυμεί να ταξιδεύει ένα μεγάλο ποσοστό χρηστών του δρόμου.

Ένα πρόβλημα στη χρήση της ταχύτητας μελέτης όπως εφαρμόζεται σήμερα είναι ότι ειδικά στις χαμηλές ταχύτητες, οι αλλαγές στη χάραξη μεταβάλλουν τις λειτουργικές ταχύτητες. Αυτό συμβαίνει διότι η ταχύτητα μελέτης καθορίζεται από τις καμπύλες της οριζοντιογραφίας γεγονός που επηρεάζει τον οδηγό να αυξήσει τη ταχύτητα του στα ευθύγραμμα τμήματα της χάραξης ενώ μετά απαιτείται από αυτόν να μειώσει τη ταχύτητά του στις πιο κλειστές καμπύλες.

Ένα ακόμη πρόβλημα είναι ότι πολλές φορές η ταχύτητα μελέτης είναι μικρότερη από την προσδοκία και την κρίση του οδηγού σχετικά με το ποια θα έπρεπε να είναι η λογική ταχύτητα. Ένας οδηγός περιμένει τη χρήση υψηλής ταχύτητας μελέτης σε μια ανοιχτή και επίπεδη περιοχή αλλά αναγνωρίζει ακόμα και χωρίς πραγματική επίγνωση τη δυσκολία της κατάστασης σε λοφώδη και ακόμα περισσότερο σε ορεινή περιοχή ή σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με πλειάδα ισόπεδων διαβάσεων. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να χρησιμοποιείται η ταχύτητα η οποία ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν στις φυσικές τάσεις των οδών. Σε πολλούς δρόμους, ο αποκλεισμός των απότομων καμπυλών προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα μελέτης θα είχε σαν αποτέλεσμα ένα πιο αρμονικό, συνεχή και ασφαλή συνδυασμό, ο οποίος όμως θα ήταν δυσκολότερος στη κατασκευή αλλά και με κατά πολύ ακριβότερο σχεδιασμό. Σε άλλους δρόμους, ο καθορισμός της χάραξης μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη ομοιόμορφων ταχυτήτων με την εισαγωγή καμπυλών της κατάλληλης ακτίνας και με τη συμβατή τροποποίηση κάποιων άλλων.

Το ζητούμενο στο σχεδιασμό δεν είναι μόνο μια λογική και αποδεκτή ταχύτητα μελέτης αλλά και μία που θα παράγει σχετικά ομοιόμορφες λειτουργικές ταχύτητες κατά μήκος του οδικού τμήματος. Ενώ το ζητούμενο αυτό ανταποκρίνεται πλήρως στις μεγάλες ταχύτητες μελέτης, στις μικρές και μεσαίες ταχύτητες μελέτης τα ευθύγραμμα τμήματα που παρεμβάλλονται μεταξύ των καμπυλών τείνουν να αυξάνουν κατά πολύ τις λειτουργικές ταχύτητες και να ξεπερνούν σε σημαντικό βαθμό τη ταχύτητα μελέτης.

Αυτή η ασυνέχεια στη σχεδιαστική φιλοσοφία μπορεί να παραβιάζει τις προσδοκίες των οδηγών σχετικά με την αντίληψη τους για το δρόμο. Οι οδηγοί δηλαδή μπορεί να υποθέσουν μια ασφαλή λειτουργική ταχύτητα βασιζόμενοι σε προηγούμενα οριζοντιογραφικά στοιχεία, η οποία μπορεί να είναι υψηλότερη από την ταχύτητα μελέτης του δρόμου, έχοντας ως αποτέλεσμα μεγάλες αυξομειώσεις στην ταχύτητα. Όπως αναφέρεται στο Awatta M. και

Hassan Y. 2002 η έννοια της ταχύτητας μελέτης δεν εξασφαλίζει ούτε εγγυάται συνέχεια στα οριζοντιογραφικά στοιχεία των υπεραστικών οδών εξαιτίας της εναλλαγής της λειτουργικής ταχύτητας, στη περίπτωση που η ταχύτητα μελέτης είναι μικρότερη από 90km/h. Οι Αμερικάνικοι κανονισμοί οδοποιίας (Green Book) αναφέρουν ότι μεμονωμένα χαρακτηριστικά σχεδιασμένα για υψηλότερες ταχύτητες δεν θα ενθάρρυναν απαραίτητα τους οδηγούς να αυξήσουν ταχύτητα, παρότι μια ακολουθία τέτοιων χαρακτηριστικών θα το έκανε. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ολόκληρο το οδικό τμήμα θα έπρεπε να έχει σχεδιαστεί για υψηλότερη ταχύτητα. Μια αξιολογή σε μήκος ευθυγραμμία μεταξύ καμπυλόγραμμων τμημάτων είναι επίσης πιθανό να ενθαρρύνει την οδήγηση σε υψηλότερες ταχύτητες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μια υψηλότερη ταχύτητα θα πρέπει να επιλεγεί για όλα τα γεωμετρικά στοιχεία και να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο μήκος ορατότητας στις κυρτές καμπύλες και κατά μήκος της εσωτερικής γραμμής μεταξύ των κέντρων των καμπυλών (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p.2).

Μια κριτική του Mclean στην έννοια της ταχύτητας μελέτης είναι ότι η ταχύτητα μελέτης έχει χρησιμοποιηθεί σαν μέσο σχεδιασμού των οριζόντιων και κατά μήκος καμπυλών και ότι αφορά τα μεγάλα ευθύγραμμα τμήματα (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p.2). Οι Krammes και Glascock υποστηρίζουν την κριτική του Mclean και χαρακτηρίζουν την ευθυγραμμία ως ένα περιορισμό στη χρήση της ταχύτητας μελέτης ως κριτήριο στο σχεδιασμό. Αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι η ταχύτητα μελέτης εφαρμόζεται μόνο σε καμπύλες τόσο οριζοντιογραφικά όσο και κατά τη μηκοτομή τους, όχι στα ευθύγραμμα τμήματα που ενώνουν αυτές τις καμπύλες.

Οι ανησυχίες στο κομμάτι της συνέχειας προκύπτουν όταν μεγάλες ευθυγραμμίες επιτρέπουν στους οδηγούς να αναπτύξουν την επιθυμητή ταχύτητα η οποία προκύπτει να είναι μεγαλύτερη από τη ταχύτητα μελέτης της επικείμενης καμπύλης.

Οι Leisch και Leisch εκφράζουν διάφορες ανησυχίες με την φιλοσοφία της ταχύτητας μελέτης, αλλά αναγνωρίζουν την ευρεία διάδοση αυτής της έννοιας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p.2). Ενσωμάτωσαν λοιπόν έναν έλεγχο συνέχειας στη διαδικασία της ταχύτητας μελέτης που να αντιπροσωπεύει την πιθανή λειτουργική ταχύτητα που καθορίζεται από το σχεδιασμό και το συσχετισμό των φυσικών χαρακτηριστικών ενός δρόμου. Στην καλύτερη περίπτωση σχετικά με την ποιότητα σχεδιασμού, προτείνουν μια μέγιστη απόκλιση στις ταχύτητες μελέτης μεταξύ των χαρακτηριστικών της τάξης των 15 km/h. Τα χαρακτηριστικά που δεν ανταποκρίνονται σε αυτό το κριτήριο θεωρούνται ως ασυνεχή. Περαιτέρω επισημάνσεις δίνονται για τις διαφορές στις ταχύτητες μεταξύ των επιβατηγών οχημάτων και των φορτηγών αλλά οι προτάσεις αυτές βασίζονται στις λειτουργικές ταχύτητες παρά στην ταχύτητα μελέτης.

Για το λόγο αυτό, οι ερευνητές αναπτύσσουν νέες μεθόδους αξιολόγησης της συνέχειας στο γεωμετρικό σχεδιασμό για να συμπληρώσουν την έννοια της ταχύτητας μελέτης. Συγκεκριμένα, σε πολλές χώρες έχουν ενσωματωθεί νέες οδηγίες αξιολόγησης της συνέχειας σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας, προκειμένου να επιτευχθούν μεγαλύτερα επίπεδα ασφάλειας.

2.4.3 Λειτουργική ταχύτητα και μοντέλα ταχυτήτων

Με τα μοντέλα πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας μπορούμε να εκτιμήσουμε τις διαφορές στις ταχύτητες μεταξύ διαδοχικών στοιχείων. Η ύπαρξη καμπυλών συνήθως δεν ευνοεί την ανάπτυξη επιθυμητής ταχύτητας από τους οδηγούς. Κατά συνέπεια, για να διέλθουν με άνεση και ασφάλεια οι οδηγοί από πολύ κλειστές καμπύλες, θα πρέπει να επιβραδύνουν το όχημά τους πολύ. Τα μοντέλα όμως που βασίζονται στην πρόβλεψη της ταχύτητας, υποθέτουν πως οι λειτουργικές ταχύτητες παραμένουν σταθερές κατά μήκος της καμπύλης. Κατά την έξοδο της καμπύλης υπάρχει επιταχυνόμενη κίνηση και η πρόβλεψη των λειτουργικών ταχυτήτων στις ευθυγραμμίες βασίζεται στις τιμές που λαμβάνονται για το βαθμό επιτάχυνσης και επιβράδυνσης και για το μήκος αλλά και τη κατά μήκος κλίση της ευθυγραμμίας. Έτσι λοιπόν μπορούμε να παραστήσουμε γραφικά με διάφορα σχεδιαστικά προγράμματα οδοποιίας (ΟΔΟΣ) τις λειτουργικές ταχύτητες και τις διαφορές αυτών μεταξύ των διάφορων στοιχείων του δρόμου.

Σε πολλές έρευνες έχουν διερευνηθεί οι συσχετισμοί μεταξύ ποικίλων στοιχείων και στο πως επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα. Παρακάτω συνοψίζονται οι συσχετισμοί αυτοί που έχουν αναγνωρισθεί στη βιβλιογραφία.

Σύμφωνα με την ανάλυση των μοντέλων ταχυτήτων που έχουν αναπτυχθεί για τις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας, τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν μόνο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμπύλης ως ανεξάρτητες μεταβλητές για την εκτίμηση των ταχυτήτων στις καμπύλες, ενώ υποθέτουν μια σταθερή τιμή ως τη μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλες ευθυγραμμίες (συνήθως 100 ή κοντά στα 100km/h). Επίσης δεν λαμβάνεται γενικά υπόψη στα μοντέλα ο γενικός χαρακτήρας της χάραξης κατά τη διαδικασία εκτίμησης των ταχυτήτων στις καμπύλες και τις ευθυγραμμίες. Μόνο το μοντέλο των Fitzpatrick et al. (όπως αναφέρεται στο Marcchiona A., Perco P., 2007) συμπεριλαμβάνει το συνδυασμό των στοιχείων της οριζοντιογραφικής και της κατά μήκος χάραξης, χρησιμοποιώντας διαφορετικές εξισώσεις για την πρόβλεψη των λειτουργικών ταχυτήτων στις καμπύλες, ως συνάρτηση των συνθηκών της κατά μήκος χάραξης. Σε όλα τα μοντέλα θεωρούνται σταθερές τιμές για τους ρυθμούς επιτάχυνσης και επιβράδυνσης

(0.80 – 0.85m/s²) με εξαίρεση αυτό των Fitzpatrick et al., το οποίο περιλαμβάνει τους ρυθμούς επιτάχυνσης και επιβράδυνσης ως συνάρτηση της ακτίνας της καμπύλης.

Σε μια έρευνα της FHWA που διεξήχθη τα τέλη του 1990 έγινε προσπάθεια πρόβλεψης της λειτουργικής ταχύτητας για διαφορετικές συνθήκες σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας όπως στις οριζοντιογραφικές καμπύλες, στα ευθύγραμμα τμήματα και στα τμήματα πριν ή μετά τις καμπύλες της οριζοντιογραφίας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p.5). Παρακάτω συνοψίζονται τα ευρήματα της παραπάνω έρευνας για διαφορετικούς τύπους χάραξης.

Ευθυγραμμίες

Η εκτίμηση των ταχυτήτων στις καμπύλες είναι ευκολότερη από την πρόβλεψη αυτών στα ευθύγραμμα τμήματα λόγω της μεγάλης συσχέτισης της ταχύτητας από λίγες ορισμένες και περιοριστικές μεταβλητές, όπως η καμπυλότητα, η επίκλιση και οι συντελεστές πλευρικής τριβής μεταξύ του δρόμου και των ελαστικών. Στις ευθυγραμμίες από την άλλη, η ταχύτητα των οχημάτων εξαρτάται από ένα ευρύ φάσμα οδικών χαρακτηριστικών (όπως για παράδειγμα το μήκος της ευθυγραμμίας, την ακτίνα πριν την ευθυγραμμία, την κατά μήκος κλίση στο διατιθέμενο ευθύγραμμο τμήμα και το διατιθέμενο μήκος ορατότητας). Λίγες μελέτες μέχρι σήμερα έχουν ασχοληθεί με αυτό το θέμα διότι απαιτείται μια σημαντική βάση δεδομένων προκειμένου να αναγνωριστούν αξιόλογες τάσεις και απαιτείται πολύ ουσιαστική και σημαντική προσπάθεια προκειμένου να δημιουργηθεί ένα τέτοιο μοντέλο πρόβλεψης ταχύτητας. Στην έρευνα της FHWA 1999 πραγματοποιήθηκε μια τέτοια προσπάθεια χρησιμοποιώντας λειτουργικές ταχύτητες σε 162 ευθύγραμμα τμήματα σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 8). Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού μοντέλων για την καλύτερη πρόβλεψη της λειτουργικής ταχύτητας. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι κατά τον προσδιορισμό της V_{85} στο μέσον ενός ευθυγράμμου τμήματος, είναι απαραίτητη η παρατήρηση ενός μεγαλύτερου τμήματος – το οποίο περιλαμβάνει την προηγούμενη και την επικείμενη καμπύλη – διότι αυτές αποτελούν τις σημαντικότερες μεταβλητές που επηρεάζουν την ταχύτητα. Ερευνήθηκε η επιρροή δευτερευόντων γεωμετρικών μεταβλητών και βρέθηκε ότι αυτή είναι ασήμαντη συγκριτικά με την αντίστοιχη των κύριων μεταβλητών.

Οριζοντιογραφικές Καμπύλες

Σύμφωνα με την έρευνα της FHWA 1999, όσο αυξάνεται η ακτίνα από τα 0 στα 400m, οι 85^{εσ} ποσοστιαίες ταχύτητες αυξάνονται αισθητά για όλα τα τμήματα. Η αύξηση στις ταχύτητες για ακτίνες μεγαλύτερες από τα 400m δεν είναι τόσο μεγάλη. Η μεταβλητή που είχε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τη V_{85} βρέθηκε ότι είναι το αντίστροφο της ακτίνας. Με βάση τα δεδομένα, η μέγιστη λειτουργική ταχύτητα στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας και των ευθυγραμμιών ορίστηκε στα 100 km/h.

Hashim

Οριζοντιογραφικές Καμπύλες

Στη διδακτορική έρευνα του Hashim I.H., αναπτύσσονται μοντέλα τόσο απλής όσο και πολλαπλής παλινδρόμησης, εξετάζονται δηλαδή πολλοί παράμετροι της οριζοντιογραφίας για την εκτίμηση των λειτουργικών ταχυτήτων στις καμπύλες. Παρόλα αυτά, από τα προτεινόμενα μοντέλα, αυτό που περιελάμβανε μια μόνο μεταβλητή (την ακτίνα των καμπυλών), κρίθηκε άκρως αποτελεσματικό για τη χρήση του σε αντίθεση με το μοντέλο πολλών μεταβλητών το οποίο είναι χρήσιμο μόνο όταν διατίθενται επαρκή δεδομένα.

Ευθυγραμμίες

Από τη μέτρηση 31 ευθύγραμμων τμημάτων, αναπτύχθηκαν μοντέλα πρόβλεψης των λειτουργικών ταχυτήτων στις ευθυγραμμίες. Από την ανάλυση των μοντέλων παλινδρόμησης βρέθηκε πως αντίθετα με τις καμπύλες, το μοντέλο που περιγράφεται από το μήκος της ευθυγραμμίας αλλά και από το μέσο βαθμό καμπυλότητας (τη μέση τιμή του βαθμού καμπυλότητας της προηγούμενης και επόμενης καμπύλης της ευθυγραμμίας) εκτιμά τη λειτουργική ταχύτητα με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι αν η μοναδική επεξηγηματική μεταβλητή είναι το μήκος της ευθυγραμμίας.

Στην έρευνα των Marcchiona A., Perco, 2007, εξετάστηκαν καμπύλες και ευθυγραμμίες της N-A Ιταλίας μέγιστης κατά μήκος κλίσης 4% καθώς η ανάλυση περιελάμβανε μόνο τα χαρακτηριστικά της οριζοντιογραφικής χάραξης. Η ανεξάρτητη μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των λειτουργικών ταχυτήτων ήταν η ελικτότητα, για την οποία αναπτύχθηκαν τέσσερις εξισώσεις πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας, ανάλογα με τις τιμές του τεταμένου της καμπύλης. Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε διότι η πρόβλεψη των ταχυτήτων στις καμπύλες μικρής ελικτότητας, παρουσίαζε ανώμαλη κατανομή. Σύμφωνα με τους συγγραφείς της έρευνας, αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στις καμπύλες μικρής ακτίνας, η ταχύτητα είναι

πιο περιορισμένη ενώ στις καμπύλες μεγάλης ακτίνας οι οδηγοί μπορούν να κινηθούν πιο ελεύθερα με αποτέλεσμα να μπορούν να επιλέξουν την ταχύτητα με την οποία επιθυμούν να κινηθούν.

Lamm et al.

Από την έρευνα των Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger, 1987 η οποία βασίστηκε σε δείγμα μετρήσεων από 260 καμπύλες της Νέας Υόρκης, εκτιμήθηκαν μοντέλα εκτίμησης των λειτουργικών ταχυτήτων ως συνάρτηση του βαθμού καμπυλότητας. Οι εξισώσεις που αναπτύχθηκαν (όπως αναφέρεται στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003) στην εργασία του για την ανάπτυξη των γερμανικών οδηγιών για την εκτίμηση των λειτουργικών ταχυτήτων. Η Γερμανική προσέγγιση χρησιμοποιεί την ελικτότητα ως την ανεξάρτητη μεταβλητή στην εξίσωση παλινδρόμησης για την εκτίμηση των λειτουργικών ταχυτήτων. Στην έρευνα τους, οι Elias M. και Lamm Ruediger 1987, δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές στη χρήση του βαθμού καμπυλότητας ή της ελικτότητας, πρότειναν όμως τη χρήση του πρώτου για τις Η.Π.Α. μιας και είναι πιο συνήθης η χρήση του στο σχεδιασμό. Επιπλέον, καθώς ο Αμερικανικός σχεδιασμός για τους υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας αποτελείται κατά βάση από την αλληλουχία ευθυγραμμίων και καμπυλών, χρησιμοποιείται ο βαθμός καμπύλης για τον εντοπισμό κρίσιμων αλλαγών στις λειτουργικές ταχύτητες στην οριζοντιογραφική χάραξη. Στην περίπτωση των καμπυλόγραμμων χαράξεων, η μέθοδος της ελικτότητας μπορεί να πλεονεκτεί σε σχέση με το βαθμό της καμπύλης (Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger, Part I, σελ. 154, 1987).

2.4.3.1 Σύνοψη των μοντέλων πρόβλεψης ταχύτητας στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας

Όπως διαπιστώθηκε από ένα μεγάλο αριθμό ερευνών που σχετίζονται με το αντικείμενο αυτό, υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ακτίνας της καμπύλης. Συγκεκριμένα, όσο μειώνεται η ακτίνα ή αντίστοιχα αυξάνεται η ελικτότητα, η λειτουργική ταχύτητα μειώνεται. Στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρατίθενται συνοπτικά ορισμένα μοντέλα πρόβλεψης ταχύτητας στο μέσο μιας καμπύλης υπεραστικής οδού δύο λωρίδων κυκλοφορίας ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας. Αντίστοιχα, στον Πίνακα 3 παρατίθεται η σύνοψη του μοντέλου των Polus et al. (2000) που αφορά τη λειτουργική ταχύτητα σε ευθυγραμμίες ίδιας κατηγορίας οδών.

Συγγραφέας	Μεταβλητή						R ²
	Βαθμός καμπύλης	Ακτίνα	Μήκος καμπύλης	Γωνία Αλλαγής Κατεύθυνσης	Υπωνοσούμενη ταχύτητα μελέτης	Κατά μήκος κλίση	
Tarigan (1954)	X						0.74
Dept of Main Roads, New South Wales (1969)		X					0.83
Emmerson (1969)		X					na
McLean (1979)		X			X		0.92
Glennon (1983)	X						0.84
Lamm (1988)	X						0.79
Krammes et al. (1993)	X		X	X			0.82
Islam et al. (1994)	X						0.98
Fitzpatrick et al. (1999)		X				X	0.53- 0.76
Schurr et al. (2002)			X	X		X	0.46

Πίνακας 2: Μεταβλητές που επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα που αναπτύσσεται στο μέσο των καμπυλών σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας

Συγγραφέας	Μεταβλητή		Κατά μήκος κλίση
	Προηγούμενη και επόμενη καμπύλη	Μήκος Ευθυγραμμίας	
Polus et al. (2000)	X	X	

Πίνακας 3: Μεταβλητές που επηρεάζουν τη λειτουργική ταχύτητα που αναπτύσσεται στις ευθυγραμμίες στις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας

2.4.3.2 Κανόνες που βασίζονται στη λειτουργική ταχύτητα

Όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, στις Ευρωπαϊκές οδηγίες υπάρχουν σε κάποιο βαθμό οι διαδικασίες ελέγχου των ταχυτήτων μελέτης με το σχέδιο της χάραξης για νέες μελέτες ή ανακατασκευές οδικών τμημάτων προκειμένου να επιτευχθεί η συνέχεια στη χάραξη.

Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι συστηματικής αξιολόγησης της συνέχειας στο σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και της επίδρασης στις λειτουργικές ταχύτητες. Μία από αυτές είναι και η μέθοδος του Leisch για τις Η.Π.Α. η οποία χρησιμοποιείται από τη Γερμανία και την Ελβετία. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, μειώνοντας τη μεταβολή της λειτουργικής ταχύτητας μεταξύ δύο οδικών τμημάτων με ανομοιότητες στα οδικά χαρακτηριστικά περιορίζονται και οι κρίσιμοι ελιγμοί που θα απαιτούνταν από τους οδηγούς. Για τις λειτουργικές ταχύτητες λοιπόν μεταξύ διαδοχικών στοιχείων σχεδιασμού έχουν προταθεί οι εξής μέγιστες επιτρεπόμενες μεταβολές:

Μέθοδος Leisch, U.S. : $\Delta V \leq 10\text{mph}$ (16km/h)

Γερμανικές Οδηγίες : $\Delta V \leq 6\text{mph}$ (10km/h)

Ελβετικές Οδηγίες : $\Delta V \leq 12\text{mph}$ (20km/h) για ταχύτητες σχεδιασμού $\geq 45\text{mph}$ (70km/h) και $\Delta V \leq 6\text{mph}$ (10km/h) για ταχύτητες σχεδιασμού $< 45\text{mph}$ (70km/h)

Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά τα διαφορετικά βήματα εντοπισμού των ασυνεχειών στη λειτουργική ταχύτητα για τα επιβατηγά οχήματα, σε κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους.

Η μέθοδος Leisch

Το κλειδί στην εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι ο καθορισμός της λειτουργικής ταχύτητας σε διαδοχικά σημεία κατά μήκος της διαδρομής προκειμένου να διευκολυνθεί ο προσδιορισμός του προφίλ των ταχυτήτων (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 28). Όπως περιγράφεται από τη διατριβή του Leisch, τα βασικά χαρακτηριστικά του προφίλ ταχυτήτων συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Συνθήκες ελεύθερης ροής χρησιμοποιώντας τις μέσες ταχύτητες της κυκλοφορίας κάτω από ευνοϊκές συνθήκες -μέρα, καλός καιρός, καλή ορατότητα κλπ.-
- Οι μέγιστες μέσες ταχύτητες είναι αντιπροσωπευτικές των ελεύθερα κινούμενων επιβατηγών οχημάτων σε σχετικά ευθύγραμμα τμήματα χωρίς την επίδραση άλλων γεωμετρικών περιορισμών.
- Οι μέσες ταχύτητες στις οριζοντιογραφικές καμπύλες σε συνδυασμό με τη σχέση των μέσων τρεχουσών ταχυτήτων στην ταχύτητα μελέτης.
- Οι αποστάσεις επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για τα επιβατηγά οχήματα υπολογίζονται από νομογραφήματα.

Όπως σημειώνεται, το προφίλ ταχυτήτων αποτελείται βασικά από δύο στοιχεία ταχυτήτων, αυτές στις στροφές και τις μέγιστες μέσες ταχύτητες στα ευθύγραμμα τμήματα του δρόμου. Συγκρίνοντας το προφίλ ταχυτήτων σε διαδοχικά οδικά τμήματα, όπως για παράδειγμα μεταξύ ευθυγραμμιών και καμπυλών ή μεταξύ καμπυλών με διαφορετικές ταχύτητες, βάση του κανόνα του Leisch για τα 10m/h, μπορούν να εντοπιστούν ασυνέχειες και κατά συνέπεια μπορεί να προσαρμοστεί ο σχεδιασμός προκειμένου να τις περιορίσει. Καθώς η μέθοδος αυτή καθορίζει και τα μήκη επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, μπορούν να βγουν συγκεκριμένα συμπεράσματα για τις μειώσεις των ταχυτήτων κατά τη προσέγγιση στην καμπύλη, για τα μήκη ορατότητας και τη τοπογραφία όταν χρησιμοποιούνται τα νομογραφήματα του Leisch. Διαφορετικοί σχεδιαστές μπορεί να αναπτύξουν διαφορετικές γνώμες σχετικά με αυτές τις υποθέσεις και κατά συνέπεια η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας μπορεί να καταστεί δύσκολη για τη χρήση σε πρακτικές σχεδιασμού όλων των δρόμων.

Η μέθοδος του Leisch είναι μια από τις πρώτες μεθόδους που αναπτύχθηκαν στις Η.Π.Α. και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της συνέχειας στην οριζοντιογραφική και κατά μήκος χάραξη ενός δρόμου. Η επίδραση του πλάτους των λωρίδων στις λειτουργικές ταχύτητες δεν περιλαμβάνεται σε αυτή τη διαδικασία.

Ελβετικές Οδηγίες

Η Ελβετία εφαρμόζει ένα μοντέλο ταχυτήτων για την εξέταση της συνέχειας στην οριζοντιογραφική χάραξη και στην αναγνώριση επικίνδυνων αλλαγών ή μεταβάσεων στο προφίλ των ταχυτήτων που επιφέρουν οι αλλαγές στην οριζοντιογραφική χάραξη. Αυτό το μοντέλο ταχύτητας αναπαριστά τη θεωρητική αλλαγή της ταχύτητας σχεδιασμού ως συνάρτηση της οριζόντιας καμπυλότητας. Οι βασικές υποθέσεις του μοντέλου ταχυτήτων είναι:

- ο οδηγός επιλέγει την ταχύτητα που ανταποκρίνεται στην ακτίνα της οριζόντιας χάραξης παρατηρώντας τα γενικά όρια ταχυτήτων.
- η ταχύτητα σχεδιασμού είναι σταθερή κατά μήκος της καμπύλης.
- σε ευθύγραμμες χαράξεις, η ταχύτητα σχεδιασμού αναφέρεται στο γενικό όριο ταχύτητας.
- ο οδηγός προσαρμόζει τη ταχύτητά του στο επικείμενο στοιχείο οριζοντιογραφίας.
- η επιβράδυνση του οχήματος σε μια καμπύλη ολοκληρώνεται στην είσοδο της καμπύλης.
- η επιτάχυνση αρχίζει στην έξοδο της καμπύλης.
- οι ρυθμοί επιτάχυνσης και επιβράδυνσης είναι ίσοι και σταθεροί (0.8m/sec^2).

Η ύπαρξη ασυνέχειας εντοπίζεται όταν υπάρχει διαφορά μεταξύ των λειτουργικών ταχυτήτων διαδοχικών οδικών τμημάτων μεγαλύτερη από 20km/h για ταχύτητες σχεδιασμού <70km/h είτε 10km/h για ταχύτητες σχεδιασμού >70km/h.

Λόγω των απλοποιητικών υποθέσεων αυτής της μεθόδου καθίσταται εύκολη η χρήση της. Σχετικά με την κατά μήκος χάραξη, οι Ελβετοί υποθέτουν ότι η επιρροή των κλίσεων μπορεί να αγνοηθεί αν αυτές είναι κάτω από 7%. Στη διαδικασία αυτή δεν περιλαμβάνεται και η επίδραση του πλάτους του οδοστρώματος.

Γερμανικές Οδηγίες

Σε αντίθεση με τις μεθόδους του Leisch και αυτές της Ελβετίας, οι γερμανικές σχεδιαστικές οδηγίες ακολουθούν διαφορετική προσέγγιση για την επίτευξη της συνέχειας στην οριζοντιογραφική χάραξη. Αντί της χρήσης μεμονωμένων καμπύλων και προφίλ ταχυτήτων, οι Γερμανοί χρησιμοποιούν την παράμετρο της ελικτότητας για να περιγράψουν την καθολική ομοιογένειας του δρόμου και την αποφυγή έντονων μεταβάσεων στις λειτουργικές ταχύτητες μεταξύ των ομογενών τμημάτων των δρόμων.

Μέσω παρατηρήσεων πεδίου στη Γερμανία, η λειτουργική ταχύτητα βρέθηκε να παραμένει σχετικά σταθερή κατά μήκος τμημάτων με όμοια οδικά χαρακτηριστικά και επίσης ισχυρά συσχετισμένη με την ελικτότητα (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 31). Προκειμένου να υπολογισθεί η ελικτότητα, χρησιμοποιούνται τα μήκη και οι ακτίνες όλων των καμπυλών, καθώς και τα μήκη όλων των στοιχείων μετάβασης και των ευθυγραμμίων που βρίσκονται στο οδικό τμήμα. Έτσι λοιπόν η εξασφάλιση της μη υπέρβασης των 10km/h που είναι και το επιτρεπόμενο όριο για τις διαφορές στις λειτουργικές ταχύτητες από τμήμα σε τμήμα, διασφαλίζει λειτουργική συνέχεια και παρέχει ένα ισορροπημένο σχεδιασμό.

Αναφορικά με τα παραπάνω, η γερμανική διαδικασία για τον καθορισμό κρίσιμων ασυνεχειών έχει ως εξής:

- καθορισμός των υποτμημάτων κατά μήκος όλου του δρόμου τα οποία παρουσιάζουν ομοιότητες στην οριζοντιογραφική χάραξη.
- υπολογισμός της ελικτότητας κάθε υποτμήματος κατά μήκος του δρόμου
- καθορισμός της αναμενόμενης λειτουργικής ταχύτητας για κάθε υποτμήμα του δρόμου, εφαρμόζοντας το νομογράφημα που συνδέει την 85^η ποσοστιαία ταχύτητα με την ελικτότητα, με βάση το πλάτος της λωρίδας του κάθε τμήματος.
- υπολογισμός των διαφορών των V_{85} μεταξύ των διαδοχικών υποτμημάτων κατά μήκος του οδικού τμήματος.
- εντοπισμός όλων των περιοχών όπου η διαφορά στις λειτουργικές ταχύτητες είναι μεγαλύτερη από 10km/h, η οποία και υποδεικνύει την ύπαρξη ασυνέχειας στην οριζοντιογραφική χάραξη.

Η γερμανική μέθοδος της ελικτότητας παράγει τα ίδια βασικά αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται και από τη χρήση των προφίλ ταχυτήτων τα οποία παρουσιάζουν διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις γραφικές τεχνικές. Ένας λόγος είναι ότι τα προφίλ ταχυτήτων βασίζονται σε μεγάλο ποσοστό σε θεωρητικές προσεγγίσεις ενώ η μέθοδος της ελικτότητας βασίζεται αποκλειστικά σε μετρήσεις ταχυτήτων οι οποίες αντανakλούν την πραγματική οδική συμπεριφορά των χρηστών του δρόμου. Για παράδειγμα, από το νομογράφημα φαίνεται ξεκάθαρα ότι το πλάτος των λωρίδων σε συνδυασμό με την ελικτότητα, έχει μια σημαντική επίδραση στις λειτουργικές ταχύτητες. Από την άλλη, οι μέθοδοι του Leisch και της Ελβετίας δεν κάνουν πρόβλεψη για την επίδραση του πλάτους του οδοστρώματος στις λειτουργικές ταχύτητες (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 32). Αναφορικά με την κατά μήκος χάραξη, εκτενείς έρευνες στη Γερμανία έχουν δείξει ότι η επίδραση των κατά μήκος κλίσεων στις λειτουργικές ταχύτητες των επιβατηγών οχημάτων είναι αμελητέα για κλίσεις μικρότερες από 4 με 5%.

Συγκεκριμένα στην έρευνα τους, οι Elias M. και Lamm Ruediger Lamm et al. (1987) πρότειναν τα δύο ακόλουθα κριτήρια συνέχειας που βασίζονται στη λειτουργική ταχύτητα:

- Συνέχεια στη ταχύτητα μελέτης.
- Συνέχεια στη λειτουργική ταχύτητα.

Το κριτήριο της συνέχειας στη ταχύτητα μελέτης (Κριτήριο I) βασίζεται στην απόκλιση της ταχύτητας μελέτης από τη λειτουργική ταχύτητα σε ένα τμήμα του δρόμου. Το κριτήριο της λειτουργικής ταχύτητας (Κριτήριο II) βασίζεται στη μείωση της ταχύτητας μεταξύ δύο διαδοχικών τμημάτων τα οποία μπορεί να είναι δυο καμπύλες που διαχωρίζονται από τη μια μη ανεξάρτητη ευθυγραμμία ή μια καμπύλη και μια ανεξάρτητη ευθυγραμμία. Βάσει ανάλυσης δεδομένων ατυχημάτων, τα ακόλουθα κριτήρια προτάθηκαν για την αξιολόγηση της συνέχειας της ταχύτητας, τα οποία αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 4.

Κριτήριο Ασφαλείας I: Επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στη μελέτη(Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 3 – Χαράξεις)

Η διατύπωση του Κριτηρίου Ασφαλείας I βασίζεται σε έρευνες που σχετίζονται με την οδική συμπεριφορά των οδηγών και την επιρροή αυτής, στην πρόκληση ατυχημάτων. Αυτό το κριτήριο ασφαλείας δίνει τη δυνατότητα συσχέτισης της ταχύτητας μελέτης V_e με την λειτουργική ταχύτητα V_{85} , ώστε να αξιολογούνται τμήματα υπεραστικών οδών με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας (κατηγορίες οδών AI έως AIV) σε σχέση με την ποιότητα σχεδιασμού ως καλά, μέτρια ή μη αποδεκτή. Τα ποσοτικά δεδομένα των ορίων απόκλισης μεταξύ των ταχυτήτων V_e και V_{85} για την απόδοση ενός από τους τρεις προαναφερόμενους χαρακτηρισμούς, αναγράφονται στο παρακάτω πίνακα.

Περίπτωση 1 : Καλή Ποιότητα Σχεδιασμού

$$|V_{85} - V_e| \leq 10 \text{ km/h}$$

Δεν απαιτούνται προσαρμογές ή διορθωτικές επεμβάσεις στη χάραξη της οδού

Περίπτωση 2 : Μέτρια Ποιότητα Σχεδιασμού

$$10 \text{ km/h} < |V_{85} - V_e| \leq 20 \text{ km/h}$$

Στην περίπτωση αυτή οι επικλίσεις πρέπει να επαναυπολογιστούν με βάση την ταχύτητα V_{85} προκειμένου να εξασφαλισθεί, ότι ο διαθέσιμος συντελεστής πλευρικής τριβής θα αντιστοιχεί στον απαιτούμενο συντελεστή τριβής. Οι απαιτούμενες βελτιώσεις αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση. Επίσης συνιστάται η τοποθέτηση των κατάλληλων προειδοποιητικών πινακίδων.

Περίπτωση 3 : Μη αποδεκτή Ποιότητα Σχεδιασμού

$$|V_{85} - V_e| > 20 \text{ km/h}$$

Ο προβλεπόμενος δείκτης σοβαρών τροχαίων ατυχημάτων χαρακτηρίζει τη κίνηση στην οδό μη ασφαλή και μη οικονομική. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται κατά κανόνα η ανακατασκευή της οδού και οπωσδήποτε η λήψη διορθωτικών μέτρων.

Πίνακας 4: Κριτήριο Ασφαλείας I για υπεραστικές οδούς με ενιαία κυκλοφορίας. Όριο τιμών απόκλισης μεταξύ V_{85} και V_e , για το χαρακτηρισμό της ποιότητας σχεδιασμού ενός οδικού τμήματος. (ΟΜΟΕ – X)

Η αξιολόγηση του οδικού τμήματος με βάση το Κριτήριο Ασφαλείας I αναφέρεται πάντοτε σε ένα στοιχείο της χάραξης, δηλαδή σε μια καμπύλη ή μια ανεξάρτητη ευθυγραμμία.

Κριτήριο Ασφαλείας II: Επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στη λειτουργική ταχύτητα (ΟΜΟΕ – Χ).

Η ταχύτητα μελέτης και η εναρμονισμένη με αυτή λειτουργική ταχύτητα πρέπει να διατηρούνται σταθερές σε επαρκές μήκος της οδού. Παρόλα αυτά, αν καταστεί αναγκαίο να τροποποιηθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της χάραξης, πρέπει να δοθεί προσοχή στην επιλογή των στοιχείων μελέτης, τα οποία πρέπει να μεταβάλλονται σταδιακά. Στα τμήματα με σταθερή ταχύτητα μελέτης, η επιλογή διαδοχικών στοιχείων μελέτης με αρμονική μεταξύ τους σχέση, όσον αφορά στη δυναμική της κίνησης των οχημάτων, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για έναν ομοιόμορφο και οικονομικό τρόπο οδήγησης, ιδιαίτερα στις οδούς των ομάδων Α.

Ο έλεγχος της ομοιογένειας της οριζοντιογραφίας ιδιαίτερα στις υπεραστικές οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, γίνεται με βάση τα ποσοτικά όρια των τιμών της μεταβολής της ταχύτητας V85 του κριτηρίου ασφαλείας II.

Ο έλεγχος βασίζεται στον υπολογισμό των διαφορών των ταχυτήτων V85 που αναπτύσσονται στα διαδοχικά στοιχεία μελέτης, «ανεξάρτητη ευθυγραμμία– καμπύλη» ή «καμπύλη– καμπύλη». Η ποιότητα σχεδιασμού του εξεταζόμενου οδικού τμήματος που περιλαμβάνει αυτά τα δύο στοιχεία μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως καλή, μέτρια ή μη αποδεκτή, σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα, ανάλογα με την απόλυτη τιμή της διαφοράς, των δύο διαδοχικών λειτουργικών ταχυτήτων μεταξύ των δύο προηγούμενων στοιχείων μελέτης.

Περίπτωση 1 : Καλή Ποιότητα Σχεδιασμού

$$|V_{85i} - V_{85i+1}| \leq 10 \text{ km/h}$$

Σε αυτά τα οδικά τμήματα υπάρχει αρμονία και συνέχεια στη χάραξη των διαδοχικών στοιχείων μελέτης και η οριζοντιογραφία της οδού δεν προκαλεί ασυνέχειες στην ανάπτυξη των λειτουργικών ταχυτήτων

Περίπτωση 2 : Μέτρια Ποιότητα Σχεδιασμού

$$10 \text{ km/h} < |V_{85i} - V_{85i+1}| \leq 20 \text{ km/h}$$

Σε αυτά τα οδικά τμήματα εμφανίζονται μικρές δυσαρμονίες και ασυνέχειες στην χάραξη των διαδοχικών στοιχείων μελέτης. Κατά κανόνα το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με προειδοποιητικές πινακίδες χωρίς να απαιτείται ανακατασκευή της οδού.

Περίπτωση 3 : Μη αποδεκτή Ποιότητα Σχεδιασμού

$$|V_{85i} - V_{85i+1}| > 20 \text{ km/h}$$

Σε αυτά τα οδικά τμήματα εμφανίζονται μεγάλες δυσαρμονίες και ασυνέχειες στη χάραξη των διαδοχικών στοιχείων μελέτης, που επιφέρουν ασυνέχειες στις επιλογές των ταχυτήτων με αποτέλεσμα να καθίσταται η οδός μη ασφαλής και αντιοικονομική λόγω κρίσιμων τιμών του δείκτη ατυχημάτων και του δείκτη κόστους ατυχημάτων. Το πρόβλημα αυτό κατά κανόνα πρέπει να αντιμετωπίζεται με ανακατασκευή της οδού ή με λήψη διορθωτικών μέτρων.

Πίνακας 5: Κριτήριο Ασφαλείας II για υπεραστικές οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Όρια τιμών απόκλισης μεταξύ διαδοχικών V85 για το χαρακτηρισμό της ποιότητας σχεδιασμού ενός οδικού τμήματος ως καλής, μέτριας ή μη αποδεκτής (ΟΜΟΕ – X)

Από το παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ταχύτητας μελέτης σε μια καμπύλη ή μεταξύ των λειτουργικών ταχυτήτων σε διαδοχικά τμήματα, τόσο χειρότερη είναι η ποιότητα σχεδιασμού. Έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα για την εκτίμηση της λειτουργικής ταχύτητας στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας στους υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Από την άλλη, η πρόβλεψη των λειτουργικών ταχυτήτων στις ανεξάρτητες ευθυγραμμίες είναι πιο πολύπλοκη διαδικασία και ακόμα δεν έχει αναπτυχθεί ένα ικανοποιητικό μοντέλο.

2.4.4 Δυναμική κίνησης οχημάτων

Οι μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις που ενεργούν στα οχήματα που κινούνται σε μια καμπύλη μπορεί να προκαλέσουν ντεραπάρισμα, ανατροπή του οχήματος και μετωπικές συγκρούσεις. Κατά συνέπεια, για να είναι συνεχής ο σχεδιασμός ενός δρόμου και να παρέχεται ένα επίπεδο ασφαλείας για την κίνηση των οχημάτων και την άνεση των οδηγών, θα πρέπει να παρέχεται η πλευρική τριβή που απαιτείται ώστε να εξισορροπηθούν οι φυγόκεντρες δυνάμεις. Οι Lamm et al., και οι Morall και Talarico (στο Awatta M. και Hassan Y., 2002) πρότειναν ένα κριτήριο αξιολόγησης για τη συνέχεια στο σχεδιασμό που βασίζεται στη διαφορά μεταξύ της διατιθέμενης πλευρικής και της απαιτούμενης πλευρικής τριβής.

<i>Αξιολόγηση Ποιότητας</i>	<i>Κριτήριο Ασφαλείας III</i>
<i>Καλή</i>	$\Delta f_R = f_R - f_{RA} \geq 0.00$
<i>Μέτρια</i>	$0.00 > \Delta f_R \geq -0.04$
<i>Μη Αποδεκτή</i>	$\Delta f_R < -0.04$

Κριτήριο συνέχειας της δυναμικής κίνησης των οχημάτων

f_R = διατιθέμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής στις καμπύλες

f_{RA} = απαιτούμενος συντελεστής εγκάρσιας πρόσφυσης

Πίνακας 6: Κριτήριο Ασφαλείας III: Επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στη δυναμική της κίνησης των οχημάτων (Ψαριανός Β., 2001)

Με βάση τις μετρήσεις του συντελεστή ολίσθησης σε υγρά οδοστρώματα, καθορίστηκε η επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή εφαπτομενικής και εγκάρσιας τριβής. Από έρευνες στις οποίες αναπτύχθηκαν εξισώσεις με τη χρήση ανάλυσης παλινδρόμησης μεταξύ του επιτρεπόμενου συντελεστή εφαπτομενικής τριβής και της ταχύτητας, για την ανάπτυξη των οποίων λήφθηκαν η ασφάλεια, η οικονομικότητα και τα περιβαλλοντικά δεδομένα, καθορίστηκε ένα πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού το οποίο χρησιμοποιείται και στην Ελλάδα με το οποίο υπολογίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής:

$$\max f_{T_{\text{εππρ}}} = 0,59 - 4,85 \cdot V + 1,51 \cdot V^2$$

Όπου: $\max f_{T_{\text{εππρ}}}$ (-): ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

V (km/h): ταχύτητα

Με βάση τον επιτρεπόμενο συντελεστή εφαπτομενικής τριβής καθορίζεται ανάλογα με τις μέγιστες τιμές επίκλισης για τους διαφορετικούς τύπους εδαφών στην Ελλάδα, ένα ποσοστό εκμετάλλευσης της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής του συντελεστή εγκάρσιας τριβής και από αυτόν προκύπτει ο διατιθέμενος συντελεστής πλευρικής τριβής στις καμπύλες.

Με το Κριτήριο Ασφαλείας III ελέγχεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ του διατιθέμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής ο οποίος είναι συνάρτηση της αναμενόμενης ταχύτητας V_{85} , της ακτίνας της καμπύλης και του ποσοστού της επίκλισης της καμπύλης.

Η αλγεβρική διαφορά στις τιμές των μεγεθών αυτών καθορίζει και την ποιότητα σχεδιασμού ενός οδικού τμήματος κα αποτελεί ένα μέτρο ασφαλείας που συνδέεται με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων. Όταν ο διατιθέμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής είναι μεγαλύτερος από τον απαιτούμενο, η ποιότητα σχεδιασμού είναι καλή, αφού θεωρητικά τουλάχιστον η πρόσφυση του οδοστρώματος είναι ικανοποιητική. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή ο απαιτούμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής είναι μεγαλύτερος από το διατιθέμενο, το διαπιστούμενο έλλειμμα στην πρόσφυση του οδοστρώματος μπορεί να επιφέρει αύξηση της επικινδυνότητας της οδού σε κρίσιμους ελιγμούς κατά την οδήγηση. Όπως αναφέρεται, αν η ποιότητα του σχεδιασμού χαρακτηρίζεται ως μέτρια, η επικινδυνότητα της οδού προβλέπεται να είναι διπλάσια έως τριπλάσια σε σχέση με την περίπτωση των μελετών των οποίων η ποιότητα σχεδιασμού αξιολογείται ως καλή, τουλάχιστον όσον αφορά τις οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας (Ψαριανός Β., 2001). Για μη αποδεκτή

ποιότητα σχεδιασμού επιβάλλεται κατά κανόνα η τροποποίηση της χάραξης ή η λήψη διορθωτικών μέτρων.

2.4.5 Μέθοδοι συνέχειας που βασίζονται στους δείκτες χάραξης

Οι δείκτες χάραξης είναι ποσοτικά μέτρα του γενικού χαρακτήρα της χάραξης ενός οδικού τμήματος. Η μέση ακτίνα ανά τμήμα δρόμου, η μέση κατά μήκος καμπυλότητα, η ελικτότητα και άλλοι δείκτες είναι ένα παράδειγμα μέτρων χάραξης οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να ορίσουν τα γενικά χαρακτηριστικά του τμήματος ενός δρόμου. Στον πίνακα 7 παρατίθενται διάφοροι δείκτες χάραξης. Σε μια έρευνα που διεξήχθη από την FHWA τη δεκαετία του 1990 όπου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ταχυτήτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας, εξετάστηκε αν οι δείκτες χάραξης είναι σημαντικοί εκτιμητές των ταχυτήτων στις ευθυγραμμίες. Τα ευρήματα υπέδειξαν ότι αν και λίγα μοντέλα αναπτύχθηκαν, οι δείκτες χάραξης καθαυτοί και συνδυασμοί αυτών και άλλων γεωμετρικών μεταβλητών δεν ήταν στατιστικά σημαντικές επεξηγηματικές μεταβλητές της 85^{ης} ποσοστιαίας ταχύτητας στις μεγάλες ευθυγραμμίες σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 17).

Δείκτες χάραξης οριζοντιογραφίας		Δείκτες χάραξης κατά τη μηκοτομή		Συνδυαστικοί δείκτες χάραξης
Ελικτικότητα	$CCR = \frac{\sum \Delta_i}{L}$	Κατακόρυφη ελικτικότητα	$V_CCR = \frac{\sum A_i}{L}$	Συνδυαστική ελικτικότητα $COMBO = \frac{\sum A_i}{L} + \frac{\sum \Delta_i}{L}$
Δ_i : γωνία αλλαγής κατεύθυνσης σε κάθε καμπύλη (gon) L : συνολικό μήκος οδικού τμήματος (km)		A : απόλυτη διαφορά των κατά μήκος κλίσεων (μοίρες) L : συνολικό μήκος οδικού τμήματος (km)		
Βαθμός καμπύλης	$DC = \frac{\sum DC_i}{L}$	Μέσος ρυθμός κατακόρυφης καμπυλότητας	$V_AVG_K = \frac{\sum A_i }{n}$	
DC : βαθμός καμπυλότητας (μοίρες) L : συνολικό μήκος οδικού τμήματος (km)		L : μήκος κατακόρυφης καμπύλης (km) A : αλγεβρική διαφορά των κατά μήκος κλίσεων (%) n : αριθμός κατακόρυφων καμπυλών		
Μήκος καμπύλης: M ήκος οδού	$CL : RL = \frac{\sum (CL)_i}{L}$	Μέση κατά μήκος κλίση	$V_AVG_G = \frac{\sum \Delta E }{L}$	
CL : μήκος καμπύλης (m) L : συνολικό μήκος οδικού τμήματος (m)				
Μέση ακτίνα	$AVG_R = \frac{\sum R_i}{n}$	ΔE : αλλαγή των κλίσεων μεταξύ των διαδοχικών στοιχείων (m) L : συνολικό μήκος οδικού τμήματος (km)		
R : ανηγμένη ακτίνα της καμπύλης (m) n : αριθμός καμπυλών που εντοπίζονται σε ένα τμήμα				
Μέση ευθυγραμμία	$AVG_T = \frac{\sum (TL)_i}{n}$			
TL : μήκος ευθυγραμμίας (m) n : αριθμός καμπυλών που εντοπίζονται σε ένα τμήμα				Δ_i : γωνία αλλαγής κατεύθυνσης σε κάθε καμπύλη (gon) A : απόλυτη διαφορά των κατά μήκος κλίσεων (μοίρες) L : συνολικό μήκος οδικού τμήματος (km)

Πίνακας 7: Δείκτες χάραξης

2.4.6 Οδηγητική ένταση (driver workload)

2.4.6.1 Ορισμοί

Η οδηγητική ένταση (workload) έχει οριστεί από τον Senders (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 14) ως ένα μέτρο της προσπάθειας που αναμένεται από ένα χρήστη καθώς εκτελεί ένα έργο, ανεξαρτήτως από τη συμπεριφορά του έργου καθεαυτού. Ένας άλλος ορισμός της οδηγητικής έντασης δόθηκε από τον Knowles (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 14) και αποτελείται από την απάντηση σε δύο ερωτήματα: *«πόση προσοχή απαιτείται;»* και *«Πόσο αποτελεσματικά θα μπορέσει ο χρήστης να εκπληρώσει επιπρόσθετες αποστολές»*. Ο ορισμός που παρουσιάζεται από τον Knowles είναι αρκετά κατάλληλος για το οδηγικό περιβάλλον, δεδομένου ότι αυτό αποτελείται από αλληλεπικαλυπτόμενες διεργασίες, με την κάθε μια να απαιτεί την προσοχή του οδηγού. Μία μέθοδος εξέτασης των απαιτήσεων της οδηγητικής έντασης που ασκείται στον οδηγό φαίνεται να είναι η άμεση απαίτηση των δυνατοτήτων του οδηγού καθώς εκείνος πραγματεύεται τα στοιχεία του δρόμου.

Ο Kanellaidis διατυπώνει ότι η σχεδιαστική συνέχεια είναι έμμεσα συνδεδεμένη με το πώς οι οδηγοί ελίσσονται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, ενώ η οδηγητική ένταση είναι άμεσα συσχετισμένη με αυτή (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 14). Ο Messer ορίζει την οδηγητική ένταση ως το ρυθμό που απαιτείται από τους οδηγούς προκειμένου να εκτελέσουν ένα συγκεκριμένο έργο ή μια διεργασία οδήγησης (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 14). Υποδεικνύει ότι η ένταση αυτή αυξάνεται με τη μείωση του μήκους ορατότητας και με την αύξηση της πολυπλοκότητας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ο Glascock συμπέρανε ότι συνδυασμοί χαρακτηριστικών αυξάνουν την οδηγητική ένταση και ενδέχεται να είναι πιο επικίνδυνοι για τους οδηγούς απ' ό,τι τα διαδοχικά χαρακτηριστικά με επαρκή διαχωρισμό μεταξύ τους (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 14). Κατά συνέπεια ο συνδυασμός μια οριζοντιογραφικής καμπύλης με μια μηκοτομική καμπύλη μπορεί να αυξήσει το βαθμό καταπόνησης του οδηγού που έχει να κάνει με την καθοδήγηση και τον έλεγχο με το να υπάρχουν :(1) χαρακτηριστικά της χάραξης που συνδυαζόμενα μειώνουν το μήκος ορατότητας (καθοδήγηση) και (2)γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία απαιτούν πιο πολύπλοκους ελιγμούς του οχήματος (έλεγχος). Αν ο συνδυασμός των καμπυλών οριζοντιογραφίας και μηκοτομής περιλαμβάνει ένα απροσδόκητο ή ακραίο χαρακτηριστικό, η οδηγητική ένταση αυξάνεται ακόμα παραπάνω. Κατά συνέπεια, όσο η πολυπλοκότητα των γεωμετρικών

χαρακτηριστικών αυξάνεται, τόσο αυξάνεται ο βαθμός καταπόνησης του οδηγού και άρα είναι μεγαλύτερη η πιθανότητα για μια σημαντική μείωση της ταχύτητας.

Στις περιοχές όπου οι τιμές της οδηγητικής έντασης είναι υψηλές, βρέθηκε ότι η πιθανότητα σύγκρουσης είναι μεγαλύτερη λόγω της σύγχυσης του οδηγού ή της υπερφόρτωσής του με πληροφορίες που οδηγεί σε επικίνδυνες αντιδράσεις στις καταστάσεις που προκύπτουν. Από την άλλη, στις περιοχές όπου η οδηγητική ένταση είναι εξαιρετικά χαμηλή, μπορεί να χαθεί η συγκέντρωση του οδηγού. Κατά συνέπεια για να επιτευχθεί η συνέχεια στο δρόμο θα πρέπει να αποφευχθούν οι ακραίες τιμές της παραμέτρου αυτής. Καθώς ο βαθμός καταπόνησης του οδηγού δεν είναι εύκολα μετρήσιμος με τη χρήση αναλυτικών μοντέλων, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της συνέχειας του σχεδιασμού στην οδηγητική ένταση. Το πιο κοινό μοντέλο βασίζεται στις απαιτήσεις ορατότητας (visual demand), η οποία ορίζεται ως η ποσότητα της οπτικής πληροφορίας που χρειάζεται ο οδηγός για να διατηρήσει μια αποδεκτή πορεία στο δρόμο.

2.4.6.2 Η οδηγητική ένταση ως μέτρο συνέχειας στο σχεδιασμό

Στις έρευνες του Messer and Messer et al.'s για το σχεδιασμό ενός δρόμου και την επίδραση στις επιδόσεις του οδηγού, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια της οδηγητικής έντασης που επιδρά στις πνευματικές ικανότητες του οδηγού ως μέγεθος αξιολόγησης του σχεδιασμού (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p.14). Ο οδηγός επεξεργάζεται συνεχώς, λίγο ή πολύ οπτικές και κιναισθητικές πληροφορίες, λαμβάνει αποφάσεις και εκτελεί χειρισμούς ελέγχου του οχήματος. Γενικά, μικρή οπτική πληροφορία και ανάγκη επεξεργασίας αυτής χρειάζεται ένας οδηγός κατά τη διαδικασία της οδήγησης. Εκτελείται ως επί το πλείστον σε υποσυνείδητο επίπεδο όσο ο δρόμος περιλαμβάνει συνθήκες ελεύθερης ροής, χωρίς εμπόδια και οι οπτικές αξιολογήσεις του οδηγού είναι συνεπείς με τις απαιτήσεις του οδοστρώματος. Η συνέχεια στην οπτική αξιολόγηση ενός δρόμου με τις πραγματικές απαιτήσεις του, είναι μια συνάρτηση του μήκους ορατότητας και των προσδοκιών του οδηγού σχετικά με το δρόμο. Μια χάραξη με συνεχή γεωμετρικά χαρακτηριστικά επιτρέπει στον οδηγό να προβλέψει με ακρίβεια τη σωστή διαδρομή χωρίς να απαιτείται αφοσίωση για την επεξεργασία οπτικής πληροφορίας και κατά συνέπεια να επιτρέπει στην προσοχή του και στις δυνατότητές του να αξιοποιηθούν για την αποφυγή ενός εμποδίου.

Οι μέθοδοι εκτίμησης της οδηγητικής έντασης αναφέρονται στις έρευνες των Messer and Messer et al. (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 14). Το μοντέλο καθορίστηκε από εμπειρικά στοιχεία που σχετίζονται με τις προσδοκίες των οδηγών σχετικά με τα στοιχεία του δρόμου και τις παραβιάζουν. Το μοντέλο βασίζεται στην υπόθεση ότι ο ίδιος ο δρόμος παρέχει τις περισσότερες πληροφορίες που χρησιμοποιεί ο οδηγός για τον έλεγχο του οχήματός του και κατά συνέπεια ο δρόμος δημιουργεί μια καταπόνηση στον οδηγό. Η καταπόνηση είναι υψηλότερη όταν υπάρχουν πολύπλοκα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και μπορεί να είναι δραματικά υψηλότερη όταν οι οδηγοί αιφνιδιάζονται από συνδυασμούς ή αλληλουχίες έντονων γεωμετρικών χαρακτηριστικών.

Η διαδικασία της οδηγητικής έντασης ποσοτικοποιεί τη συνέχεια στο σχεδιασμό υπολογίζοντας μια τιμή για το βαθμό καταπόνησης του οδηγού. Η τεχνική βασίζεται σε προσδιορισμένες τιμές που έχουν υπολογισθεί για διάφορα στοιχεία του δρόμου. Τα στοιχεία που αξιολογούνται με σειρά σημαντικότητας είναι οι γέφυρες, διασταυρώσεις, αλλαγές στα πλάτη ερεισμάτων, μειώσεις στα πλάτη των λωρίδων κ.ά. Η βαθμολογία των χαρακτηριστικών αυτών τροποποιείται ανάλογα με την περιοχή λόγω ανεξάρτητων κάθε φορά παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί είναι το μήκος ορατότητας προς το στοιχείο, η ομοιότητά του με προηγούμενα στοιχεία, η οδηγητική ένταση που οφείλεται στα προηγούμενα τμήματα και το ποσοστό των οδηγών που υπολογίζεται ότι είναι οικείοι χρήστες με τον εν λόγω δρόμο. Τα αποτελέσματα από τον έλεγχο της συνέχειας χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το αν αναμένεται ή όχι πρόβλημα στη συνέχεια του σχεδιασμού. Παρότι δύο πρόσφατες έρευνες (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 14) υποδεικνύουν γενικά ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη σχέση του ρυθμού των συγκρούσεων με την καταπόνηση του οδηγού βάσει της διαδικασίας των Messer et al.'s είναι αποδεκτά, έχουν προκύψει προβλήματα στην προσπάθεια χρήσης της διαδικασίας σε περιοχές όπου τα οδικά χαρακτηριστικά γεινιάζουν. Μετρήσεις της οδηγητικής έντασης έχουν διεξαχθεί επίσης με τη χρήση της διαδικασίας *Task Load Index* της National Aeronautics and Space Administration (NASA) και της *Subjective Workload Assessment Technique* της United States Air Force. Δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά στην οδηγητική ένταση μεταξύ των αριστερών και των δεξιών στροφών. Ωστόσο, σημειώθηκαν διαφορετικές συνέπειες μεταξύ των δύο ελιγμών, λόγω της αποτυχίας του εντοπισμού επερχομένου οχήματος.

Παρεμπόδιση ορατότητας (Vision Occlusion)

Σε μια έρευνα των Krammes et al. (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 15) εξετάστηκε η συνέχεια στο σχεδιασμό στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας με τη χρήση της παρεμπόδισης ορατότητας για τη μελέτη της οδηγητικής έντασης. Η παρεμπόδιση ορατότητας χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικής οδηγητικής έντασης που επιβάλλεται στον οδηγό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το οδηγητική ένταση αυξάνεται γραμμικά όσο αυξάνεται ο βαθμός της καμπυλότητας. Συγκεκριμένα αυξάνεται προσεγγίζοντας την καμπύλη και κορυφώνεται κοντά στην έξοδο από αυτήν. Συνεχίζοντας την έρευνα αυτή, μια έρευνα της FHWA που διεξήχθη στα τέλη της δεκαετίας του 1990 μελέτησε τη χρήση της παρεμπόδισης ορατότητας στην εκτίμηση της συνέχειας. Στη μελέτη αυτή βρέθηκε ότι οι απαιτήσεις ορατότητας (visual demand) συνδέονται στενά με την ακτίνα.

2.4.7 Σύνοψη της βιβλιογραφικής επισκόπησης σχετικά με τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια του σχεδιασμού

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συνέχειας στα στοιχεία της οριζοντιογραφίας και που συνοψίζονται στα κριτήρια ασφαλείας, διακρίνονται κυρίως σε αυτές που βασίζονται στην ταχύτητα μελέτης και σε αυτές που βασίζονται στη λειτουργική ταχύτητα. Στις Η.Π.Α, η προσέγγιση της ταχύτητας μελέτης από AASHTO θεωρείται ως το σημαντικότερο κριτήριο αξιολόγησης της συνέχειας. Παρόλα αυτά, ανακύπτουν ορισμένα προβλήματα που δεν μπορεί να εγγυηθεί τη συνέχεια σε όλες τις περιπτώσεις. Η διεθνής πρακτική και οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί στις Η.Π.Α επιβεβαιώνουν ότι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται και οι μέθοδοι που βασίζονται στη λειτουργική ταχύτητα προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνέχεια. Αυτές οι μέθοδοι είναι ακόμα πιο σημαντικές ειδικά στην περίπτωση οδών όπου η ταχύτητα μελέτης είναι μικρή και η λειτουργική ταχύτητα την υπερβαίνει.

Από ένα δείγμα οχημάτων, η 85^η ποσοστιαία ταχύτητα μπορεί να θεωρηθεί γενικά αποδεκτή σαν μέτρο της λειτουργικής ταχύτητας. Συνεπώς, η δυνατότητα πρόβλεψης της V₈₅ χρησιμοποιώντας γεωμετρικά στοιχεία ως μεταβλητές αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα ειδικά στις μεθόδους αξιολόγησης της συνέχειας που βασίζονται στη λειτουργική ταχύτητα. Η έρευνα και η διεθνής πρακτική έχουν προσδιορίσει την ακτίνα των καμπυλών της οριζοντιογραφίας ως την κύρια μεταβλητή κατά την εκτίμηση των ταχυτήτων σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Δύο είναι τα βασικά προβλήματα με τις υπάρχουσες προσεγγίσεις της συνέχειας του σχεδιασμού. Το πρώτο είναι η ανικανότητα μελέτης συνδυασμού της οριζοντιογραφικής και της κατά μήκος χάραξης. Το άλλο πρόβλημα είναι ότι οι εξισώσεις πρόβλεψης ταχύτητας έχουν αναπτυχθεί για επιβατηγά οχήματα ενώ τα φορτηγά οχήματα μπορεί να επηρεάζονται διαφορετικά στους συνδυασμούς της οριζόντιας και τις κατά μήκος χάραξης.

Όσον αφορά στο βαθμό καταπόνησης του οδηγού όπως αναφέρθηκε και στην §2.4.6. «...τα αποτελέσματα...είναι αποδεκτά...» ωστόσο, έχουν προκύψει προβλήματα στην προσπάθεια χρήσης της διαδικασίας σε περιοχές όπου τα οδικά χαρακτηριστικά γειτνιάζουν.

Οι δείκτες χάραξης έχουν αναπτυχθεί στην Αγγλία και τη Γερμανία όπου και αποτελούν σημαντικό εργαλείο στο σχεδιασμό των δρόμων. Οι παραπάνω δείκτες χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της 85^{ης} ποσοστιαίας λειτουργικής ταχύτητας των οχημάτων.

2.5 Η σχέση μεταξύ των μέτρων καθορισμού της συνέχειας στο σχεδιασμό και την ασφάλεια

Ο στόχος κατά τη μετακίνηση των χρηστών ενός δρόμου είναι αυτή να γίνει με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, οι οδοποιοί προσπαθούν να παρέχουν τις πιο ασφαλείς και αποτελεσματικές χαράξεις που μπορούν πρακτικά να εφαρμοστούν. Έτσι λοιπόν, ο σχεδιαστής ενός δρόμου, χρησιμοποιεί πολλά εργαλεία και τεχνικές προκειμένου να αναλύσει και να βελτιώσει τη χάραξη ενός οδικού τμήματος, ενσωματώνοντας κάθε πληροφορία που προκύπτει κάθε φορά. Μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να αυξηθεί η οδική ασφάλεια είναι να εξετάζεται η συνέχεια των στοιχείων του δρόμου. Οι οδοποιοί πρέπει να παρέχουν συνέχεια στα χαρακτηριστικά της μελέτης, καθώς μια τέτοια χάραξη επιφέρει τη συμμόρφωση αυτών των χαρακτηριστικών με τις προσδοκίες των οδηγών και συνεπώς οι χρήστες ενός τέτοιου δρόμου κινούνται με μειωμένες πιθανότητες ατυχήματος και σύγκρουσης.

Η προσδοκία γενικά αντιπροσωπεύει ένα εύρος πιθανοτήτων αναφορικά με μια δεδομένη κατάσταση. Οι πιθανότητες αυτές είναι υποκειμενικές και βασίζονται στη μάθηση, τη γνώση και φυσικά στην εμπειρία. Η προσδοκία είναι ένας καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο αντίδρασης και την εγρήγορση. Επειδή λοιπόν η διαδικασία της οδήγησης περιλαμβάνει και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αυτούς τους παράγοντες, πρέπει να δοθεί μεγάλη έμφαση ώστε τα χαρακτηριστικά ενός δρόμου να ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των οδηγών.

Ένας ορισμός της προσδοκίας αναφορικά με τον τομέα των συγκοινωνιακών έχει διατυπωθεί από τον Ellis (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Chapter I, p. 2):

Η προσδοκία ενός οδηγού σχετίζεται με τα παρατηρήσιμα και μετρήσιμα χαρακτηριστικά του οδηγικού του περιβάλλοντος η οποία:

- Αυξάνει την ετοιμότητα του οδηγού προκειμένου να εκτελέσει μια κίνηση του οχήματός του με ένα συγκεκριμένο τρόπο.
- Επιτρέπει στον οδηγό να συνεχίσει την κίνησή του μέχρι αυτή να ολοκληρωθεί ή να διακοπεί

Ένας παρόμοιος ορισμός έχει δοθεί από τους Alexander και Lunenfeld (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Chapter I, p. 2):

Η προσδοκία σχετίζεται με την ικανότητα του οδηγού να ανταποκρίνεται σε καταστάσεις, γεγονότα και πληροφορίες με προβλέψιμο και επιτυχημένο τρόπο.

Αρκετές σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες έχουν επιχειρήσει να προσεγγίσουν και να συνεισφέρουν στο τομέα της οδοποιίας αναφορικά με το ρόλο της οριζοντιογραφικής συνέχειας στις προσδοκίες των οδηγών.

Οι πληροφορίες που έχουν αντληθεί από τις έρευνες αυτές συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- ✓ Οι έλεγχοι συνέχειας μπορεί να βασίζονται σε υποκειμενική κρίση, σε μεγέθη προερχόμενα από την εμπειρία, ή σε συνδυασμό αυτών των δύο
- ✓ Τα διάφορα μέτρα ελέγχου της ταχύτητας έχουν κατασκευαστεί στην πλειοψηφία τους από κριτήρια που βασίζονται στην εμπειρία. Η επιδίωξη γενικά είναι να επιτευχθεί ένας ή περισσότεροι από τους παρακάτω στόχους: Να επιτευχθεί μια ομοιόμορφη ταχύτητα των οχημάτων κατά μήκος του δρόμου, να μειωθεί η έντονη μεταβλητότητα της ταχύτητας, ή να παρέχει τα μέσα στους οδοποιούς για μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία που θα μπορούν να επιτύχουν πανομοιότυπες λειτουργικές ταχύτητες με αυτές που προβλέπονται από τη μελέτη.
- ✓ Διάφορα μέτρα του βαθμού της προσπάθειας που απαιτείται για αποτελεσματική οδήγηση αποσκοπούν στη συνεπή οδήγηση αναφορικά με την προσπάθεια που απαιτείται από την πλευρά του οδηγού. Υπερβολικά ή ασυνήθιστα χαρακτηριστικά, ή ακόμα και συνδυασμός χαρακτηριστικών εξετάζονται ως προς την επίδραση που έχουν στην προσπάθεια που απαιτείται από έναν οδηγό προκειμένου να κινηθεί ασφαλώς σε αυτά. Στις υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας τα ατυχήματα καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες κατηγορίες οδών. Αυτά συχνά οφείλονται σε λάθη των οδηγών ή στον ανεπαρκή σχεδιασμό της οδού.

Δυστυχώς όμως, ο ορισμός της ανεπάρκειας του σχεδιασμού δεν είναι ξεκάθαρος, καθώς ένα ευρύ φάσμα από συνδυασμούς παραγόντων μπορεί να καταστεί επιζήμιο στη διαδικασία του σχεδιασμού ενός δρόμου. Η ανάπτυξη συνεπών πρακτικών σχεδιασμού αποτελεί στόχο ήδη από το 1930. Ο Barnett ανέπτυξε την έννοια της ταχύτητας μελέτης προκειμένου να εξασφαλίσει τη

συνέπεια στο σχεδιασμό (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Chapter I, p. 2). Η έννοια της ταχύτητας αυτής έχει υποβληθεί σε πολλές αλλαγές και επεξεργασίες αλλά η θεωρία γύρω από αυτήν έχει παραμείνει η ίδια, ότι δηλαδή τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας θα πρέπει να ανταποκρίνονται σε ορισμένα κριτήρια για μια δεδομένη ταχύτητα σχεδιασμού. Παρότι στη θεωρία τα πράγματα είναι ξεκάθαρα, στην πράξη προκύπτουν διάφορα προβλήματα καθότι στη μελέτη απαιτείται κάθε στοιχείο να εξετάζεται μεμονωμένα. Έτσι λοιπόν, ανακύπτουν προβλήματα όταν οι σχεδιαστές δεν λαμβάνουν υπόψη ότι ένας δρόμος αποτελείται από τρία μέρη, τον οδηγό, τη γεωμετρία και το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, αν ένα από αυτά αποδειχθεί προβληματικό, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να προκύψουν ατυχήματα. Οι σχεδιαστές φυσικά δεν μπορούν να ελέγξουν τα δύο από αυτά τα στοιχεία, αλλά μπορούν να προβλέψουν για αυτά εξετάζοντας τη γεωμετρία.

Έτσι λοιπόν, η συνέχεια στα στοιχεία της οριζοντιογραφίας δίνει τη δυνατότητα στους οδηγούς να κινούνται ασφαλώς στην επιθυμητή ταχύτητα κατά μήκος όλης της αλληλουχίας των γεωμετρικών στοιχείων ενός δρόμου. Στις οδηγίες που αναφέρθηκαν, τέθηκαν άμεσα ή έμμεσα τρία ζητήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια και τα οποία σε γενικές γραμμές συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- I. Ποια σχέση επικρατεί μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ταχύτητας μελέτης σε ένα οδικό τμήμα στο οποίο βασίστηκε η αρχική μελέτη του δρόμου; Θα μπορούσε αυτή η σχέση να ληφθεί υπόψη κατά το στάδιο της σχεδίασης του δρόμου ούτως ώστε οι αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες να μη κυμαίνονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια της ταχύτητας μελέτης για λόγους ασφαλείας;
- II. Σε ποια ταχύτητα λαμβάνεται υπόψη η δυναμική της κίνησης των οχημάτων για τη σχεδίαση της οριζόντιας και της κατά μήκος χάραξης ούτως ώστε να επιτευχθούν τα συγκεκριμένα επίπεδα ασφαλείας;
- III. Ποιες περιοριστικές τιμές ή μεταβολές στις ταχύτητες θα πρέπει να καθιερωθούν μεταξύ δύο συνεχόμενων σχεδιαστικών στοιχείων ή οδικών τμημάτων ώστε να επιτευχθεί ένας συνεχής σχεδιασμός που θα παρέχει ασφαλή αρμονική λειτουργία;

Αναφορικά με το 1^ο ζήτημα, όλες οι προαναφερθείσες οδηγίες αναφέρουν μια σχέση μεταξύ των δύο ταχυτήτων η οποία εκφράζεται στα πλαίσια της 85th ποσοστιαίας λειτουργικής ταχύτητας, της μέσης ταχύτητας οδήγησης, της ταχύτητας σχεδιασμού ή ταχυτήτων που σχετίζονται με τη χάραξη και τους περιορισμούς της τοπογραφίας. Παρόλα αυτά, μόνο η μέθοδος του Leisch, οι Γερμανικές οδηγίες και τα Ελβετικά πρότυπα προτείνουν ότι σε ένα δεδομένο τμήμα ή καμπύλη, η μεταβολή μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας

και της ταχύτητας μελέτης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει κάποια συγκεκριμένα όρια. Κατά συνέπεια, ο οδηγός είναι ικανός ως αποτέλεσμα της σχεδίασης του δρόμου να επιλέξει την επιθυμητή ταχύτητα βάσει της γνώσης και της εμπειρίας του. Τα στοιχεία σχεδιασμού κατά συνέπεια θα πρέπει να γίνονται αντιληπτά και να είναι παρατηρήσιμα.

Αναφορικά με το δεύτερο ζήτημα, οι περισσότερες οδηγίες παρέχουν πληροφορίες για τα ποσοστά επίκλισης για όλα τα εύρη καμπυλότητας και για κάθε ταχύτητα μελέτης, καθώς και για τα απαραίτητα μήκη ορατότητας για στάση. Καθώς οι λειτουργικές ταχύτητες είναι συνήθως μεγαλύτερες από την ταχύτητα μελέτης, ενσωματώνεται και ένας επιπλέον παράγοντας ασφαλείας λόγω της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων. Θα πρέπει να είναι επαρκή τόσο τα ποσοστά της επίκλισης όσο και τα μήκη ορατότητας για στάση.

Αναφορικά με το τρίτο ζήτημα, μόνο οι τρεις προαναφερθείσες οδηγίες σχετικά με την ασφάλεια παρέχουν συγκεκριμένη καθοδήγηση για την αξιολόγηση της συνέχειας της χάραξης και της επακόλουθης επίδρασης στη λειτουργική ταχύτητα. Και οι τρεις μέθοδοι περιορίζουν τη μεταβολή της λειτουργικής ταχύτητας μεταξύ διαδοχικών στοιχείων και οδικών τμημάτων σε συγκεκριμένα επίπεδα για την αποφυγή ασυνεχειών στην οριζοντιογραφική χάραξη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, προκειμένου να υπάρχουν σημαντικά οφέλη σχετικά με την ασφάλεια, θα πρέπει η λειτουργική ταχύτητα να είναι εναρμονισμένη με την ταχύτητα μελέτης, να εξασφαλίζεται η δυναμική κίνησης των οχημάτων αλλά και η συνέχεια στη χάραξη.

2.6 Η σχέση μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της ασφάλειας

Όπως προαναφέρθηκε στο εδάφιο 2.2, οι δείκτες ατυχημάτων δεν επηρεάζονται μόνο από μία παράμετρο. Η χρήση διαφόρων σχετικών παραμέτρων και η ένταξή τους σε ένα μοντέλο θα μπορούσε να εξηγήσει τις εναλλαγές στην κατάσταση των ατυχημάτων και κατά συνέπεια την επίδραση των μεταβλητών στην πρόκληση ατυχήματος.

Ένας μεγάλος αριθμός ερευνών έχει εκτιμήσει την επιρροή συγκεκριμένων παραμέτρων όσο αφορά στα ατυχήματα. Μια από τις πιο εκτενείς έρευνες αναφορικά με τα στοιχεία σχεδιασμού είναι αυτή των Krebs και Kloeckner που διεξήχθη τη δεκαετία του 1970. Η έρευνα βασίζεται σε 14200 ατυχήματα τα οποία έλαβαν χώρα σε 722 μίλια γερμανικών δρόμων μέσα σε μια περίοδο τεσσάρων ετών. Στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης που ανέπτυξαν, οι πέντε επεξηγηματικές μεταβλητές που επέλεξαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν το πλάτος οδοστρώματος, η ακτίνα της καμπύλης, η κατά μήκος κλίση, το μήκος ορατότητας και η ΕΜΗΚ. Παρόλα αυτά, μόνο οι τρεις πρώτες μεταβλητές είχαν επίπτωση στη μεταβολή του ρυθμού των ατυχημάτων. Ο Lamm, 1982 (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 68), βασιζόμενος στην έρευνα αυτή πρότεινε ως μέγιστο επιτρεπόμενο ρυθμό ατυχημάτων τα 2 ατυχήματα στα 10⁶ οχηματοχιλιόμετρα (vehicle km) για τις νέες χαράξεις υπεραστικών δρόμων δύο λωρίδων κυκλοφορίας της Γερμανίας.

Παρακάτω, παρατίθενται τα συμπεράσματα από διάφορες έρευνες για ορισμένα σημαντικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και περιγράφεται ο ρόλος τους στην συνέχεια και την ασφάλεια κατά το σχεδιασμό ενός δρόμου.

2.6.1 Μήκος ορατότητας

Αποτελεί το μήκος του δρόμου που είναι ορατό στον οδηγό και επιτρέπει στους χρήστες του δρόμου να προσαρμόζουν ασφαλώς το όχημά τους στις ανάγκες του δρόμου ώστε να αποφύγουν πιθανά εμπόδια. Από τις έρευνες που έχουν προαναφερθεί, έχει βρεθεί μια καθαρά αρνητική σχέση μεταξύ του διατιθέμενου μήκους ορατότητας και του κινδύνου ατυχήματος. Παρόλα αυτά, μπορεί να υποθεθεί ότι άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν όπως τα πλατύτερα οδοστρώματα, οι πιο ομαλές καμπύλες κ.ά έχουν μερίδιο στην παρατηρούμενη θετική επίδραση των μεγαλύτερων μηκών ορατότητας. Ειδικά για τα στενά οδικά τμήματα, μια αύξηση στα μήκη ορατότητας μπορεί να έχει ωφέλιμα αποτελέσματα στην οδική ασφάλεια.

2.6.2 Οριζοντιογραφικές Καμπύλες

Στην προσπάθεια ανάπτυξης πρακτικών για τη συνέχεια στο σχεδιασμό προκύπτουν αρκετές προκλήσεις ιδίως όταν πρόκειται για τον ορισμό ασυνεχών καμπυλών. Από τη σκοπιά ενός μεμονωμένου δρόμου, αν αυτός είναι εξολοκλήρου σε ορεινή περιοχή, οι οδηγοί θα πρέπει να περιμένουν μικρής ακτίνας καμπύλες και κατ' αντιστοιχία με την τοπογραφία θα πρέπει και οι ταχύτητες να είναι μικρότερες. Στο σενάριο αυτό, μια καμπύλη της οριζοντιογραφίας με μεγάλη ακτίνα μπορεί να θεωρηθεί ασυνεχής επειδή η ταχύτητα σχεδιασμού είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες των άλλων καμπυλών. Μια τέτοια καμπύλη κατά συνέπεια θα μπορούσε να δώσει στους οδηγούς μια λανθασμένη αντίληψη σχετικά με την ασφάλειά τους καθώς προσεγγίζουν την επόμενη καμπύλη. Σε αυτή τη βάση λοιπόν, ένας δρόμος όπου οι καμπύλες έχουν περίπου την ίδια ακτίνα, θα αναμένεται να έχει μικρότερο δείκτη ατυχημάτων ανά μέτρο από ένα δρόμο με μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές των ακτινών των καμπυλών.

Ιστορικά, το κυριότερο γεωμετρικό στοιχείο σχεδιασμού που επηρεάζει τη συμπεριφορά των οδηγών και αποτελεί τον πιο πιθανό παράγοντα για πρόκληση ατυχημάτων είναι οι καμπύλες της οριζοντιογραφίας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al.,2003, Appendix p. 3). Προηγούμενες έρευνες σε υπεραστικούς δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας σχετικά με τη λειτουργία τους και την ασφάλειά τους καταλήγουν στο γεγονός ότι στις καμπύλες όπου η ταχύτητα σχεδιασμού είναι μικρότερη από την επιθυμητή ταχύτητα των οδηγών παρουσιάζονται ασυνέχειες στις λειτουργικές ταχύτητες και κατά συνέπεια αυξάνεται η πιθανότητα

πρόκλησης ατυχήματος (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 3). Διάφοροι παράγοντες συνδράμουν στην αύξηση της συχνότητας των ατυχημάτων στις καμπύλες:

- i. περιορισμένο μήκος ορατότητας
- ii. έλλειψη προσοχής των οδηγών
- iii. λάθη εκτίμησης της ταχύτητας

Είναι τυπικά παραδείγματα του πως μπορεί οι οδηγοί να κάνουν λάθη στο χειρισμό του οχήματος και να μη λειτουργήσουν κατάλληλα στις αλλαγές της οριζοντιογραφίας και των στοιχείων της χάραξης. Οι καμπύλες παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα ασυνέχειας λόγω της πληθώρας των διαδικασιών που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό τους και της πολυπλοκότητας του χειρισμού και καθοδήγησης των οδηγών κατά μήκος αυτών.

Οι δείκτες ατυχημάτων είναι περίπου 1,5 με 4 φορές υψηλότερες στις καμπύλες από ότι είναι στις ευθυγραμμίες (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p. 3). Τα συνήθη μοντέλα σχεδιασμού οδών χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την επιτρεπόμενη ακτίνα για δεδομένες συνθήκες, αλλά διάφορες έρευνες έχουν δείξει ότι οι ταχύτητες στις καμπύλες μπορούν να υπερβαίνουν την ταχύτητα μελέτης, αν αυτή είναι μικρότερη από 90 km/h σε δρόμους δύο λωρίδων κυκλοφορίας (στο Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay et al., 2003, Appendix p.3). Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι η έννοια της ταχύτητας μελέτης, στην παρούσα μορφή της, δεν εξηγεί πλήρως την αντίληψη των οδηγών για τις καμπύλες μικρής ακτίνας. Γενικότερα, οι καμπύλες μικρής ακτίνας παραβιάζουν τις *a priori* προσδοκίες των οδηγών. Επιπροσθέτως, αν μια μικρής ακτίνας καμπύλη είναι τοποθετημένη μεταξύ μεγαλύτερων και πιο ανεκτικών από άποψη λάθος χειρισμού καμπυλών, θα παραβιάσει την *ad hoc* προσδοκία του οδηγού.

Όσον αφορά στη δυναμική της κίνησης των οχημάτων στις καμπύλες, η πλευρική τριβή καθορίζει την ασφάλεια και τη άνεση του οδηγού. Αν τα όρια αυτής υπερβούν τα επιθυμητά, η προσπάθεια διατήρησης της πορείας και αποφυγής παραβίασης της αντίθετης λωρίδας θα αυξηθεί, έχοντας ως αποτέλεσμα μια άβολη οδήγηση και πιθανή μείωση της ταχύτητας. Η επίκλιση είναι ένα γεωμετρικό χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται για να περιορίσει την απαίτηση για πλευρική τριβή αντισταθμίζοντας ένα μέρος της κεντρομόλου επιτάχυνσης που αντιμετωπίζουν οι οδηγοί. Σύμφωνα με τις διαδικασίες σχεδιασμού του AASHTO, η κεντρομόλος επιτάχυνση είναι το άθροισμα της πλευρικής τριβής και της επίκλιση.

2.6.3 Κατά μήκος χάραξη

Ο σχεδιασμός της κατά μήκος χάραξης είναι ένα παράγωγο της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κριτηρίων που διέπουν τα μήκη ορατότητας, της τοπογραφίας του δρόμου και της ανάγκης του μελετητή να επιτύχει δευτερεύοντες στόχους όπως η εξισορρόπηση του όγκου των επιχωμάτων και των ορυγμάτων στα διάφορα σημεία της χάραξης.

Η ιδανική σχεδίαση της κατά μήκος χάραξης θα πρέπει να παρέχει επαρκές μήκος ορατότητας για στάση όταν ο οδηγός εντοπίσει κάποιο αντικείμενο στην λωρίδα κυκλοφορίας. Η ύπαρξη όμως τέτοιων καμπυλών με περιορισμένο μήκος ορατότητας, δεν παραβιάζει γενικά τις προσδοκίες των οδηγών. Όταν αυτά τα χαρακτηριστικά συνδυάζονται από μια απότομη καμπύλη της οριζοντιογραφίας ή από μία διασταύρωση που μπορεί να απαιτούν μείωση της ταχύτητας, η προσδοκία του οδηγού παραβιάζεται και ο συνδυασμός των στοιχείων αυτών μπορεί να θεωρηθεί ασυνεχή.

2.6.4 Συνδυασμός της οριζόντιας και της κατά μήκος χάραξης

Η οριζόντια και η κατά μήκος χάραξη θα πρέπει να αλληλοσυμπληρώνονται και να λαμβάνονται συνδυαστικά υπόψη κατά το σχεδιασμό και όχι μεμονωμένα. Η τοπογραφία της περιοχής είναι συνήθως ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη συνεργασία της οριζοντιογραφικής και της κατά μήκος χάραξης. Τα μήκη ορατότητας που υπολογίζονται από τις καμπύλες της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής είναι και τα επιθυμητά όταν συμβάλλουν στην ύπαρξη ενός ασφαλούς δρόμου και στη μείωση της καταπόνησης του οδηγού. Έτσι, ο συνδυασμός των στοιχείων σχεδιασμού θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ελάχιστες απαιτήσεις είτε των οριζοντιογραφικών είτε των κατά μήκος στοιχείων σχεδιασμού, εξαρτώμενος από αυτό που επηρεάζει περισσότερο το μήκος ορατότητας.

Η συνεργασία και αλληλεπίδραση της οριζοντιογραφικής και της κατά μήκος χάραξης δεν έχει μελετηθεί σε βάθος όσο οι άλλοι παράγοντες του γεωμετρικού σχεδιασμού λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας. Γενικά, τα δύο αυτά είδη των χαράξεων σχεδιάζονται μεμονωμένα προκειμένου να ανταποκρίνονται σε κάποια κριτήρια και κατόπιν ο σχεδιασμός βασίζεται στο ότι η σχεδιαστική συνέχεια θα διατηρείται. Το θέμα αυτό όμως στις σχεδιαστικές οδηγίες θίγεται περισσότερο από την άποψη της αποφυγής ορισμένων λανθασμένων συνδυασμών οριζόντιας και κατά μήκος χάραξης (π.χ κλειστή οριζοντιογραφική καμπύλη να επίκειται κυρτής καμπύλης ως προς τη μηκοτομή) και στη διατήρηση ορισμένων οδηγιών ως προς το αισθητικό κομμάτι, αλλά δεν υπάρχουν σχεδιαστικές οδηγίες ώστε να ποσοτικοποιηθεί η συνέχεια σε αποδεκτά επίπεδα.

3 ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Η διαδικασία συλλογής στοιχείων για τη διεξαγωγή αυτής της έρευνας χωρίστηκε σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο επιλέχθηκαν τα οδικά τμήματα τα οποία κρίθηκαν κατάλληλα για τη μελέτη. Κατά το δεύτερο στάδιο συλλέχθηκαν τα πιο αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά πεδίου για τα οδικά τμήματα. Τέλος, στο τρίτο στάδιο μετρήθηκαν οι λειτουργικές ταχύτητες του κάθε οδικού τμήματος.

3.2 Επιλογή οδικών τμημάτων και περιοχή μελέτης

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα αυτή, συλλέχθηκαν από δρόμους του λεκανοπεδίου Αττικής της Αχαΐας. Επιλέχθηκε ένας επαρκής αριθμός δρόμων όπου το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας ήταν 3.25, 3.50 και 3.75m. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν καμπύλες και ευθυγραμμίες.

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν τα οδικά τμήματα όπου έγιναν οι μετρήσεις, είναι τα παρακάτω:

- ✓ Είναι οδικά τμήματα υπεραστικών οδών ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας με διασπορά ως προς την γεωγραφική τους κατανομή.
- ✓ Βρίσκονται εκτός κατοικημένων περιοχών.
- ✓ Οι υπεραστικές οδοί που περιέχουν τα επιλεγμένα οδικά τμήματα εκτείνονται σε μεγάλο μήκος, επομένως δεν υπάρχει επιρροή κόμβων και διασταυρώσεων.
- ✓ Η κατά μήκος κλίση δεν υπερβαίνει το 6% και το έρεισμα (όπου υπάρχει) είναι διαγραμμισμένο και το πλάτος του παραμένει σταθερό.

Κατά κανόνα το επιτρεπτό όριο ταχύτητας ήταν 50-70Km/h. Η ποιότητα των οδοστρωμάτων δεν είχε κρίσιμες ανωμαλίες που θα συνέβαλαν στη μείωση της λειτουργικής ταχύτητας των οδηγών. Τέλος αποφεύχθηκαν οι μετρήσεις σε περιοχές με πυκνή σήμανση και προειδοποιητικές πινακίδες, παρά μόνο στα καμπύλα τμήματα με πολύ μικρή ακτίνα.

Οι μετρήσεις για την ανάπτυξη του μοντέλου εκτίμησης λειτουργικών ταχυτήτων περιλαμβάνουν μόνο τα επιβατηγά οχήματα και πραγματοποιήθηκαν τη νύκτα. Αυτό διότι η συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό των οχημάτων που κινείται στις επαρχιακές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Επίσης, αναμενόμενο είναι να κινούνται με υψηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τα βαρέα οχήματα. Για αυτό το λόγο η πλειοψηφία των μελετών σχετικά με την ανάπτυξη μοντέλων της λειτουργικής ταχύτητας επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους σε αυτή τη κατηγορία οχημάτων. Τα επιβατηγά οχήματα αποτελούν προσεγγιστικά το 85% του συνολικού φόρτου στις υπεραστικές οδούς (Hashim I.H.), επιβεβαιώνοντας την αναγκαιότητα ανάπτυξης σχετικού μοντέλου της λειτουργικής ταχύτητας για αυτούς τους τύπους οχημάτων.

3.3 Συλλογή στοιχείων στο πεδίο των μετρήσεων

Σε κάθε θέση που επιλέχθηκε για μετρήσεις, καταγράφηκε ο εκάστοτε δρόμος, η κατεύθυνση κυκλοφορίας μιας και μετρήθηκαν ξεχωριστά η εξωτερική και η εσωτερική λωρίδα κυκλοφορίας. Για την ακριβέστερη και ευκολότερη αναγνώριση της κάθε θέσης πάρθηκαν φωτογραφίες. Τέλος σημειώθηκε η κατακόρυφη σήμανση όπου υπήρχε. Στα μετρούμενα ευθύγραμμα τμήματα σημειώθηκε και η υφιστάμενη διαγράμμιση, ώστε να ελεγχθεί η επάρκεια του διαθέσιμου μήκους ορατότητας για προσπέραση, όπου επιτρεπόταν.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά στοιχεία του δρόμου τα οποία μετρήθηκαν είναι τα εξής:

- Η κατά μήκος κλίση
- Η οριζοντιογραφική ακτίνα της καμπύλης
- Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας
- Η επίκλιση του οδοστρώματος
- Τα πλάτη των ερεισμάτων όπου υπήρχαν

Τα πλάτη των λωρίδων και των ερεισμάτων καταγράφηκαν και για τις δύο κατευθύνσεις. Τα μετρούμενα πλάτη έπρεπε να είναι αντιπροσωπευτικά για το υπό εξέταση τμήμα. Για να διασφαλιστεί αυτό έγιναν δύο ή και τρεις μετρήσεις του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας στο εξεταζόμενο τμήμα. Εάν υπήρχε μεγάλη μεταβολή του πλάτους του οδοστρώματος είτε του πλάτους του ερεισματος, επιλέγαμε τα τμήματα τα οποία είχαν συνέχεια και αρμονία μεταξύ τους, ή απορρίπταμε εξ ολοκλήρου την περιοχή μελέτης. Η κατά μήκος κλίση και οι επικλίσεις μετρήθηκαν με τη χρήση του ψηφιακού κλισίμετρου. Βέβαια η

γεωμετρία της διατομής της οδού δεν είναι σταθερή είτε λόγω σημειακής φθοράς του οδοστρώματος είτε λόγω κακοτεχνίας. Για αυτό το λόγο οι εξαγόμενες τιμές για την επίκλιση του οδοστρώματος είναι ο μέσος όρος των μετρούμενων τιμών στις οριογραμμές και στο κέντρο του οδοστρώματος.

3.4 Δεδομένα ταχυτήτων

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη ταχύτητα του οδηγού καθώς κινείται στο δρόμο. Οι πιο προφανείς και πιο σημαντικοί είναι οι δυνατότητες του οδηγού αλλά και του οχήματος του, η γεωμετρία της οδού, οι κυκλοφοριακές συνθήκες, οι καιρικές συνθήκες, οι οποίες ενίοτε επηρεάζουν δραστικά την ορατότητα αλλά και την πρόσφυση (π.χ. συνθήκες έντονης βροχόπτωσης) καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλει ο Κ.Ο.Κ. Στην παρούσα μελέτη θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και τη περιορισμένη ορατότητα λόγω κίνησης στην οδό κατά τις νυκτερινές ώρες μιας και οι περισσότερες από τις μετρούμενες θέσεις δεν έχουν οδοφωτισμό και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως «σκοτεινά» κομμάτια.

Για να διασφαλίσουμε ότι οι μετρούμενες ταχύτητες είναι αντιπροσωπευτικές του δείγματος φροντίσαμε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων να μετρούμε οχήματα τα οποία είχαν μια χρονική διαφορά της τάξης των 5 δευτερολέπτων τουλάχιστον με τα προπορευόμενα οχήματα. Έχουν δηλαδή διασφαλιστεί οι συνθήκες ελεύθερης ροής των οχημάτων.

Ο καθορισμός της χρονικής διαφοράς μεταξύ διαδοχικών οχημάτων που αντιστοιχεί σε συνθήκες ελεύθερης ροής, αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας στις μελέτες σχεδιασμού οδικών τμημάτων, ειδικότερα στον καθορισμό της λειτουργικής ταχύτητας. Αυτό γιατί σε συνθήκες ελεύθερης ροής μόνο η γεωμετρία του δρόμου επηρεάζει τις ταχύτητες των οδηγών (Hashim I.H.). Η χρονική διαφορά που αντιστοιχεί σε συνθήκες ελεύθερης ροής έχει υπολογιστεί από προηγούμενες μελέτες ότι κυμαίνεται μεταξύ 4 και 9 δευτερολέπτων. Ωστόσο η πλειοψηφία των μελετών πρότεινε ότι οι συνθήκες ελεύθερης ροής ορίζονται από χρονική διαφορά 5 δευτερολέπτων.

Όλες οι μετρήσεις ταχυτήτων πραγματοποιήθηκαν μετά τη δύση του ήλιου. Δυσμενείς καιρικές συνθήκες αποφεύχθηκαν λόγω της ήδη μειωμένης ορατότητας.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση ραντάρ χειρός. Η καταγεγραμμένη ταχύτητα αναφέρεται στη κορυφή της καμπύλης και στο μέσον των ευθυγραμμίων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήσαμε πως η χαμηλότερη τιμή της ταχύτητας του εκάστοτε οχήματος, ήταν αυτή στην κορυφή της καμπύλης συγκριτικά με τις τιμές που εμφανίζονται στην αρχή και στην έξοδο της καμπύλης, ανεξάρτητα από το αν η ανάλυση αφορά τη μία κατεύθυνση ξεχωριστά ή και τις δύο μαζί.

Το ραντάρ με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, ήταν πάντοτε τοποθετημένο συνευθειακά με το διάνυσμα της κίνησης των οχημάτων, προκειμένου να αποφευχθεί το σφάλμα του συνημίτονου. Το σφάλμα μέτρησης με το ραδιοεντοπιστή είναι συνάρτηση της διεύθυνσης εκπομπής σήματος ως προς τον άξονα της οδού (Ψαριανός Β. 2001). Προκύπτει λοιπόν, ότι το ελάχιστο σφάλμα (0,02%) επιτυγχάνεται όταν η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ραδιοσήματος και του άξονα της οδού είναι από 0 έως 5 μοίρες. Το σφάλμα είναι μικρό ακόμα και για γωνία 15 μοιρών (3,42%). Για μεγαλύτερες γωνίες όμως το σφάλμα γίνεται υπολογίσιμο και η μετρούμενη ταχύτητα διαφέρει κατά πολύ από την πραγματική. Μετρήθηκαν επαρκή οχήματα, 80 επιβατηγά και στις δύο κατευθύνσεις για κάθε στοιχείο του δρόμου. Συνολικά μετρήθηκαν δηλαδή περίπου 2.000 περίπου οχήματα. Η διαδικασία εκτίμησης του ελάχιστου δείγματος περιγράφεται στο 3.4.1.

Μετά τη συλλογή των δεδομένων, αυτά συγκεντρώθηκαν σε ένα πίνακα κατανομής συχνοτήτων βάσει του οποίου υπολογίστηκε η 85^η ποσοστιαία λειτουργική ταχύτητα για κάθε καμπύλη και κάθε ευθυγραμμία ξεχωριστά, υπολογίζοντας για τα δύο ρεύματα χωριστά αλλά και την 85^η ταχύτητα του οδικού τμήματος γενικά. Η διαδικασία εκτίμησης της V₈₅ περιγράφεται στο εδάφιο 3.4.4. Τα δεδομένα των ταχυτήτων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα του Παραρτήματος.

3.4.1 Απαιτούμενο δείγμα

Στις μετρήσεις ταχυτήτων το μέγεθος του δείγματος εξαρτάται από το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα και το επίπεδο εμπιστοσύνης για το οποίο το σφάλμα εκτίμησης δεν θα υπερβεί το μέγιστο επιτρεπόμενο.

Για τη συγκεκριμένη μελέτη, προκείμενου να καθορίσουμε τον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό των παρατηρήσεων που χρειάζεται, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο που ανέπτυξαν οι Oppenlader, Bunte και Kadakia.

$$N = K^2\sigma^2(2+U^2)/2E^2$$

Όπου: *N*: το ελάχιστο απαιτούμενο δείγμα

K: κανονική απόκλιση που αναφέρεται στο επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης

σ: η τυπική απόκλιση του δείγματος

U: κανονική απόκλιση που αναφέρεται στην αθροιστική συχνότητα (85%) που επιθυμούμε να υπολογίσουμε

E: το επιτρεπτό σφάλμα της εκτίμησής μας

Από εκτενείς έρευνες (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, σελ 92) που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορους δρόμους και κάτω από διαφορετικές συνθήκες, καθορίστηκαν οι τιμές των *K* και *U* για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης οι οποίες και λήφθηκαν από πίνακα (στο Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger 1987 Part I, Πίνακας 7 σελ. 92), ενώ τα 5mph ως τυπική απόκλιση θεωρείται μια καλή εκτίμηση για την επίτευξη ικανοποιητικής ακρίβειας της έρευνας. Συνεπώς, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, το ελάχιστο επιτρεπτό δείγμα που απαιτείται να μετρηθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας που αντιστοιχεί στο 85% του δείγματος είναι περίπου 37 οχήματα. (*K*=1.96, *U*=1.04, *E*=2mph και *σ*=5mph).

3.4.2 Ανάλυση των μετρήσεων πεδίου ταχύτητας

Τα δεδομένα των μετρήσεων της κάθε μεμονωμένης καμπύλης, θα πρέπει να εξεταστούν ως προς την κατανομή τους, το εύρος και τη διασπορά των ταχυτήτων σε σχέση με τη μέση τιμή του δείγματος.

3.4.2.1 Μέση τιμή του δείγματος

Ο αριθμητικός μέσος των ταχυτήτων αποτελεί ένα μέτρο της κεντρικής τάσης της κατανομής ταχυτήτων και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\bar{u} = \frac{\sum (f_n u_n)}{N}$$

Όπου: u : η μέση τιμή

$\sum (f_n * u_n)$: το άθροισμα των ταχυτήτων όλων των οχημάτων

N : ο συνολικός αριθμός των παρατηρούμενων οχημάτων

3.4.2.2 Τυπική απόκλιση

Η τυπική απόκλιση του πληθυσμού από τον οποίο πάρθηκε το δείγμα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sigma = \sqrt{\frac{N \sum f_n (u_n)^2 - (\sum f_n u_n)^2}{N(N-1)}}$$

Όπου: σ : η τυπική απόκλιση

$\sum f_n (u_n)^2$: το άθροισμα των τετραγώνων των συχνοτήτων

Η τυπική απόκλιση δηλώνει τη διασπορά των παρατηρήσεων γύρω από τη μέση τιμή. Το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης λέγεται μεταβλητότητα.

3.4.2.3 Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής

Το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής αποτελεί ένα στατιστικό μέγεθος που δηλώνει το πιθανό εύρος της πραγματικής μέσης ταχύτητας όλων των οχημάτων που αντιστοιχούν στον ίδιο χώρο και χρόνο με αυτόν που πάρθηκε το δείγμα και ορίζεται ως:

$$\sigma_{\bar{u}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Όπου: $\sigma(\sqrt{N})$: το τυπικό σφάλμα μέσης τιμής του δείγματος

σ : η τυπική απόκλιση του δείγματος

N : ο αριθμός των παρατηρούμενων οχημάτων

Με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, η πραγματική μέση τιμή της ταχύτητας για όλα τα οχήματα του δείγματος είναι μέσα στην καθορισμένη περιοχή της αριθμητικής μέσης τιμής με διάστημα εύρους σχεδόν δύο φορές το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής.

3.4.3 Τεστ Kolmogorov-Smirnov

Η διαδικασία του τεστ Kolmogorov-Smirnov βασίζεται στον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης ότι ένα δείγμα ακολουθεί συγκεκριμένη κατανομή. Αυτό γίνεται βρίσκοντας τη μεγαλύτερη διαφορά σε απόλυτη τιμή μεταξύ δύο συναρτήσεων. Η μια υπολογίζεται από το δείγμα και είναι η εμπειρική ενώ η άλλη θεωρητικά.

Το τεστ των Kolmogorov-Smirnov (K-S) (Chakravart, Laha, and Roy, 1967 όπως αναφέρεται στο:

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>)

χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει την κατανομή ενός συγκεκριμένου δείγματος.

$$E_N = n(i)/N$$

όπου $n(i)$ είναι ο αριθμός των σημείων τα οποία είναι μικρότερα από Y_i και τα Y_i είναι διατεταγμένα κατά αύξουσα σειρά. Η συνάρτηση αυτή αυξάνεται δηλαδή κατά $1/N$ στην τιμή του κάθε διατεταγμένου σημείου.

Χαρακτηριστικά και περιορισμοί του K-S Test:

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι είναι ακριβές τεστ καθώς η κατανομή της παραμέτρου D είναι γνωστή ακόμα και για μικρό δείγμα. Παρόλα αυτά, το τεστ K-S έχει διάφορους σημαντικούς περιορισμούς:

1. Εφαρμόζεται μόνο σε συνεχείς κατανομές.
2. Είναι πιο ευαίσθητο στα κεντρικά σημεία της κατανομής παρά στα ακραία.
3. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι η κατανομή πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη.

Το Kolmogorov-Smirnov test ορίζεται από:

$H_0: 0$ Το δείγμα ακολουθεί τη συγκεκριμένη κατανομή

$H_a: H_b$ Το δείγμα δεν ακολουθεί τη συγκεκριμένη κατανομή

Στατιστικό τεστ: Το στατιστικό τεστ των Kolmogorov-Smirnov ορίζεται ως Το K-S τεστ βασίζεται στην εμπειρική συνάρτηση κατανομής (ECDF). Για N μετρούμενα σημεία Y_1, Y_2, \dots, Y_N , η συνάρτηση ECDF ορίζεται ως

$$D = \max_{1 \leq i \leq N} \left(F(Y_i) - \frac{i-1}{N}, \frac{i}{N} - F(Y_i) \right)$$

όπου F είναι η αθροιστική θεωρητική κατανομή της κατανομής που ελέγχεται η οποία θα πρέπει να είναι συνεχής κατανομή.

α .

Επίπεδο Εμπιστοσύνης :

Κρίσιμες Τιμές: Η υπόθεση που αφορά την κατανομή του δείγματος H_0 απορρίπτεται αν ο στατιστικός έλεγχος, D , είναι μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή που λαμβάνεται από δείγμα.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά του τεστ Kolmogorov-Smirnov

Τα αποτελέσματα του τεστ καταδεικνύουν ότι το δείγμα των μετρούμενων οχημάτων σε κάθε καμπύλη και ευθυγραμμία, ακολουθεί κανονική κατανομή σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η υπόθεση της κανονικής κατανομής επαληθεύεται είτε στην περίπτωση που το δείγμα των ταχυτήτων σε κάθε οδικό τμήμα εξετάστηκε συνολικά και στις δύο κατευθύνσεις, είτε στην περίπτωση που ελέγχθηκαν ξεχωριστά οι κατανομές των δύο κατευθύνσεων κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα του τεστ Kolmogorov-Smirnov για την εξωτερική και την εσωτερική λωρίδα του κάθε οδικού τμήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 23 του Παραρτήματος.

3.4.4 Υπολογισμός της V_{85}

Ο υπολογισμός της 85^{th} ποσοστιαίας ταχύτητας για κάθε δείγμα ταχυτήτων σε μια καμπύλη υπολογίζεται με τη βοήθεια του διαγράμματος της σχετικής αθροιστικής συχνότητας των μετρήσεων.

Με γραμμική παρεμβολή, υπολογίζεται η V_{85} από τον παρακάτω τύπο:

$$V_{85} = V_1 + \frac{V_2 + V_1}{P_2 - P_1} * (85 - P_1)$$

Όπου : V_1 : η πλησιέστερη ταχύτητα του δείγματος μικρότερη από τη V_{85}

V_2 : η πλησιέστερη ταχύτητα του δείγματος μεγαλύτερη από τη V_{85}

P_1 : η πλησιέστερη αθροιστική συχνότητα (%) μικρότερη του 85%

P_2 : η πλησιέστερη αθροιστική συχνότητα (%) μεγαλύτερη του 85%

Παρόλα αυτά, στα προγράμματα στατιστικής ο υπολογισμός των ποσοσטיαίων ταχυτήτων αποτελεί μια απλή και αυτοματοποιημένη διαδικασία. Στη συγκεκριμένη έρευνα, οι 85^{ες} ποσοστιάες ταχύτητες με τη χρήση του SPSS και τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

3.5 Πρακτική εκτίμηση των στοιχείων της Οριζοντιογραφίας

Το μοντέλο που προτείνεται λαμβάνει υπόψη και την επίδραση του γενικού χαρακτήρα της οριζοντιογραφικής χάραξης προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη των ταχυτήτων, καθιστώντας έτσι δυνατή τη χρήση του μοντέλου προφίλ ταχυτήτων σε δρόμους με πολύ διαφορετική χάραξη. Όπως προαναφέραμε, για να περιγραφεί ο γενικός χαρακτήρας της οριζόντιας χάραξης, περιγράφηκαν διαφορετικοί δείκτες χάραξης.

Παρόλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ελικτότητα η οποία χρησιμοποιείται στη γερμανική διαδικασία ελέγχου συνέχειας στο σχεδιασμό έχει διερευνηθεί σε βάθος και ότι τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων έδειξαν ότι υπάρχει μεγάλος συσχετισμός μεταξύ του δείκτη αυτού και της λειτουργικής ταχύτητας, επιλέχθηκε η ελικτότητα ως η μεταβλητή που αναπαριστά τα οδικά τμήματα με σχετικά ομοιόμορφη οριζόντια χάραξη. Για την ακρίβεια, η ελικτότητα χρησιμοποιείται στην επιλογή των ομοιογενών τμημάτων τα οποία είναι στην ουσία τα τμήματα κατά μήκος των οποίων η συμπεριφορά των οδηγών σχετικά με την ταχύτητα διατηρείται σταθερή.

Όπως έχει αναφερθεί, η χρήση της μεθόδου αυτής και η υιοθέτηση της παραμέτρου της ελικτότητας ευνοείται στην Ελλάδα αφού οι δρόμοι είναι σχεδιασμένοι με λίγες ευθυγραμμίες και πολλές καμπύλες και κατά συνέπεια είναι εύκολος ο προσδιορισμός των σημείων με παρόμοια χάραξη. Στην έρευνα τους, οι Choueiri Elias M. and Lamm Ruediger, Part I, σελ.154, 1987 ανέφεραν ότι για μια καμπυλόγραμμη χάραξη, η μέθοδος της ελικτότητας μπορεί να είναι πιο πλεονεκτική στη χρήση της από τη μέθοδο του βαθμού της καμπυλότητας.

Η ελικτότητα K_e της μεμονωμένης καμπύλης είναι συνάρτηση της γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης και του συνολικού μήκους της καμπύλης, που αποτελείται από το μήκος του κυκλικού τόξου και τα μήκη των εκατέρωθεν τόξων συναρμογής. Η σχέση που συνδέει την ελικτότητα της μεμονωμένης καμπύλης K_e και της ανηγμένης ακτίνας R , που αντιστοιχεί στη δεδομένη καμπύλη είναι:

$$R = \frac{63700}{K_e}$$

Στην περίπτωση των ευθυγραμμίων, η ελικτότητα θα ληφθεί ίση με 0.

4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΝΥΚΤΕΡΙΝΗ ΟΔΗΓΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Η ύπαρξη συνέχειας στα στοιχεία της οριζοντιογραφίας κατά τη μελέτη χάραξης ενός δρόμου είναι ένα στοιχείο αξιολόγησης της ασφάλειας των οχημάτων όταν κινούνται σε αυτόν. Προκειμένου να αποτιμήσουμε λοιπόν τα μεγέθη τα οποία συνεισφέρουν στην ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των διαδοχικών τμημάτων ενός δρόμου, θα πρέπει να αναπτύξουμε μοντέλα πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας τόσο για καμπύλες όσο και για ευθυγραμμίες. Πρωταρχικός στόχος της μελέτης αυτής συνεπώς είναι η δημιουργία μοντέλου που να συνδέει τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανεξάρτητων ευθυγραμμιών και των καμπυλών σε υπεραστικές οδούς ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας κατά τη νυκτερινή οδήγηση. Αυτά τα μοντέλα θα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για αναλύσεις σε υφιστάμενους δρόμους και για τον εντοπισμό ασυνεχειών στα οδικά τμήματα.

Όπως προαναφέραμε, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που ενδεχομένως επηρεάζουν τις ταχύτητες των οχημάτων που κινούνται σε ένα δρόμο. Κάποιοι από αυτούς είναι η ακτίνα της καμπύλης, το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας, το πλάτος ερείσματος, εμπόδια, στενώσεις και παρακείμενες κατασκευές, η κατά μήκος κλίση, οι επικλίσεις, το διαθέσιμο μήκος ορατότητας, ο φόρτος κυκλοφορίας κ.ά.

Καθένας από τους παραπάνω παράγοντες επηρεάζει διαφορετικά σε κάθε περιοχή και επομένως η διαδικασία προσδιορισμού της επίδρασης του καθενός στις ταχύτητες και τα ατυχήματα γίνεται δυσκολότερη. Σύμφωνα με τις μελέτες των στοιχείων που έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στην οδική συμπεριφορά, για την εκτίμηση ενός μοντέλου πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας, επιλέχθηκαν το πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας, η ακτίνα της καμπύλης, η κατά μήκος κλίση, οι επικλίσεις και τα πλάτη ερεισμάτων.

Προκειμένου λοιπόν να έχουμε μια ποσοτική εκτίμηση του αν μια μεταβλητή ασκεί κάποια σημαντική επίδραση στην ταχύτητα των οχημάτων, χρησιμοποιήσαμε την ανάλυση παλινδρόμησης. Για τον καθορισμό αν μια συγκεκριμένη μεταβλητή ασκεί σημαντική επίδραση στις ταχύτητες των οχημάτων, και για την εκτίμηση της ποσοτικής εκτίμησης αυτής της επίδρασης, χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία της παλινδρόμησης κατά βήματα (stepwise

regression). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, σε κάθε βήμα της παλινδρόμησης εισάγεται μια καινούρια μεταβλητή κάθε φορά στην εξίσωση εκτίμησης της λειτουργικής ταχύτητας. Έτσι, με τη μέθοδο αυτή παράγονται μια σειρά από εξισώσεις όπου η κάθε μία έχει μια παραπάνω μεταβλητή από την προηγούμενη της. Αν κατά την εισαγωγή μιας μεταβλητής η σημαντικότητα του τεστ είναι μικρότερη από αυτή της προηγούμενης εξίσωσης, τότε η νέα μεταβλητή απορρίπτεται. Είναι σημαντικό οι ανεξάρτητες μεταβλητές να μην είναι συσχετισμένες μεταξύ τους. Αν υπάρχει μια γραμμική συσχέτιση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών τότε η εκτίμησή τους δεν είναι βάσιμη και μπορεί να υπάρχουν μεγάλα τυπικά σφάλματα στην εκτίμηση των μεταβλητών. Ο έλεγχος συγγραμμικότητας των μεταβλητών γίνεται ανά ζεύγη με τον πίνακα συσχέτισης με την εξέταση των πιθανών επεξηγηματικών μεταβλητών. Η επίλυση του προβλήματος αυτού γίνεται με την απαλοιφή μίας ή παραπάνω συγγραμμικών μεταβλητών.

Ο έλεγχος της παλινδρόμησης γίνεται με το F-test το οποίο καθορίζει αν το μέσο άθροισμα των τετραγώνων που εξηγείται από την παλινδρόμηση είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το άθροισμα των τετραγώνων που δεν εξηγείται από την παλινδρόμηση. Με άλλα λόγια, η εξίσωση που επιλέχθηκε θα πρέπει να εκτιμάει τις μεταβλητές με το μικρότερο τυπικό σφάλμα. Ο έλεγχος αυτός έγινε με τη χρήση του δείκτη t μεταξύ των λειτουργικών ταχυτήτων των δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Ακόμα, όπου δεν υπήρχαν πινακίδες ορίου ταχύτητας, επιλέχθηκε το όριο που ισχύει για αυτή την κατηγορία δρόμων σύμφωνα με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ) το οποίο είναι 90km/h.

4.2 Αναλύσεις Παλινδρόμησης: Υπόβαθρο

Ο αντικειμενικός στόχος της ανάλυσης παλινδρόμησης είναι η προσαρμογή μιας εξίσωσης στα δεδομένα η οποία περιγράφει καλύτερα τη συναρτησιακή σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και ενός πλήθους επεξηγηματικών μεταβλητών. Το κριτήριο καθορισμού της κατάλληλης εξίσωσης είναι η ελαχιστοποίηση των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ των πραγματικών παρατηρούμενων ποσοτήτων και των προβλεπόμενων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής.

Η ανάλυση των δεδομένων αποτελείται από πολλά βήματα. Αρχικά εισάγονται τα δεδομένα για τον προσδιορισμό λανθασμένων ή ασυνεχών παρατηρήσεων. Κατόπιν, καθορίζεται το πληρέστερο μοντέλο το οποίο εξηγεί καλύτερα τη συναρτησιακή σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των διάφορων επεξηγηματικών μεταβλητών που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης. Τέλος, ακολουθεί η εύρεση ενός απλούστερου, εύχρηστου, αλλά εξίσου κατάλληλου μοντέλου καθώς δεν θα πρέπει να επηρεάζεται η ικανότητα εκτίμησης το μοντέλου.

Κατά το πρώτο βήμα, μπορεί να προκύψουν διάφορα απομακρυσμένα σημεία είτε λόγω χονδροειδούς λάθους κατά τη μεταφορά των δεδομένων, είτε λόγω λανθασμένης επιλογής τοποθεσίας για τη λήψη των δεδομένων. Τα σημεία αυτά ανιχνεύονται από διάφορα διαγράμματα των υπολοίπων ενώ επίσης υπάρχουν και αυτοματοποιημένες μέθοδοι εντοπισμού των απομακρυσμένων σημείων.

Στο δεύτερο βήμα, ακολουθείται η υπόθεση ότι τα υπόλοιπα θα πρέπει να είναι κανονικά και ανεξάρτητα κατανεμημένα, με σταθερή μεταβλητότητα για κάθε σετ τιμών των επεξηγηματικών μεταβλητών. Επιπροσθέτως, οι επεξηγηματικές μεταβλητές δεν θα πρέπει να είναι συγγραμμικές μεταξύ τους. Ο καθορισμός των μεταβλητών που θα αφαιρεθούν γίνεται κυρίως με τα κριτήρια συγγραμμικότητας και τις τιμές του δείκτη t που προκύπτουν από την ανάλυση παλινδρόμησης.

Στο τρίτο βήμα, διενεργούνται διαδοχικές αναλύσεις για τον καθορισμό της καλύτερης εξίσωσης που θα προσαρμόζεται στα δεδομένα. Αφαιρούνται ορισμένες ασυνήθιστες περιοχές για να προσδιοριστεί η επίδρασή τους στις εναπομείναντες περιοχές. Η τελευταία φάση της ανάλυσης περιλαμβάνει την απλοποίηση της εξίσωσης που καθορίστηκε στο προηγούμενο βήμα ως η καλύτερη που προσαρμόζεται στα δεδομένα. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την αφαίρεση των μεταβλητών που είχαν ελάχιστη συνεισφορά στη διεξαγωγή της ανάλυσης παλινδρόμησης.

4.3 Προκαταρκτική ανάλυση

4.3.1 Έλεγχος συγγραμμικότητας μεταξύ των μεταβλητών

Ο καθορισμός των μεταβλητών που θα αφαιρεθούν γίνεται κυρίως με βάση τα κριτήρια συγγραμμικότητας και τις τιμές του δείκτη t που προκύπτουν από την ανάλυση παλινδρόμησης. Σύμφωνα με την έρευνα των Choueiri Elias M. and Lamm Ruediger, 1987, οι ανεξάρτητες μεταβλητές επιτρεπόμενη ταχύτητα και επίκλιση αφαιρέθηκαν από το τελικό μοντέλο καθώς είχαν μεγάλο βαθμό συσχέτισης με το βαθμό καμπυλότητας και η εισαγωγή συγγραμμικών μεταβλητών στο μοντέλο μπορεί να επιφέρει κακή εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής. Ακόμα, αφαιρέθηκαν το μήκος της καμπύλης, η κατά μήκος κλίση και το μήκος ορατότητας, καθώς οι δείκτες t είχαν τιμές μικρότερες από 1.96. Επίσης, η μεταβλητή η οποία είχε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την εξαρτημένη

μεταβλητή βρέθηκε ότι είναι ο βαθμός της καμπύλης και έπειτα το πλάτος λωρίδας.

Παρόλα αυτά, το πλάτος λωρίδας δεν επιλέγεται τελικά ανάμεσα στα προτεινόμενα μοντέλα ενώ με βάση τη βιβλιογραφική επισκόπηση των μοντέλων λειτουργικής ταχύτητας που αναφέρεται στο 2^ο κεφάλαιο, σε κανένα μοντέλο δεν έχει χρησιμοποιηθεί το πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Είναι αυτονόητο πως όσο πιο πολλές επεξηγηματικές μεταβλητές υπάρχουν σε ένα μοντέλο, τόσο περισσότερο αυξάνεται η ικανότητα εκτίμησης του, τα σημαντικότερα όμως κριτήρια επιλογής μιας μεταβλητής για την εισαγωγή της στο μοντέλο είναι το κατά πόσο είναι σημαντική στην εξήγηση της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής και η συμβολή της στην αύξηση της ακρίβειας του μοντέλου.

Ακόμα, όπως επισημάνθηκε στο εδάφιο 2.2.3, δεν παρατηρείται σημαντική επίδραση στην ταχύτητα και στην κατάσταση των ατυχημάτων για κατά μήκος κλίσεις μικρότερες από 6-7%. Επειδή τα δεδομένα των ταχυτήτων της παρούσας έρευνας έχουν ληφθεί σε τοποθεσίες όπου η κατά μήκος κλίση δεν υπερβαίνει το 5-6%, δεν κρίνεται σκόπιμη η εισαγωγή αυτής της μεταβλητής στο μοντέλο εκτίμησης της λειτουργικής ταχύτητας που θα αναπτυχθεί στα επόμενα εδάφια.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, παρότι το πλάτος των λωρίδων δεν χρησιμοποιείται στην εκτίμηση των λειτουργικών ταχυτήτων στα διάφορα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη διεθνή βιβλιογραφία, το γεγονός ότι παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με τη λειτουργική ταχύτητα το καθιστά μια μεταβλητή που θα πρέπει να εξεταστεί. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, στην ανάπτυξη των εξισώσεων πρόβλεψης, θα εξεταστεί πέρα από την ελικτότητα των μεμονωμένων καμπυλών και η επίδραση του πλάτους των λωρίδων κυκλοφορίας στη λειτουργική ταχύτητα που αναπτύσσεται στις καμπύλες των υπεραστικών δρόμων δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

Από τη σημαντικότητα των συντελεστών της συνάρτησης (t-value), παρατηρούμε πως το πλάτος του οδοστρώματος δεν συνεισφέρει πολύ στην εξήγηση της εξαρτημένης μεταβλητής.

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error				Beta	Zero-order	Partial	Partial	Tolerance
	(Constant)	89.000	12.896				6.902	.000		
CCR	-.022	.002	-.848	-12.338	.000	-.855	-.853	-.843	.988	1.012
b	-3.206	3.708	-.059	-.865	.391	-.152	-.114	-.059	.988	1.012

a. Dependent Variable: v85

Ο παραπάνω πίνακας περιέχει τις εκτιμήσεις του μοντέλου. Είναι ίδιος με την περίπτωση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Όλοι οι συντελεστές είναι στατιστικά σημαντικοί και η ερμηνεία που θα δώσουμε σε αυτούς τους συντελεστές είναι παρόμοια με την περίπτωση μιας ανεξάρτητης μεταβλητής. Η σταθερά (89.000) είναι η τιμή στην οποία η ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων τέμνει τον κατακόρυφο άξονα συντεταγμένων. Ο συντελεστής της ελικτότητας (-0.022) δείχνει τη μείωση στην αναμενόμενη μέση τιμή της λειτουργικής ταχύτητας αν αυξήσουμε την ελικτότητα κατά μία μονάδα, δεδομένου ότι κρατάμε το πλάτος του οδοστρώματος σταθερό. Ο συντελεστής του πλάτους οδοστρώματος (-3.206) αναφέρεται στη κύρια επίδραση της ελικτότητας στη λειτουργική ταχύτητα. Για κάθε μονάδα αύξησης του πλάτους του οδοστρώματος με δεδομένο ότι η ελικτότητα είναι σταθερή μειώνεται η λειτουργική ταχύτητα.

Οι δύο τελευταίες στήλες του πίνακα αναφέρονται στα διαγνωστικά συγγραμμικότητας, όπως και ο παρακάτω πίνακας. Το VIF (Variation Inflation Factor) είναι μέτρο διάγνωσης συγγραμμικότητας. Τιμές μεγαλύτερες του 2 αποτελούν ένδειξη ότι έχουμε πρόβλημα συγγραμμικότητας. Η τιμή της

Tolerance για μια τιμή φανερώνει το ποσοστό της διακύμανσης της μεταβλητής που εξηγείται από τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα ισχύει ότι το ποσοστό αυτό είναι ίσο με $(1 - \text{Tolerance})\%$. Τιμές της Tolerance μικρότερες του 0,5 αποτελούν ένδειξη του προβλήματος. Βλέπουμε ότι οι τιμές για τις δύο ανεξάρτητες μεταβλητές είναι 0.988. Η στήλη του παρακάτω πίνακα Condition Index αποτελεί ακόμα ένα διαγνωστικό του προβλήματος. Τιμές μεγαλύτερες του 15 φανερώνουν πιθανό πρόβλημα συγγραμμικότητας και τιμές άνω του 30 σοβαρό πρόβλημα συγγραμμικότητας.

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	CCR	b
1	1	2.776	1.000	.00	.03	.00
	2	.222	3.534	.00	.96	.00
	3	.002	39.501	1.00	.00	1.00

a. Dependent Variable: v85

Ακόμα, από τις συσχετίσεις της ελικτότητας και του πλάτους λωρίδας με την εξαρτημένη μεταβλητή, παρατηρούμε πως το πλάτος λωρίδας δε συνεισφέρει ιδιαίτερα στον καθορισμό των τιμών της λειτουργικής ταχύτητας. Το γεγονός όμως ότι η μερική συσχέτιση είναι μεγαλύτερη από τη Zero – order, σημαίνει ότι ένα πολύ μικρό ποσοστό της μεταβλητότητας της λειτουργικής ταχύτητας εξηγείται από το πλάτος του διαθέσιμου οδοστρώματος ενώ δεν υπάρχουν συγγραμμικότητες μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών καθώς ο δείκτης tolerance είναι 0.988.

Σε αντίστοιχα συμπεράσματα καταλήγουμε κοιτώντας και τον πίνακα συσχετισμού.

		v85	CCR	b
v85	Pearson Correlation	1	-.855**	-.152
	Sig. (2-tailed)		.000	.246
	N	60	60	60
CCR	Pearson Correlation	-.855**	1	.109
	Sig. (2-tailed)	.000		.407
	N	60	60	60
b	Pearson Correlation	-.152	.109	1
	Sig. (2-tailed)	.246	.407	
	N	60	60	60

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Πίνακας 9: Πίνακας συσχετισμού των παραμέτρων του μοντέλου

Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα αποτελεί ένα μέτρο καθορισμού της γραμμικότητας μεταξύ δύο μεταβλητών. Παρατηρούμε μεγάλη συσχέτιση της λειτουργικής ταχύτητας V85 με την Ελικτικότητα CCR, όπως αναμενόταν. Ωστόσο δεν συμβαίνει το ίδιο με τη λειτουργική ταχύτητα και το πλάτος του οδοστρώματος. Το θετικό πρόσημο της σχέσης μεταξύ των δύο παραμέτρων (πλάτος οδοστρώματος και λειτουργικής ταχύτητας) σημαίνει πως το πλάτος του οδοστρώματος διαδραματίζει ρόλο στην επιλογή της ταχύτητας από τους οδηγούς. Το συμπέρασμα είναι πως σε οδικά τμήματα με μεγαλύτερο πλάτος οδοστρώματος έχουμε μεγαλύτερες ταχύτητες.

Το γεγονός ότι δεν βρέθηκε να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας τη λειτουργική ταχύτητα μπορεί ενδεχομένως να οφείλεται και στο μικρό δείγμα των οδικών τμημάτων που έχουν ληφθεί στην έρευνα. Ακόμα, το γεγονός ότι στην Ελλάδα για τη συγκεκριμένη κατηγορία οδών η χάραξη είναι κατά βάση καμπυλόγραμμη κυρίως λόγω του έντονου ανάγλυφου που συναντά ο σχεδιαστής αυτής της κατηγορίας οδών, απουσιάζει

η ύπαρξη μεγάλων ευθειών, αλλά εντοπίζονται ιδιαίτερα κλειστές καμπύλες, ενδεχομένως το δείγμα να χρήζει πυκνώσης στα σημεία με πολύ μικρή ελκτικότητα (20-80gph/km) όπου οι ταχύτητες αναμένονται υψηλότερες και είναι πιθανή η εντονότερη επίδραση του πλάτους οδοστρώματος. Τέλος, οι απλοποιήσεις και προσεγγίσεις που έγιναν για τον προσδιορισμό της ελκτικότητας των οδικών τμημάτων πιθανώς να φέρουν μερίδιο, μιας και θεωρήσαμε όλες τις καμπύλες κυκλικά τόξα χωρίς να ληφθούν υπόψη τα τόξα συναρμογής όπου υπήρχαν.

4.3.2 Έλεγχος ταχύτητας ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας

Η ανάλυση του αν διαφέρουν οι ταχύτητες ανάλογα με την κατεύθυνση κυκλοφορίας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του t- test. Βρέθηκε ότι οι μέσες ταχύτητες για τις δύο λωρίδες κυκλοφορίας δεν διαφέρουν καθώς από τα 30 οδικά τμήματα, μόνο στα 5 από αυτά υπάρχει διαφορά μεταξύ των μέσων ταχυτήτων των δύο κατευθύνσεων που να είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Παρόλα αυτά μια εξέταση στις 85^{es} ποσοστιαίες ταχύτητες μεταξύ των δύο ρευμάτων κατεύθυνσης έδειξε ότι στα 20 από τα 30 οδικά τμήματα αυτές είναι μεγαλύτερες όσον αφορά στην εξωτερική λωρίδα κυκλοφορίας. Το γεγονός αυτό πιθανόν υποδεικνύει ότι οι οδηγοί που βρίσκονται στην εξωτερική λωρίδα κινούνται γρηγορότερα λόγω της μεγαλύτερης ακτίνας σε σχέση με την εσωτερική λωρίδα. Επίσης πιθανότατα, το γεγονός ότι στο εξωτερικό της καμπύλης έχουμε μεγαλύτερες ακτίνες, να συνεπάγεται μεγαλύτερο διαθέσιμο μήκος ορατότητας κάτι το οποίο προδιαθέτει τον μετακινούμενο να αναπτύξει ταχύτητα.

Αντίστοιχο εύρημα εντοπίζεται και στην έρευνα των Bird, R.N. and Hashim I.H. 2005 σύμφωνα με την οποία είναι περισσότερα τα οδικά τμήματα στα οποία οι λειτουργικές ταχύτητες των εξωτερικών λωρίδων είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στις εσωτερικές λωρίδες. Στο παράρτημα περιλαμβάνεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τις ταχύτητες ανά ρεύμα.

Report

V85

reuma	Mean	N	Std. Deviation
.00	61.6991	1439	16.45677
1.00	61.4205	1441	16.50175
Total	61.5597	2880	16.47702

Πίνακας 10: Ανάλυση δεδομένων σύμφωνα με τη λωρίδα κίνησης στο οδόστρωμα.

Εξωτερική Οριογραμμή 0,

Εσωτερική Οριογραμμή 1

4.4 Ανάπτυξη μοντέλων λειτουργικής ταχύτητας

Προκειμένου να αναπτύξουμε μοντέλα πρόβλεψης της επίδρασης της γεωμετρίας ενός δρόμου στη λειτουργική ταχύτητα που αναπτύσσεται στα κέντρα των καμπυλών και των ευθυγραμμίων, χρησιμοποιήσαμε μεθόδους απλής και πολλαπλής ανάλυσης παλινδρόμησης. Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της ταχύτητας του οδηγού όπως τα όρια ταχυτήτων, ο κυκλοφοριακός φόρτος, οι χρήσεις γης (π.χ αστική περιοχή, σχολεία κ.ά). Η μελέτη αυτή όμως επικεντρώνεται στη σχέση μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της γεωμετρίας του δρόμου κατά τη νυκτερινή οδήγηση και κατά συνέπεια τα δεδομένα των ταχυτήτων που

συλλέχθηκαν ήταν σε συνθήκες ελεύθερης ροής και κατά τη νύκτα, προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση του κυκλοφοριακού φόρτου αλλά και άλλων μεταβλητών. Όλοι οι επιλεγμένοι δρόμοι ήταν μακριά από κατοικημένες περιοχές και χρήσεις γης όπου τα όρια ταχύτητας μπορεί να περιορίζονται εξαιτίας αυτών των παραγόντων. Επίσης, στα σημεία που έγιναν οι μετρήσεις δεν υπήρχαν κόμβοι οι οποίοι θα επηρέαζαν αισθητά την ταχύτητα. Στη διαδικασία εκτίμησης μοντέλου ταχύτητας ακολουθήθηκε η εξής προσέγγιση:

Χρησιμοποιήθηκε ως κύρια μεταβλητή το τεταμένο της μεμονωμένης καμπύλης για την εκτίμηση της λειτουργικής ταχύτητας. Οι ταχύτητες σε κάθε καμπύλη και ευθυγραμμία που παρατηρήθηκαν και στις δύο κατευθύνσεις ενώθηκαν σε μία κατανομή και η 85^η ποσοστιαία ταχύτητα υπολογίστηκε για κάθε καμπύλη και ευθυγραμμία. Επομένως, ο αριθμός των παρατηρήσεων που χρησιμοποιήθηκε για την προσέγγιση αυτή ήταν 30 καμπύλες και 6 ευθυγραμμίες.

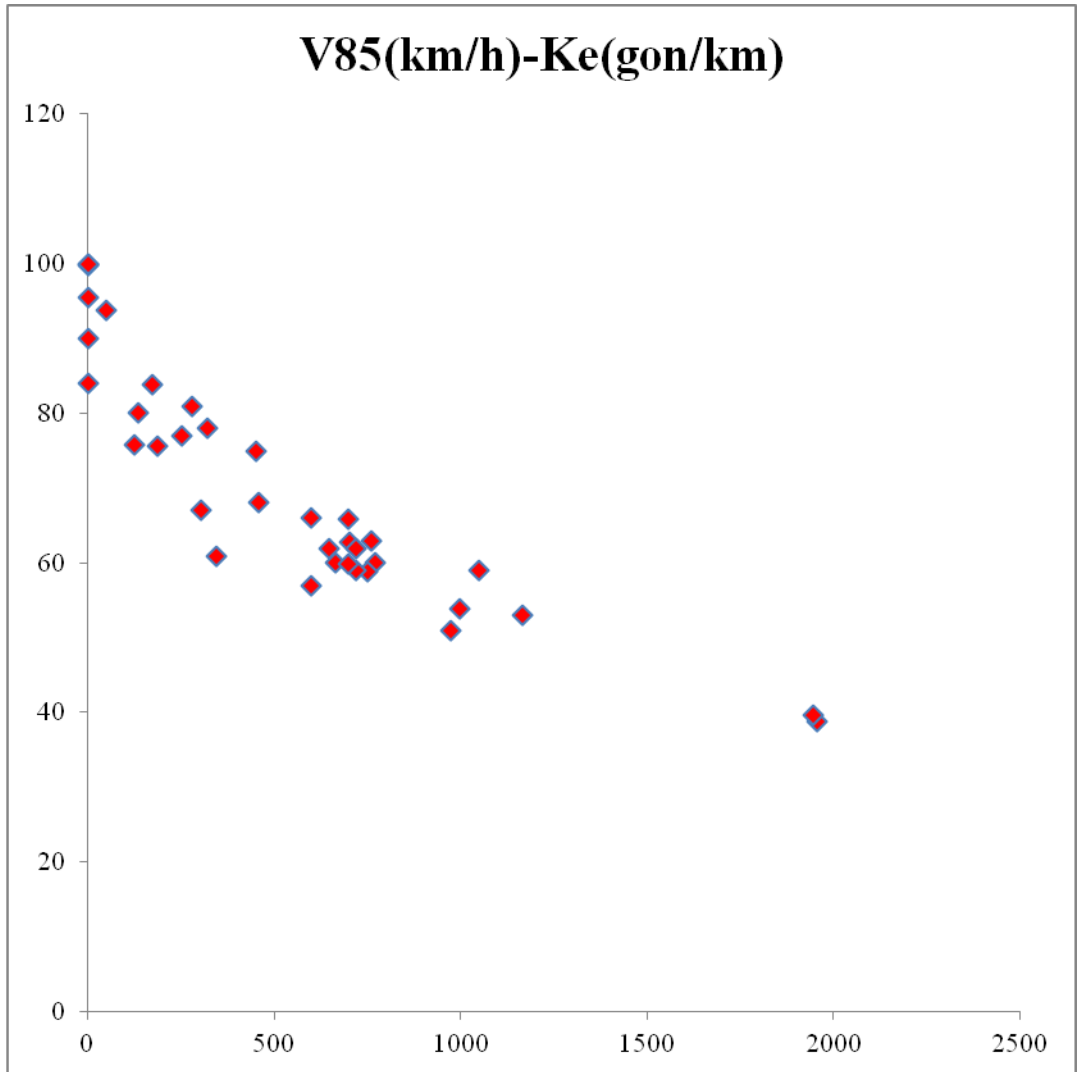
Για το δείγμα αυτό των λειτουργικών ταχυτήτων, έγιναν αναλύσεις απλής αλλά και πολλαπλής παλινδρόμησης. Η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν η λειτουργική ταχύτητα ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή και στις δύο περιπτώσεις ήταν η ελικτότητα της μεμονωμένης καμπύλης ενώ στην περίπτωση της πολλαπλής παλινδρόμησης εισήχθη στο μοντέλο και το πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας ως ανεξάρτητη μεταβλητή.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι ανάλυσης παλινδρόμησης. Στην πρώτη, χρησιμοποιήθηκε μια ανεξάρτητη μεταβλητή ως επεξηγηματική μεταβλητή, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης. Ο λόγος ανάπτυξης μοντέλων μιας μεταβλητής είναι ότι αυτά είναι πιο πρακτικά στη χρήση τους καθώς απαιτούν δεδομένα από λιγότερες μεταβλητές (μόνο μία).

Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι μαθηματικοί τύποι για την εισαγωγή των ανεξάρτητων μεταβλητών και τα κριτήρια αξιολόγησης της προβλεπόμενης ακρίβειας στα μοντέλα ήταν τα ακόλουθα:

- Η τιμή του συντελεστή R^2 θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη και σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Παρόλα αυτά, ο συντελεστής αυτός εξηγεί κατά πόσο το εκτιμώμενο μοντέλο εξηγεί τη διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής από τα δεδομένα του δείγματος και δεν μπορεί να μας πληροφορήσει αν η σχέση μεταξύ των μεταβλητών είναι σημαντική.
- Την πληροφορία αυτή τη λαμβάνουμε από το δείκτη F για τον οποίο αν η τιμή του δείκτη p είναι μικρότερη από 0,05 υποδεικνύεται μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής.
- Κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές θα πρέπει να έχει συντελεστές παλινδρόμησης στατιστικά διάφορους του 0 (δείκτης t >1.96 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), το πρόσημο των οποίων θα πρέπει να εξηγεί τη φυσική σημασία της επίδρασης της μεταβλητής στη λειτουργική ταχύτητα.
- Η ανάλυση των κανονικοποιημένων υπολοίπων σε σύγκριση με τις κανονικοποιημένες εκτιμώμενες τιμές θα πρέπει να επιβεβαιώνουν τις υποθέσεις της γραμμικότητας και της ομοιογένειας των παρατηρήσεων.

4.4.1 Επιλογή μεθόδου ανάλυσης παλινδρόμησης



Σχήμα 7: Διάγραμμα διασποράς V85-CCR

Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι το δείγμα των ταχυτήτων εκφράζεται ως συνάρτηση του αντιστρόφου της ελικτότητας. Για να ελεγχθεί αυτό θα πρέπει να γίνει μια προκαταρκτική εξέταση των πιθανών συναρτήσεων που να είναι εύκολες στη χρήση τους αλλά φυσικά να μπορούν να περιγράψουν τη μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής. Οι συναρτήσεις που επιλέχθηκαν για να προσεγγίσουν τα δεδομένα της έρευνας είναι η γραμμική, η αντίστροφη, η λογαριθμική και το πολυώνυμο δευτέρου βαθμού, όλες με μοναδική ανεξάρτητη μεταβλητή την ελικτότητα. Προκειμένου να υπάρχει μια καλύτερη ερμηνεία για το κατά πόσο μπορεί να είναι αξιόπιστο ένα μοντέλο που θα έχει μία από τις παραπάνω μορφές, έγιναν δύο προσεγγίσεις για την κάθε συνάρτηση. Συγκεκριμένα τα μοντέλα προσέγγισης των δεδομένων ήταν της μορφής:

Γραμμική συνάρτηση $V_{85} = a_1 * Ke + c$

Αντίστροφη συνάρτηση $V_{85} = \frac{a_1}{Ke} + c$

Πολυωνυμική συνάρτηση 2^{ου} βαθμού $V_{85} = a_1 * Ke + a_2 * CCR^2 + c$

Λογαριθμική συνάρτηση $V_{85} = a_1 * \ln Ke + c$

Όπου V_{85} : η 85^η ποσοστιαία λειτουργική ταχύτητα

a_i : συντελεστές των μεταβλητών

c : σταθερός όρος ο οποίος χρησιμοποιείται μόνο στην πρώτη περίπτωση

1^η περίπτωση

Στην περίπτωση αυτή, συμπεριλαμβάνοντας το σταθερό όρο στις συναρτήσεις με μια πρόχειρη ματιά στους παρακάτω πίνακες υποδεικνύεται ως η λογαριθμική συνάρτηση και η ανάστροφη συνάρτηση είναι οι καλύτερες προσεγγίσεις μιας και ο συντελεστής διασποράς R^2 είναι ο μεγαλύτερος και συγκεκριμένα εξηγεί τη μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής στα δεδομένα του δείγματος σε ποσοστό 94,4% και 91.8%. Σε όλες τις περιπτώσεις κρίνεται ικανοποιητικό το R^2 αφού οι συναρτήσεις αυτές μπορούν να εξηγήσουν σε μεγάλο ποσοστό του δείγματος τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, ειδικότερα οι τρεις τελευταίες που ο συντελεστής τους της κατηγοριοποιεί στις ισχυρές συναρτήσεις όσον αφορά την απόδοση της διασποράς.

Πίνακας 11: Πίνακες R^2 γραμμικής, αντίστροφη, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (1η περίπτωση)

Γραμμική συνάρτηση

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.907	.823	.818	7.487

The independent variable is transCCR.

Λογαριθμική συνάρτηση

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.973	.946	.944	4.138

The independent variable is transCCR.

Αντίστροφη συνάρτηση

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.959	.920	.918	5.016

The independent variable is transCCR.

Πολυωνυμική συνάρτηση

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.962	.925	.920	4.950

The independent variable is transCCR.

Ο πίνακας Ανονα ελέγχει την αποδοχή του μοντέλου από στατιστικής άποψης και σύμφωνα με αυτόν παρατηρούμε πως και στις τέσσερις περιπτώσεις, τα στοιχεία της παλινδρόμησης είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα. Αυτό σημαίνει ότι η διασπορά η οποία έχει ληφθεί και εξηγείται στα τρία μοντέλα είναι μεγαλύτερη από τη μεταβλητότητα η οποία δεν έχει ληφθεί κατά τον υπολογισμό των μοντέλων. Ακόμα, από τον ίδιο πίνακα παρατηρούμε πως ο δείκτης F είναι σημαντικός αφού η τιμή του δείκτη "p" είναι μικρότερη από 0,05. Από το πίνακα αυτό όμως δεν μπορούμε να καταλάβουμε το κατά πόσο είναι ισχυρό το μοντέλο αλλά μόνο τη μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής. Την πληροφορία αυτή την αντλούμε από το γεγονός ότι το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης είναι και στα τέσσερα μοντέλα πολύ μικρότερο από την τυπική απόκλιση του δείγματος που είναι 11,38.

Πίνακας 12: Πίνακες ανάλυσης διασποράς γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (1η περίπτωση)

Γραμμική Συνάρτηση

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	8855.891	1	8855.891	157.971	.000
Residual	1906.053	34	56.060		
Total	10761.944	35			

The independent variable is transCCR.

Λογαριθμική Συνάρτηση

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	8855.891	1	8855.891	157.971	.000
Residual	1906.053	34	56.060		
Total	10761.944	35			

The independent variable is transCCR.

Αντίστροφη συνάρτηση

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	9906.351	1	9906.351	393.664	.000
Residual	855.593	34	25.164		
Total	10761.944	35			

The independent variable is transCCR.

Πολυωνυμική συνάρτηση

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	9953.491	2	4976.746	203.144	.000
Residual	808.453	33	24.499		
Total	10761.944	35			

The independent variable is transCCR.

Το σημαντικότερο στοιχείο όμως μας το δίνει ο πίνακας των συντελεστών ο οποίος με το δείκτη t αναφέρει τη σημαντικότητα των όρων που έχουν χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο. Η σημαντικότητα του σταθερού όρου στην λογαριθμική και την πολυωνυμική συνάρτηση είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της αντίστροφης συνάρτησης γεγονός το οποίο υποδηλώνει την ισχυρή του θέση μέσα στο μοντέλο. Δεν ισχύει το ίδιο και για τη αντίστροφη συνάρτηση, η οποία όμως έχει πολύ μεγάλο σταθερό όρο ενώ το τυπικό σφάλμα εκτίμησης του είναι πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της λογαριθμικής συνάρτησης

Πίνακας 13: Συντελεστές γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (1η περίπτωση)

Γραμμική Συνάρτηση

Coefficients					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
transCCR	-.033	.003	-.907	-12.569	.000
(Constant)	92.686	2.571		36.057	.000

Λογαριθμική συνάρτηση

Coefficients					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
ln(transCC R)	-30.548	1.253	-.973	-24.380	.000
(Constant)	266.401	8.312		32.048	.000

Αντίστροφη συνάρτηση

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 transCCR	19285.604	972.009	.959	19.841	.000
(Constant)	34.320	1.733		19.803	.000

Πολυωνυμική συνάρτηση

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
transCCR	-.070	.006	-1.944	-11.995	.000
transCCR **	1.621E-5	.000	1.085	6.693	.000
2 (Constant)	109.203	2.996		36.448	.000

2^η περίπτωση

Κατά τη προσέγγιση αυτή, επιχειρήθηκε η προσέγγιση των συναρτήσεων στα δεδομένα χωρίς να συμπεριληφθεί ο σταθερός όρος. Το γραμμικό μοντέλο αδυνατεί να εξηγήσει τη διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής σε ποσοστό 53.3% σε σχέση με το αντίστοιχο της 1^{ης} προσέγγισης. Το πολυωνυμικό μοντέλο 2^{ου} βαθμού έχει συντελεστή 0,792 που είναι κοντά σε σχέση με τη προηγούμενη περίπτωση. Η αντίστροφη συνάρτηση εξακολουθεί να εξηγεί τη διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής με ποσοστό 93.1%. Και τέλος το λογαριθμικό μοντέλο ισχυροποιεί τη θέση του με ποσοστό 88.3%.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημαντικότητα του δείκτη F. Το προτιμότερο μοντέλο κρίνεται αυτό της αντίστροφης συνάρτησης..

Πίνακας 14: Πίνακες R² γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (2η περίπτωση)

Γραμμική Συνάρτηση

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.730	.533	.520	46.226

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Λογαριθμική συνάρτηση

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.942	.887	.883	22.786

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Αντίστροφη συνάρτηση

Model Summary^a

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.966	.933	.931	17.504

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Πολυωνυμική συνάρτηση

Model Summary^a

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.890	.792	.780	31.321

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Πίνακας 15: Πίνακες ανάλυσης διασποράς γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (2η περίπτωση)

Γραμμική Συνάρτηση

ANOVA^a

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	85462.616	1	85462.616	39.994	.000
Residual	74791.107	35	2136.889		
Total	160253.722	36			

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Λογαριθμική συνάρτηση

ANOVA^a

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	142081.244	1	142081.244	273.647	.000
Residual	18172.478	35	519.214		
Total	160253.722	36			

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Αντίστροφη συνάρτηση

ANOVA^a

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	149530.092	1	149530.092	488.039	.000
Residual	10723.631	35	306.389		
Total	160253.722	36			

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Πολυωνυμική συνάρτηση

ANOVA^a

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	126900.458	2	63450.229	64.681	.000
Residual	33353.265	34	980.978		
Total	160253.722	36			

The independent variable is transCCR.

a. The equation was estimated without the constant term.

Πίνακας 16: Συντελεστές γραμμικής, αντίστροφης, λογαριθμικής και πολυωνυμικής συνάρτησης (2η περίπτωση)

Γραμμική συνάρτηση

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
transCC R	.049	.008	.730	6.324	.000

Λογαριθμική συνάρτηση

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
ln(transCC R)	9.470	.572	.942	16.542	.000

Αντίστροφη συνάρτηση

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 transCCR	36146.004	1636.187	.966	22.092	.000

Πολυωνυμική συνάρτηση

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
transCCR	.129	.013	1.904	9.674	.000
transCCR ** 2	-5.650E-5	.000	-1.279	-6.499	.000

Συμπερασματικά καταλήγουμε στην επιλογή λογαριθμικής και αντίστροφης συνάρτησης για την απόδοση του μοντέλου.

4.4.2 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για επιλογή μοντέλου για όλα τα πλάτη λωρίδας

Εξαιτίας του γεγονότος ότι στη λογαριθμική συνάρτηση και στην αντίστροφη συνάρτηση δεν μπορούμε να εισάγουμε μηδενικές παρατηρήσεις μετασηματίσαμε τη μεταβλητή σε $\text{transCCR} = \text{CCR} + \text{constant}$. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωμένα τα χαρακτηριστικά της κάθε συνάρτησης από τις παραπάνω για τις μετρημένες λειτουργικές ταχύτητες.

Πίνακας 17: Συγκεντρωτικοί πίνακες διασποράς μεταβλητών

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.973 ^a	.946	.944	4.13837	
2	.987 ^b	.975	.973	2.87431	1.541

a. Predictors: (Constant), IntransCCR

b. Predictors: (Constant), IntransCCR, b

c. Dependent Variable: v85

1^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο των βημάτων (stepwise)

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.989 ^a	.979	.976	2.71870	
2	.989 ^b	.977	.975	2.75844	1.560

a. Predictors: (Constant), b, anastrofo, transCCR2, IntransCCR

b. Predictors: (Constant), b, anastrofo, IntransCCR

c. Dependent Variable: v85

2^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο Backward Regression

Με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης σε βήματα (stepwise) καταλήγουμε ότι πρέπει να συμπεριλάβουμε στην εξίσωση το πλάτος της λωρίδας. Βέβαια το τελικό μοντέλο που μας προτείνει η στατιστική ανάλυση είναι με μια μόνο μεταβλητή το φυσικό λογάριθμο. Την καλύτερη απόδοση του δείγματος τη δίνει το μοντέλο με τις δύο μεταβλητές, αν κοιτάξουμε τον προσαρμοσμένο συντελεστή διασποράς. Στη δεύτερη περίπτωση με τη μέθοδο πολλαπλής παλινδρόμησης backward η στατιστική ανάλυση μας δίνει δυο μοντέλα, στη πρώτη περίπτωση συμπεριλαμβάνονται οι εξής μεταβλητές, ο φυσικός λογάριθμος, ο ανάστροφος και το πλάτος της λωρίδας. Στη δεύτερη περίπτωση συμπεριλαμβάνεται μαζί με τις παραπάνω και το τετράγωνο της ελικτότητας. Ελέγχοντας τους προσαρμοσμένους συντελεστές διασποράς των παραπάνω μοντέλων καταλήγουμε στο μοντέλο b και για τις δύο περιπτώσεις. Έτσι λοιπόν θα έχουμε μοντέλα της μορφής

$$\text{Stepwise: } V85 = C + a_1 \ln(\text{CCR} + 320) + a_2 * b, R^2 = 0.973$$

$$\text{Backward: } V85 = C + a_1 \ln(\text{CCR} + 320) + a_2 / (\text{CCR} + 320) + a_3 * b, R^2 = 0.976$$

Επίσης το τυπικό σφάλμα είναι καλύτερο στη δεύτερη περίπτωση για αυτό πιθανότατα θα ακολουθήσουμε αυτό το τύπο της συνάρτησης. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες Anova για τις δύο περιπτώσεις.

Πίνακας 18: Πίνακες Ανονα για τις δύο περιπτώσεις

ANOVA^c

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10179.657	1	10179.657	594.395	.000 ^a
	Residual	582.287	34	17.126		
	Total	10761.944	35			
2	Regression	10489.309	2	5244.654	634.817	.000 ^b
	Residual	272.636	33	8.262		
	Total	10761.944	35			

a. Predictors: (Constant), IntransCCR

b. Predictors: (Constant), IntransCCR, b

c. Dependent Variable: v85

1^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο των βημάτων (stepwise)

ANOVA^c

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10532.813	4	2633.203	356.255	.000 ^a
	Residual	229.131	31	7.391		
	Total	10761.944	35			
2	Regression	10518.457	3	3506.152	460.792	.000 ^b
	Residual	243.487	32	7.609		
	Total	10761.944	35			

a. Predictors: (Constant), b, anastrofo, transCCR2, IntransCCR

b. Predictors: (Constant), b, anastrofo, IntransCCR

c. Dependent Variable: v85

2^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο Backward Regression

Ο πίνακας Anova ελέγχει την αποδοχή του μοντέλου από στατιστικής άποψης και σύμφωνα με αυτόν παρατηρούμε πως και στις δύο περιπτώσεις, τα στοιχεία της παλινδρόμησης είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα. Αυτό σημαίνει ότι η διασπορά η οποία έχει ληφθεί και εξηγείται στα δύο μοντέλα είναι μεγαλύτερη από τη μεταβλητότητα η οποία δεν έχει ληφθεί κατά τον υπολογισμό των μοντέλων. Ακόμα, από τον ίδιο πίνακα παρατηρούμε πως ο δείκτης F είναι σημαντικός αφού η τιμή του δείκτη p είναι μικρότερη από 0,05. Από το παραπάνω πίνακα δεν μπορούμε να καταλήξουμε ποιο μοντέλο θα είναι προτιμότερο στην απόδοση του πειράματος, μιας και τα δύο μοντέλα είναι στατιστικά αποδεκτά.

Πίνακας 19: Πίνακες Συντελεστών για τα δύο μοντέλα

Coefficients ^a									
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
	B	Std. Error				Beta	Lower Bound	Upper Bound	Tolerance
(Constant)	266.401	8.312		32.048	.000	249.508	283.294		
IntransCC	-30.548	1.253	-.973	-24.380	.000	-33.094	-28.002	1.000	1.000
(Constant)	217.586	9.844		22.103	.000	197.557	237.614		
IntransCC	-31.148	.876	-.992	-35.566	.000	-32.929	-29.366	.987	1.013
b	15.140	2.473	.171	6.122	.000	10.108	20.171	.987	1.013

a. Dependent Variable: v85

1^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο των βημάτων (stepwise)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
	B	Std. Error				Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
(Constant)	88.497	64.802		1.366	.182	-43.667	220.662		
anastrof	9675.275	4488.327	.481	2.156	.039	521.271	18829.28	.014	72.593
transCC	-2.042E-6	.000	-.137	-	.173	.000	.000	.072	13.986
R2				1.394					
Intrans	-12.981	9.139	-.413	-	.165	-31.620	5.659	.008	123.27
CCR				1.420					
b	13.951	2.393	.157	5.829	.000	9.070	18.833	.943	1.060
(Constant)	171.930	25.167		6.832	.000	120.666	223.194		
anastrof	4133.429	2111.870	.206	1.957	.059	-168.308	8435.167	.064	15.612
Intrans	-24.878	3.312	-.792	-	.000	-31.624	-18.132	.064	15.725
CCR				7.512					
b	14.494	2.396	.163	6.049	.000	9.613	19.374	.969	1.032

a. Dependent Variable: v85

2^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο *Backward Regression*

Το σημαντικότερο στοιχείο όμως μας το δίνει ο πίνακας των συντελεστών ο οποίος με το δείκτη t αναφέρει τη σημαντικότητα των όρων που έχουν χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο. Οι δύο τελευταίες στήλες του πίνακα αναφέρονται στα διαγνωστικά συγγραμικότητας, όπως και ο παρακάτω πίνακας. Το VIF (Variation Inflation Factor) είναι μέτρο διάγνωσης συγγραμικότητας. Τιμές μεγαλύτερες του 2 αποτελούν ένδειξη ότι έχουμε πρόβλημα συγγραμικότητας. Η τιμή της Tolerance για μια τιμή φανερώνει το ποσοστό της διακύμανσης της μεταβλητής που εξηγείται από τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου. Σύμφωνα με ορισμένες μελέτες για τιμές της Tolerance μικρότερες από 0,1 κρίνεται σκόπιμη μια περαιτέρω ανάλυση της συγγραμικότητας των μεταβλητών. Μεγαλύτερες τιμές για το δείκτη VIF μας προβληματίζουν αναφορικά με τη σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Συνήθως νούμερα πάνω από 10 φανερώνουν μια γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Τα νούμερα αυτά είναι επισημασμένα στους πίνακες. Από τα παραπάνω κρίνουμε ότι καταλληλότερο μοντέλο είναι το πρώτο από τη πολλαπλή παλινδρόμηση σε βήματα.

Πίνακας 20: Πίνακες Υπολοίπων

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	29.7830	94.6906	64.4403	17.31169	36
Std. Predicted Value	-2.002	1.747	.000	1.000	36
Standard Error of Predicted Value	.482	1.144	.809	.187	36
Adjusted Predicted Value	29.5794	94.0680	64.4226	17.27761	36
Residual	-5.39762	5.79898	.00000	2.79098	36
Std. Residual	-1.878	2.018	.000	.971	36
Stud. Residual	-1.978	2.046	.003	1.018	36
Deleted Residual	-5.99041	6.30818	.01767	3.07223	36
Stud. Deleted Residual	-2.075	2.157	.008	1.049	36
Mahal. Distance	.011	4.569	1.944	1.261	36
Cook's Distance	.000	.254	.034	.053	36
Centered Leverage Value	.000	.131	.056	.036	36

a. Dependent Variable: v85

1^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο των βημάτων (stepwise)

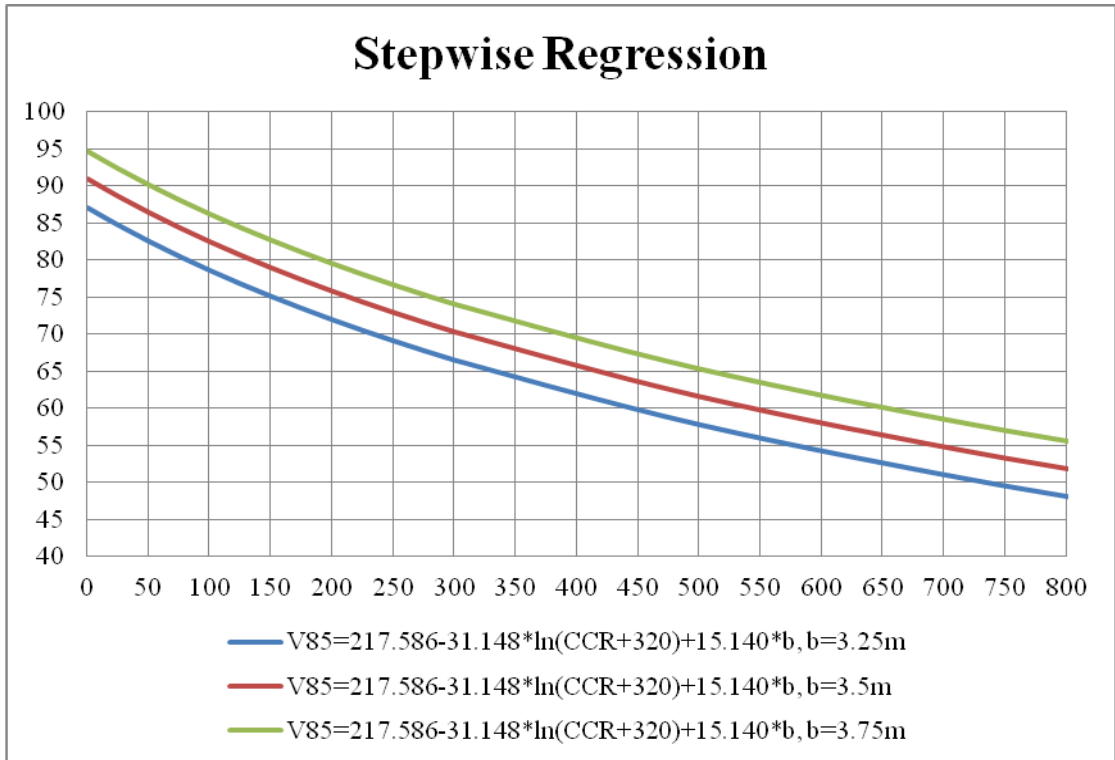
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	32.1524	95.6963	64.4403	17.33572	36
Std. Predicted Value	-1.863	1.803	.000	1.000	36
Standard Error of Predicted Value	.574	1.599	.887	.247	36
Adjusted Predicted Value	32.4217	95.1453	64.4591	17.25731	36
Residual	-4.70458	6.66453	.00000	2.63757	36
Std. Residual	-1.706	2.416	.000	.956	36
Stud. Residual	-1.785	2.484	-.003	1.008	36
Deleted Residual	-5.17345	7.04337	-.01884	2.93261	36
Stud. Deleted Residual	-1.852	2.721	.008	1.047	36
Mahal. Distance	.542	10.785	2.917	2.398	36
Cook's Distance	.000	.180	.028	.041	36
Centered Leverage Value	.015	.308	.083	.069	36

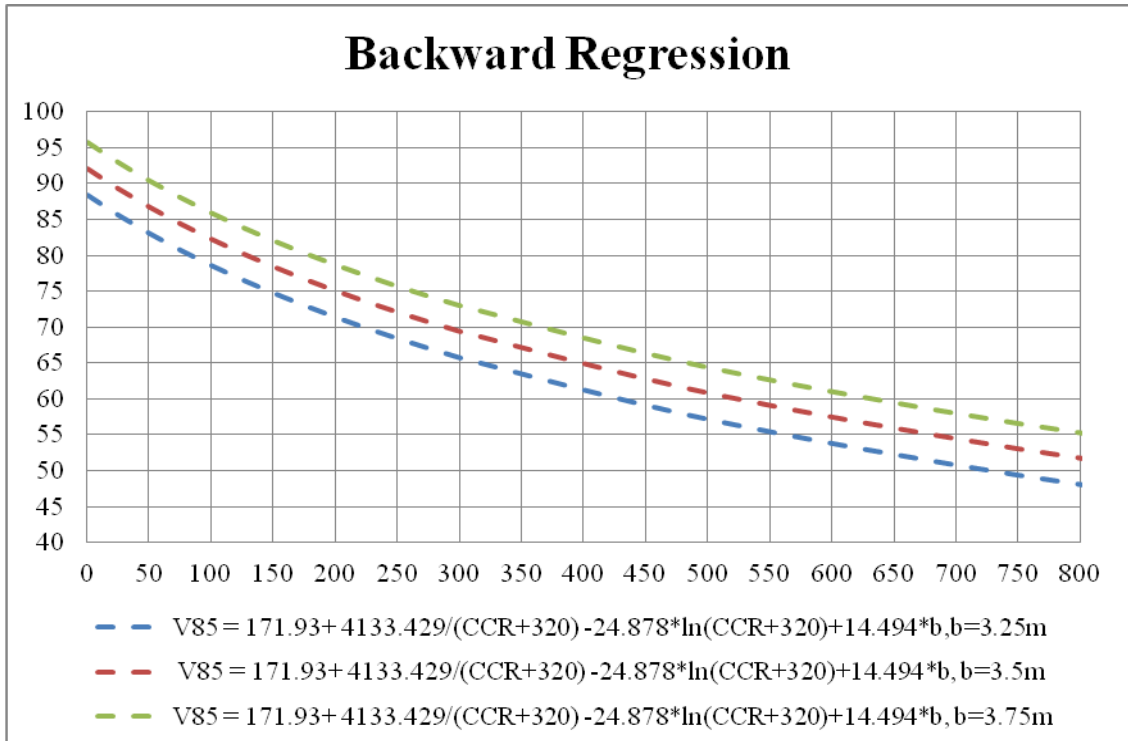
a. Dependent Variable: v85

2^η περίπτωση : Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο *Backward Regression*

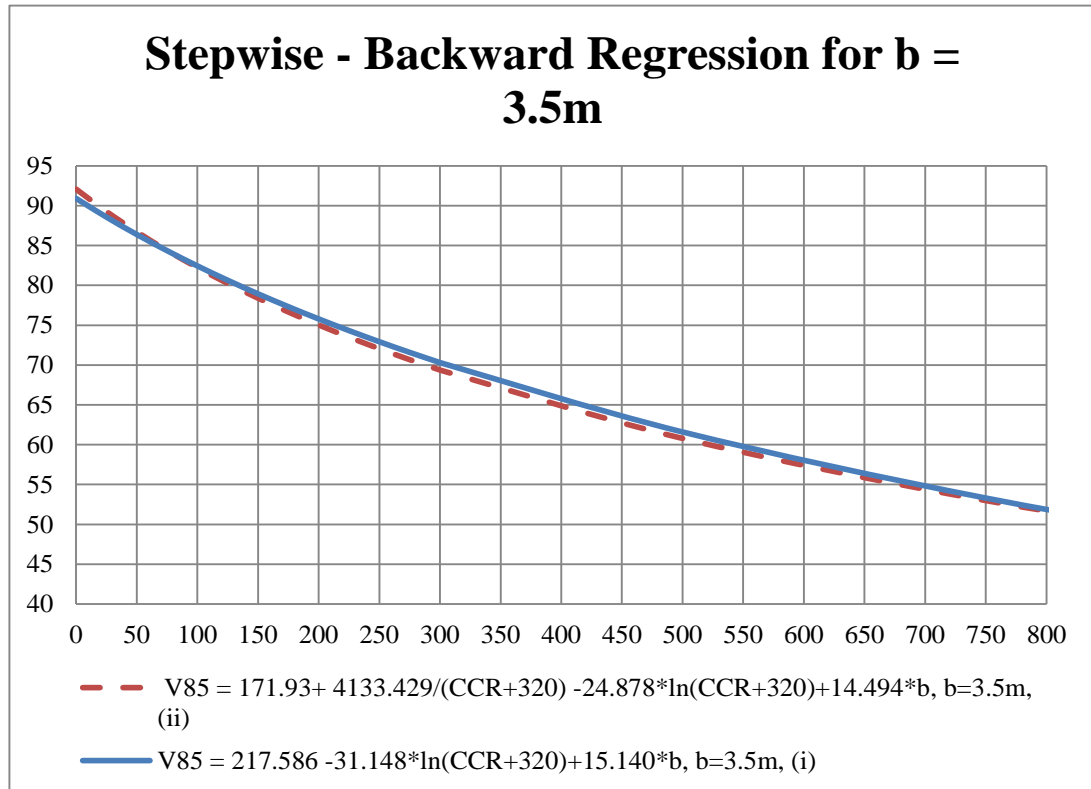
Παρατηρούμε στους παραπάνω πίνακες ότι οι αποστάσεις του Cook είναι παραπλήσιες και έτσι δεν μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε σαν στοιχείο για να αποκλείσουμε κάποιο από τα δύο μοντέλα. Επίσης το τυπικό σφάλμα πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας και για τα δύο μοντέλα είναι παραπλήσιο και στις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 8: Μοντέλο πρόβλεψης με τη μέθοδο της παλινδρόμησης σε βήματα, εξίσωση (i)



Σχήμα 9: Μοντέλο πρόβλεψης με τη μέθοδο πολλαπλής παλινδρόμησης Backward, εξίσωση (ii)



Σχήμα 10: Σύγκριση των δύο μοντέλων για πλάτος λωρίδας 3.50m, εξισώσεις (i) και (ii)

Τα μοντέλα που καταλήξαμε είναι τα παρακάτω:

- i. $V85 = 217.586 - 31.148 \cdot \ln(CCR+320) + 15.140 \cdot b$, stepwise regression
- ii. $V85 = 171.93 + 4133.429/(CCR+320) - 24.878 \cdot \ln(CCR+320) + 14.494 \cdot b$, backward regression

Όπου : V85: η προβλεπόμενη λειτουργική ταχύτητα για τη νυκτερινή οδήγηση

b: το πλάτος της λωρίδας στο υπό εξέταση οδικό τμήμα σε m

CCR: η ελικτικότητα του υπό εξέταση οδικού τμήματος σε gon/km

Παρατηρούμε στο παραπάνω γράφημα ότι οι δύο εξισώσεις είναι πολύ κοντά στα πλαίσια του στατιστικού σφάλματος. Έτσι λοιπόν, εξαιτίας του γεγονότος ότι η πολλαπλή παλινδρόμηση σε βήματα είναι πιο αξιόπιστη μέθοδος στατιστικά θα προτιμήσουμε την εξίσωση που προκύπτει από την παλινδρόμηση σε βήματα.

4.4.3 Μεθοδολογία των αναλύσεων παλινδρόμησης

Από την προκαταρκτική ανάλυση που προηγήθηκε και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση της ελικτότητας και του πλάτους λωρίδας κυκλοφορίας στην λειτουργική ταχύτητα, κρίθηκε σκόπιμη η ανάπτυξη δύο μοντέλων με τη χρήση ανάλυσης παλινδρόμησης για την εκτίμηση της λειτουργικής ταχύτητας σε σχέση με τα διάφορα γεωμετρικά στοιχεία για τα επιβατηγά οχήματα. Στην πρώτη περίπτωση έγινε ανάλυση παλινδρόμησης ξεχωριστά για τα τρία διαφορετικά πλάτη λωρίδας (3.25, 3.50, 3.75) των καμπυλών ενώ στη δεύτερη περίπτωση, η παλινδρόμηση έγινε συνδυαστικά για όλα τα πλάτη των λωρίδων. Η διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων λειτουργικών ταχυτήτων πραγματοποιήθηκε από τα δεδομένα των ταχυτήτων τόσο ξεχωριστά για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας όσο και για το συνδυασμό των ταχυτήτων από τις δύο κατευθύνσεις σε μια ενιαία κατανομή για το κάθε οδικό τμήμα. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις στην ανάπτυξη των μοντέλων περιγράφονται στα εδάφια 4.4.4.2 και 4.4.4.3.

4.4.4 Μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα εδάφια, υπάρχει μια ισχυρή θετική σχέση μεταξύ της 85^{ης} ποσοστιαίας λειτουργικής ταχύτητας και του αντιστρόφου της ελικτότητας. Προκειμένου να αναπτυχθούν τα μοντέλα ταχυτήτων, σε όλες τις έρευνες γίνεται μελέτη των ταχυτήτων που αναπτύσσονται στις ανεξάρτητες ευθυγραμμίες. Όπως έχει αναφερθεί αυτή κυμαίνεται μεταξύ 97-100km/h, στα οδικά τμήματα όπου η ταχύτητα μελέτης δεν ξεπερνά τα 90 ή 100km/h. Από δειγματοληψία που έγινε σε 6 ευθυγραμμίες βρέθηκε ότι η ταχύτητα στις ευθυγραμμίες δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα αν το πλάτος της λωρίδας είναι από 3,25 έως 3,75m και η τιμή της είναι γύρω στα 80-85km/h κατά τη νυχτερινή οδήγηση. Ο καθορισμός των ευθυγραμμιών ως ανεξάρτητες έγινε με την παρακάτω διαδικασία όπως περιγράφεται στα Ψαριανός Β., 2001 (ΟΜΟΕ-Χ σελ.35) και Choueiri Elias M. and Lamm Ruediger 1987 (part II σελ.43).

4.4.4.1 Αξιολόγηση ευθυγραμμιών

Καθότι είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη οι απαραίτητες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις κατά τη μετάβαση στην ευθυγραμμία από την προηγούμενη αλλά και προς την επικείμενη καμπύλη, θεωρείται η πρώτη ως δυναμικό στοιχείο μελέτης. Ο καθορισμός της ποιότητας σχεδιασμού και η αξιολόγηση αυτών γίνεται με βάση το Κριτήριο Ασφαλείας II «επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στη λειτουργική ταχύτητα». Προκειμένου να αξιολογηθούν οι ευθυγραμμίες λοιπόν θα πρέπει να γίνει η διάκρισή τους σε δύο βασικούς τύπους:

1. Εξαρτημένες ευθυγραμμίες

Είναι αυτές οι οποίες έχουν πολύ μικρό μήκος με αποτέλεσμα η διαφορά στις λειτουργικές ταχύτητες μεταξύ της προηγούμενης και της επικείμενης καμπύλης να μην μπορεί να υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο τόσο για καλή όσο και για μέτρια ποιότητα σχεδιασμού κατά τη διάρκεια επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης των οχημάτων. Κατά συνέπεια, κατά τη διαδικασία αξιολόγησης των γεωμετρικών στοιχείων του δρόμου από άποψη ασφαλείας, αγνοούνται αυτού του είδους οι ευθυγραμμίες και λαμβάνεται υπόψη μόνο η αλληλουχία καμπύλη- καμπύλη.

2. Ανεξάρτητες ευθυγραμμίες

Είναι οι ευθυγραμμίες με μεγάλο μήκος και ως εκ τούτου η διαφορά μεταξύ των λειτουργικών ταχυτήτων ενδέχεται να υπερβεί την επιτρεπόμενη για μη αποδεκτή ποιότητα σχεδιασμού. Έτσι λοιπόν, κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης των στοιχείων μελέτης, οι ευθυγραμμίες αυτές δεν μπορούν να αγνοηθούν και κατά συνέπεια έχουν δική τους λειτουργική ταχύτητα V_{85} .

Οι μετρημένες ευθυγραμμίες είχαν μήκος μεγαλύτερο από 500m και συνεπώς θα τις θεωρήσουμε σαν ανεξάρτητες ευθυγραμμίες. Έτσι λοιπόν, οι προβλέψεις του μοντέλου μας θα αφορούν ανεξάρτητες ευθυγραμμίες.

4.4.4.2 Πρώτη Προσέγγιση

Κατά την προσέγγιση αυτή τα δεδομένα των ταχυτήτων του κάθε οδικού τμήματος ενώθηκαν σε μια ενιαία κατανομή και ο υπολογισμός των λειτουργικών ταχυτήτων πραγματοποιήθηκε από το συνδυασμό των ταχυτήτων των δύο κατευθύνσεων κυκλοφορίας.

Μοντέλο παλινδρόμησης για λωρίδα πλάτους 3.75m

Το καταλληλότερο μοντέλο παλινδρόμησης που επιλέχθηκε για οδούς με πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας 3.75m είναι το εξής:

iii. $V_{85} = 234.775 - 26.228 * \ln(\text{CCR} + 186.3354)$, $R^2 = 0.989$

iv. $V_{85} = -1.671 + 102958.64 / (\text{CCR} + 1050.12)$, $R^2 = 0.978$

Μοντέλο παλινδρόμησης για λωρίδα πλάτους 3.50m

Τα καταλληλότερα μοντέλα παλινδρόμησης που επιλέχθηκαν για οδούς με πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας 3.50m είναι τα εξής:

v. $V_{85} = 225.725 - 25.078 * \ln(\text{CCR}+200)$, $R^2 = 0.963$

vi. $V_{85} = -1.988 + 104421.052 / (\text{CCR}+1124)$, $R^2 = 0.966$

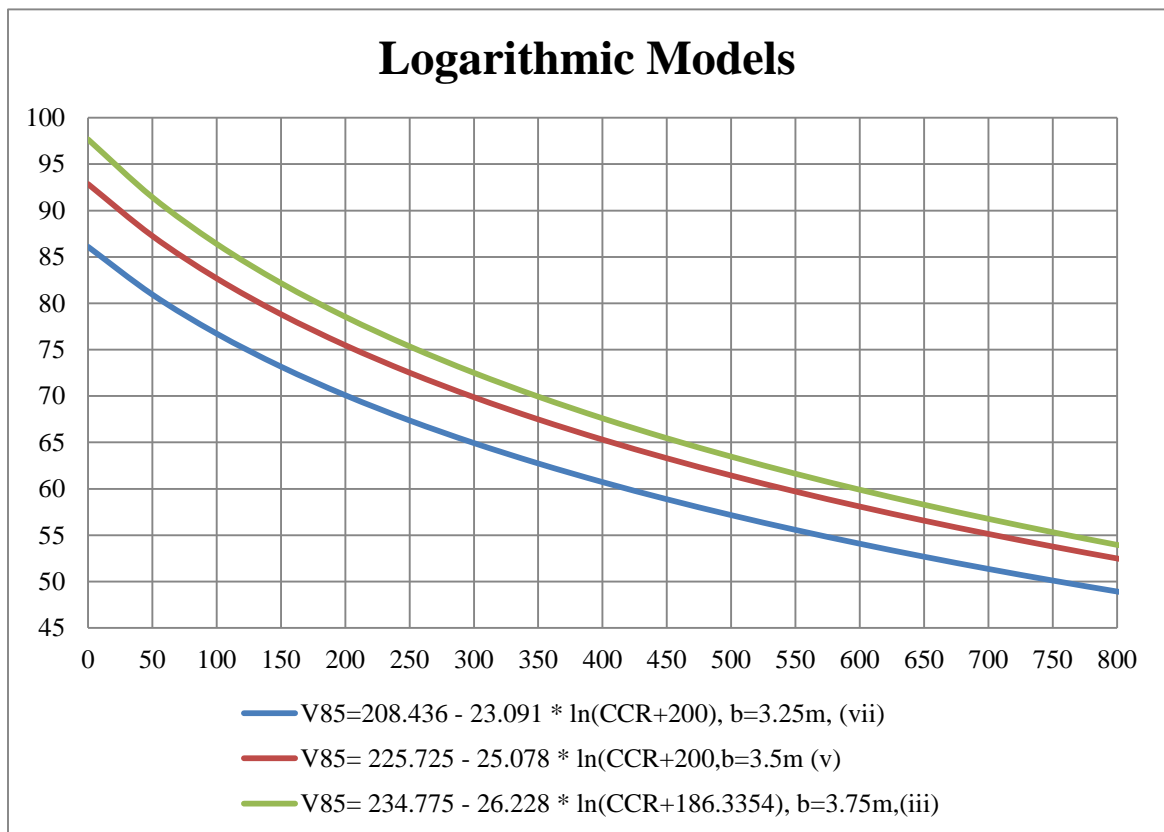
Μοντέλο παλινδρόμησης για λωρίδα πλάτους 3.25m

Τα καταλληλότερα μοντέλα παλινδρόμησης που επιλέχθηκαν για οδούς με πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας 3.25m είναι τα εξής:

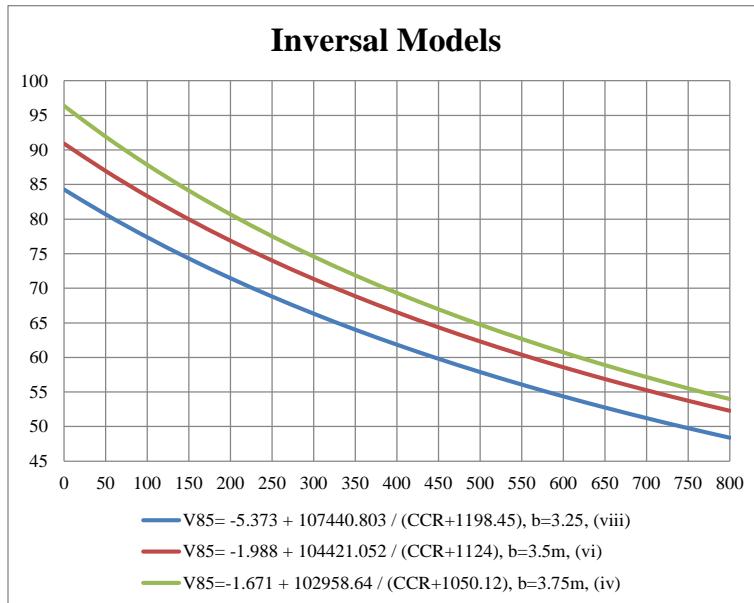
vii. $V_{85} = 208.436 - 23.091 * \ln(\text{CCR}+200)$, $R^2 = 0.961$

viii. $V_{85} = -5.373 + 107440.803 / (\text{CCR}+1198.45)$, $R^2 = 0.941$

Στο παρακάτω διάγραμμα παριστάνονται τα τρία διαγράμματα για τις εκάστοτε τιμές του πλάτους της λωρίδας



Σχήμα 11: Γραφική παράσταση των εξισώσεων (iii), (v), (vii)



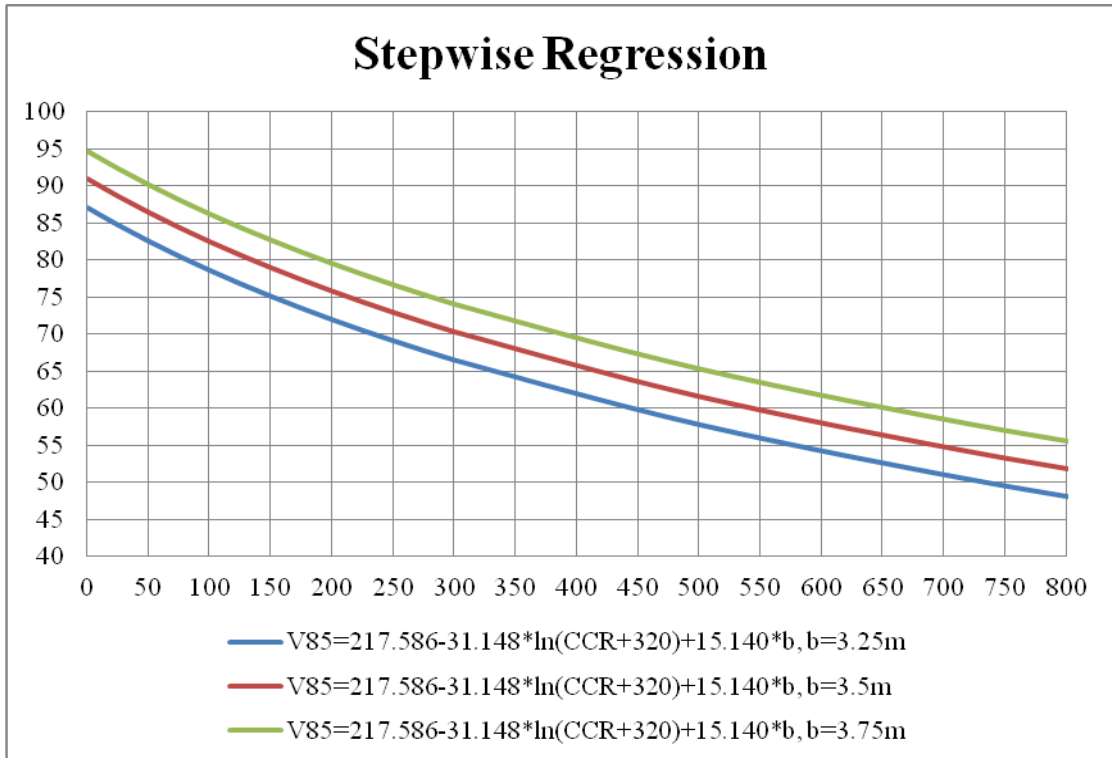
Σχήμα 12: Γραφική παράσταση των εξισώσεων (iv), (vi), (viii)

Παρατηρούμε από τα παραπάνω γραφήματα ότι οι γραφικές παραστάσεις των εξισώσεων (iii), (iv), (v), (vi) για πλάτη λωρίδας 3.50 και 3.75m εμφανίζονται κοντά η μία με την άλλη. Αυτό σημαίνει πως η αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα δεν διαφοροποιείται αισθητά για τα παραπάνω πλάτη λωρίδας και ενδεχομένως να πρέπει να διερευνηθεί ένα μοντέλο και για τα δύο πλάτη λωρίδας.

Μοντέλο για όλες τις λωρίδες με χρήση πολλαπλής παλινδρόμησης

Σε αυτή τη περίπτωση κάναμε πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση κατά βήματα, εισάγοντας όλες τις μεταβλητές ($\ln CCR$, CCR^2 , $1/CCR$, b), όπως περιγράψαμε παραπάνω στο εδάφιο 4.4.2 στο τέλος το μοντέλο που μας έδωσε η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση σε βήματα είναι το :

i. $V_{85} = 217.586 - 31.148 \cdot \ln(CCR+320) + 15.140 \cdot b$, $R^2 = 0.973$



Σχήμα 13: Γραφική παράσταση εξίσωσης (i)

Παρατηρούμε ότι το πλάτος διαφοροποιεί τη πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής και για αυτό το λόγο το πρόγραμμα το κρατάει στις παραμέτρους του μοντέλου. Πιθανόν η συμπεριφορά της παραμέτρου, να οφείλεται στο πολύ μικρό δείγμα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα και ιδιαίτερα στην έλλειψη σημείων πολύ μικρής ελικτότητας τα οποία όμως ούτως ή άλλως είναι πιο περιορισμένα στη χρήση τους λόγω της αρκετά καμπυλόγραμμης χάραξης που παρατηρείται στην Ελλάδα.

Για να ελεγχθεί περαιτέρω η υπόθεση αυτή, θα εξεταστούν οι εκτιμώμενες τιμές των μοντέλων που κατασκευάστηκαν ξεχωριστά για κάθε λωρίδα με τη χρήση των t- tests και για διάφορες κατηγορίες ελικτότητας. Από τη διεξαγωγή των t- tests για τις εκτιμώμενες τιμές των λειτουργικών ταχυτήτων από τα μοντέλα με εξισώσεις (iv), (vi), (viii) παρατηρούμε πως για τα διάφορα πλάτη λωρίδων, οι διαφορές στις ταχύτητες ως συνάρτηση της ελικτότητας κυμαίνονται ανάλογα με τις τιμές της τελευταίας και δεν είναι σταθερές κάτι που παρατηρήθηκε και στην έρευνα των Marchionna A., Perco P., 2007.

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	v85_3.25	74.6913	13	5.81398	1.61251
	V85_3.5	80.4210	13	6.33828	1.75792
Pair 2	v85_3.25	74.6913	13	5.81398	1.61251
	V85_3.75	84.6460	13	7.05331	1.95624
Pair 3	V85_3.5	80.4210	13	6.33828	1.75792
	V85_3.75	84.6460	13	7.05331	1.95624

Πίνακας 21: Σύγκριση Μοντέλων για τιμές ελκτότητας 0-300gon/km

Για τιμές ελκτότητας από 0-300 gon/km δεν εντοπίζεται σημαντική διαφορά στις προβλεπόμενες λειτουργικές ταχύτητες που αναμένονται στις οδούς με πλάτος λωρίδας 3.5 και 3.25m αλλά και στις οδούς με πλάτος λωρίδας 3.50 και 3.75m σε σχέση με τις διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ των οδών με πλάτος 3.25 και 3.75m.

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	v85_3.25	57.7103	16	4.41232	1.10308
	V85_3.5	62.1386	16	4.69169	1.17292
Pair 2	v85_3.25	57.7103	16	4.41232	1.10308
	V85_3.75	64.5792	16	5.07915	1.26979
Pair 3	V85_3.5	62.1386	16	4.69169	1.17292
	V85_3.75	64.5792	16	5.07915	1.26979

Πίνακας 22: Σύγκριση Μοντέλων για τιμές ελκτότητας 300-700gon/km

Για μεγαλύτερες τιμές ελκτότητας 300-700gon/km οι διαφορές που παρατηρούμε στις προβλεπόμενες τιμές της λειτουργικής ταχύτητας κατά τη νυκτερινή οδήγηση είναι μικρότερες γεγονός που πιθανόν υποδηλώνει τη σημαντικότητα της επίδρασης της ακτίνας και συσχετιζόμενων με αυτή παραγόντες όπως το μήκος ορατότητας και άρα η επίδραση του πλάτους της λωρίδας δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την επιλογή της ταχύτητας των οδηγών.

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	v85_3.25	34.2416	72	7.69843	.90727
	V85_3.5	37.6427	72	7.93093	.93467
Pair 2	v85_3.25	34.2416	72	7.69843	.90727
	V85_3.75	38.5793	72	8.30095	.97828
Pair 3	V85_3.5	37.6427	72	7.93093	.93467
	V85_3.75	38.5793	72	8.30095	.97828

Πίνακας 23: Σύγκριση Μοντέλων για τιμές ελκτότητας 700-2500gon/km

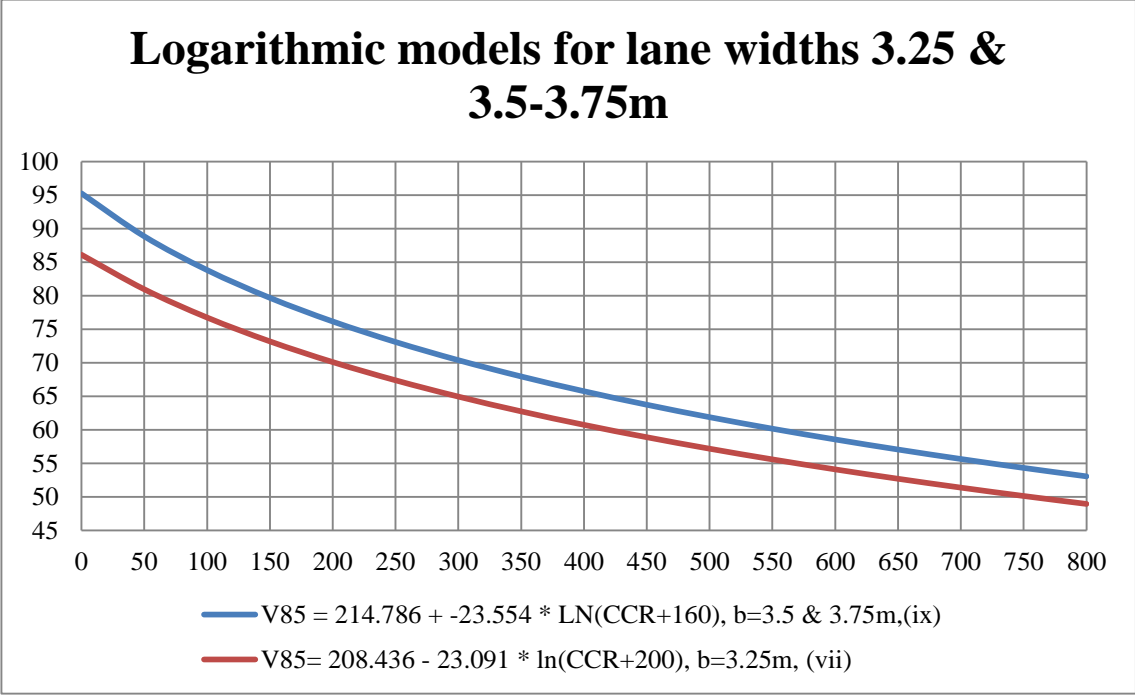
Για καμπύλες με μεγαλύτερη τιμή ελκτότητας 700-2500gon/km, οι διαφορές αυτές διογκώνονται ακόμα παραπάνω γεγονός που ίσως να επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι το πλάτος του οδοστρώματος επηρεάζει κατά πολύ τη ταχύτητα του μετακινούμενου κατά τη νυκτερινή οδήγηση.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, κρίνεται σκόπιμη η ανάπτυξη ενός μοντέλου η οποία θα περιλαμβάνει τη λειτουργική ταχύτητα ως συνάρτηση της ελκτότητας για δύο διαφορετικές κατηγορίες πλάτους λωρίδας. Η μία συνάρτηση θα εκτιμά την 85^η λειτουργική ταχύτητα στα οδικά τμήματα λωρίδας 3.25 m (εξίσωση xi) ενώ η δεύτερη συνάρτηση (εξίσωση xii) του μοντέλου θα εκτιμά τη λειτουργική ταχύτητα στις λωρίδες των 3.75 και 3.5m.

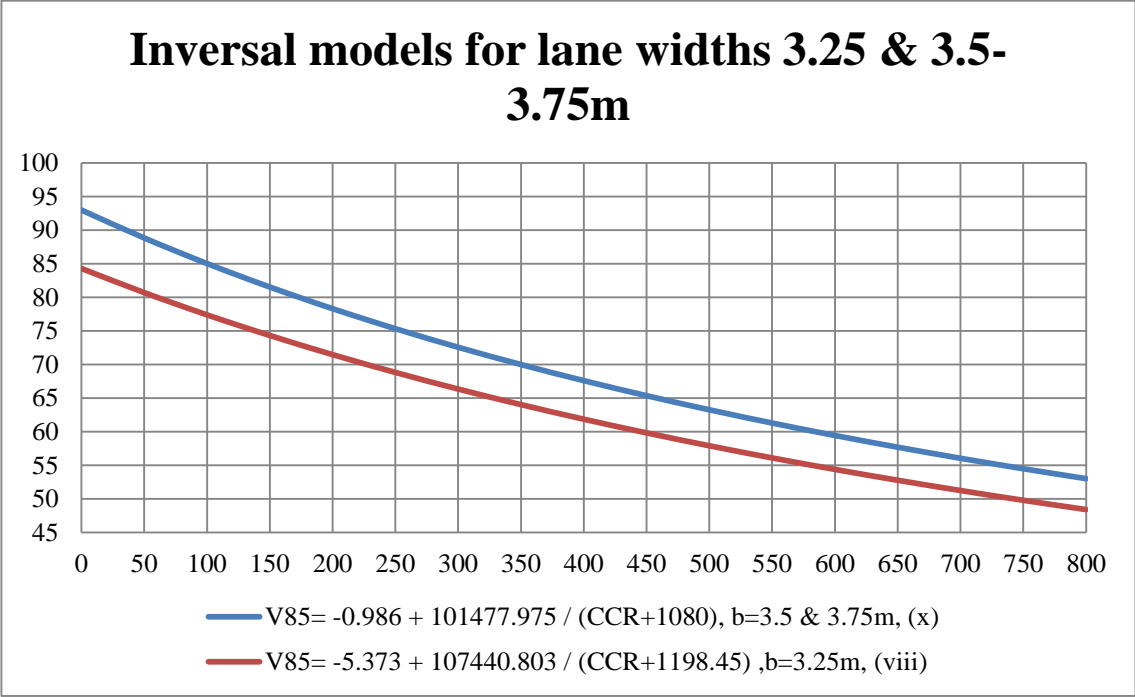
Μοντέλο παλινδρόμησης για λωρίδες 3.5- 3.75m

- ix. $V_{85} = 214.786 + -23.554 * \ln(\text{CCR}+160), R^2=0.967$
- x. $V_{85} = -0.986 + 101477.975 / (\text{CCR}+1080), R^2=0.964$

Έτσι λοιπόν, το μοντέλο ταχυτήτων που παρουσιάζεται και φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα εκτιμά τις λειτουργικές ταχύτητες ξεχωριστά για τις δύο κατηγορίες λωρίδων. Η πάνω καμπύλη εκφράζει τις λειτουργικές ταχύτητες που αναμένονται στη νυκτερινή οδήγηση συναρτήσει της ελκτότητας για πλάτος λωρίδας 3.75 και 3.50m ενώ η κάτω καμπύλη εκφράζει τις λειτουργικές ταχύτητες που αναμένονται κατά τη νυκτερινή οδήγηση σε οδικά τμήματα με πλάτος λωρίδας 3.25m.



Σχήμα 14: Γραφική παράσταση εξισώσεων (ix) και (vii)



Σχήμα 15: Γραφική Παράσταση των εξισώσεων (x) και (viii)

4.4.4.3 Δεύτερη Προσέγγιση

Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα των ταχυτήτων σε κάθε οδικό τμήμα χρησιμοποιήθηκαν ξεχωριστά για την κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας.

Μοντέλο παλινδρόμησης για λωρίδα 3.75m

Το καταλληλότερο μοντέλο που επιλέχθηκε για τις λωρίδες των 3.75m είναι το εξής:

$$\text{ix. } V_{85} = 202.873 + -21.841 * \ln(\text{CCR}+125), R^2 = 0.986$$

$$\text{x. } V_{85} = -0.859 + 100857.223 / (\text{CCR}+1046.75), R^2 = 0.975$$

Μοντέλο παλινδρόμησης για λωρίδα 3.50m

Το καταλληλότερο μοντέλο που επιλέχθηκε για οδούς με πλάτος λωρίδας 3.50m είναι το εξής:

$$\text{xi. } V_{85} = 227.167 + -25.269 * \ln(\text{CCR}+200), R^2 = 0.963$$

$$\text{xii. } V_{85} = -2.3088 + 105252.025 / (\text{CCR}+1124), R^2 = 0.967$$

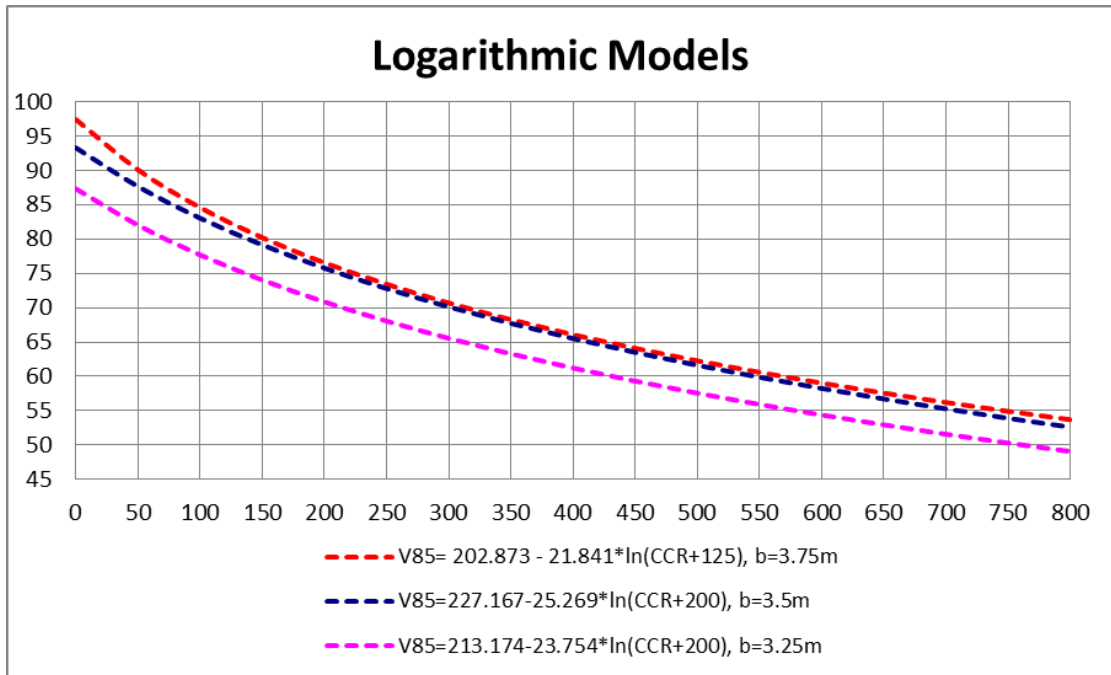
Μοντέλο παλινδρόμησης για λωρίδα 3.25m

Το καταλληλότερο μοντέλο που επιλέχθηκε για οδούς με πλάτος λωρίδας 3.25m

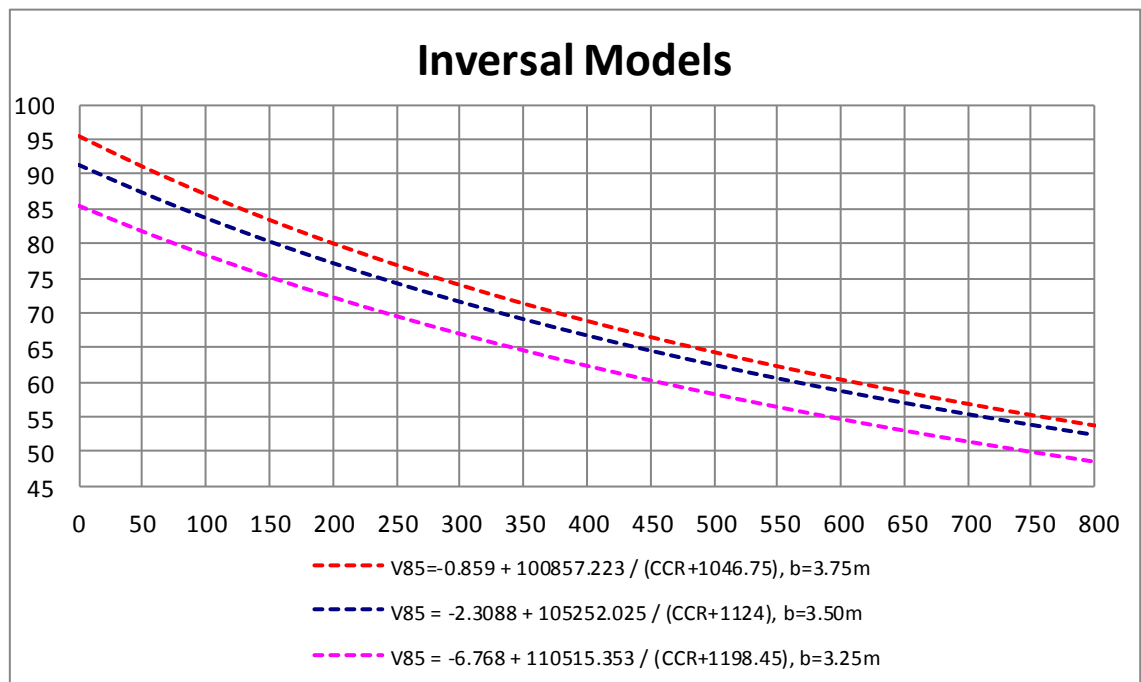
$$\text{xiii. } V_{85} = 213.174 + -23.754 * \ln(\text{CCR}+200), R^2 = 0.944$$

$$\text{xiv. } V_{85} = -6.768 + 110515.353 / (\text{CCR}+1198.45), R^2 = 0.924$$

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις των παραπάνω εξισώσεων.



Σχήμα 16: Γραφική παράσταση των εξισώσεων (ix), (xi), (xiii)



Σχήμα 17: Γραφική παράσταση των εξισώσεων (x), (xii), (xiv)

Από τα παραπάνω γραφήματα επιβεβαιώνεται η αρχική υπόθεση, ότι ένα μοντέλο και για τα δύο πλάτη λωρίδων 3.50 & 3.75 θα ήταν πιο αποτελεσματικό

από ότι αν παίρναμε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Αυτό φαίνεται στα σχήματα 11, 12, 16, 17 όπου είναι ξεκάθαρο πως οι διαφορές στις προβλεπόμενες λειτουργικές ταχύτητες είναι μέσα στα όρια του στατιστικού λάθους.

4.4.5 Συζήτηση των μοντέλων που αναπτύχθηκαν

Τύπος Παλινδρόμησης (τύπος συνάρτησης)	Προσέγγιση	Πλατός λωρίδας	Εξίσωση εκτίμησης V_{85} στις καμπύλες και ευθυγραμμίες της οριζοντιογραφίας κατά τη νυκτερινή οδήγηση	R^2	
Απλή (Λογαριθμική)	Πρώτη	3,75	$V_{85} = 208.436 - 23.091 * \ln(\text{CCR}+200)$	$R^2 = 0.961$	
		3,50	$V_{85} = 225.7254 - 25.078 * \ln(\text{CCR}+200)$	$R^2 = 0.963$	
		3,25	$V_{85} = 234.775 - 26.228 * \ln(\text{CCR}+186.335)$	$R^2 = 0.989$	
		3,50 & 3,75	$V_{85} = 214.786 + -23.554 * \ln(\text{CCR}+160)$	$R^2 = 0.967$	
	Δεύτερη	3,75	$V_{85} = 202.873 + -21.841 * \ln(\text{CCR}+125)$	$R^2 = 0.986$	
		3,50	$V_{85} = 227.167 + -25.269 * \ln(\text{CCR}+200)$	$R^2 = 0.963$	
		3,25	$V_{85} = 213.174 + -23.754 * \ln(\text{CCR}+200)$	$R^2 = 0.944$	
Απλή (Αντίστροφη)	Πρώτη	3,75	$V_{85} = -1.671 + 102958.64 / (\text{CCR}+1050.12)$	$R^2 = 0.978$	
			3,50	$V_{85} = -1.988 + 104421.052 / (\text{CCR}+1124)$	$R^2 = 0.966$
			3,25	$V_{85} = -5.373 + 107440.803 / (\text{CCR}+1198.45)$	$R^2 = 0.941$
			3, 5 & 3,75	$V_{85} = -0.986 + 101477.975 / (\text{CCR}+1080)$	$R^2 = 0.964$
	Δεύτερη	3,75	$V_{85} = -0.859 + 100857.223 / (\text{CCR}+1046.75)$	$R^2 = 0.975$	
		3,50	$V_{85} = -2.309 + 105252.025 / (\text{CCR}+1124)$	$R^2 = 0.967$	
		3,25	$V_{85} = -6.768 + 110515.353 / (\text{CCR}+1198.45)$	$R^2 = 0.924$	
Πολλαπλή	Stepwise	Όλα τα πλάτη	$V_{85} = 217.586 - 31.148 * \ln(\text{CCR}+320) + 15.140 * b$	$R^2 = 0.973$	
	Backward	Όλα τα πλάτη	$V_{85} = 171.93 + 4133.429 / (\text{CCR}+320) - 24.878 * \ln(\text{CCR}+320) + 14.494 * b$	$R^2 = 0.976$	

- Παρότι στην προκαταρκτική ανάλυση που διεξήχθη στο εδάφιο 4.3.2 φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων που εντοπίζονται στα δύο ρεύματα κυκλοφορίας τα πιο αξιόπιστα μοντέλα αυτά με μεγαλύτερο συντελεστή R^2 φαίνεται να είναι αυτά που προέρχονται από το συνδυασμό των δεδομένων των δύο κατευθύνσεων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η κύρια μεταβλητή που επηρεάζει την ταχύτητα (η ελικτότητα) είναι η ίδια, ανεξαρτήτως της κατεύθυνσης. Ακόμα, η αξιοπιστία της δεύτερης προσέγγισης όπου τα δύο ρεύματα εξετάζονται ξεχωριστά μπορεί να επηρεάζεται καθώς η κάθε τιμή της ελικτότητας είναι συνδεδεμένη με δύο διαφορετικές τιμές ταχυτήτων.
- Η σημαντικότητα του δείκτη F δείχνει όπως έχει προαναφερθεί ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ελικτότητας της μεμονωμένης καμπύλης.
- Σε όλα τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν οι συντελεστές παλινδρόμησης είναι στατιστικά διάφοροι του μηδενός.
- Σε όλες τις περιπτώσεις που προσεγγίστηκαν είτε αυτές περιελάμβαναν συνδυαστικά τα δεδομένα των ταχυτήτων είτε ξεχωριστά, είτε αφορούσαν όλα τα πλάτη των λωρίδων μαζί είτε ξεχωριστά, ο συντελεστής παλινδρόμησης και άρα η ικανότητα πρόβλεψης των μοντέλων δεν διέφερε πολύ για τις αντίστροφες και τις λογαριθμικές συναρτήσεις. *Παρατηρώντας τους αρκετά μεγάλους σταθερούς όρους που χρησιμοποιούνται στα λογαριθμικά μοντέλα, κρίνεται σκόπιμη η επιλογή των μοντέλων που εκφράζονται ως συνάρτηση του αντιστρόφου της ελικτότητας.*

4.4.6 Σύγκριση των παραγόμενων μοντέλων με τα υφιστάμενα μοντέλα στην Ελλάδα

Δεδομένου ότι οι μετρημένες λειτουργικές ταχύτητες αφορούν τη νυκτερινή οδήγηση κατά την οποία επικρατούν συνθήκες περιορισμένης ορατότητας, αναμένουμε κάποια διαφορά ανάμεσα στα παραγόμενα μοντέλα και στα υφιστάμενα.

Υφιστάμενα μοντέλα πρόβλεψης λειτουργικών ταχυτήτων για οδικά τμήματα ενιαίου οδοστρώματος στην Ελλάδα:

- xv. $V_{85} = \{10^6 / (10150.10 + 8.529 * CCR)\} + \{(b - 3.5) * 20\}$, για όλα τα πλάτη λωρίδων ΟΜΟΕ-Χ 2000 (i)
- xvi. $V_{85} = 128400.977 / (CCR + 1284.01)$, για πλάτη λωρίδας 3.25 & 3.50m Ξενάκης Ν. 2008 (ii)
- xvii. $V_{85} = 111222.738 / (CCR + 994.957)$, για πλάτη λωρίδας 3.75m Ξενάκης Ν. 2008 (iii)

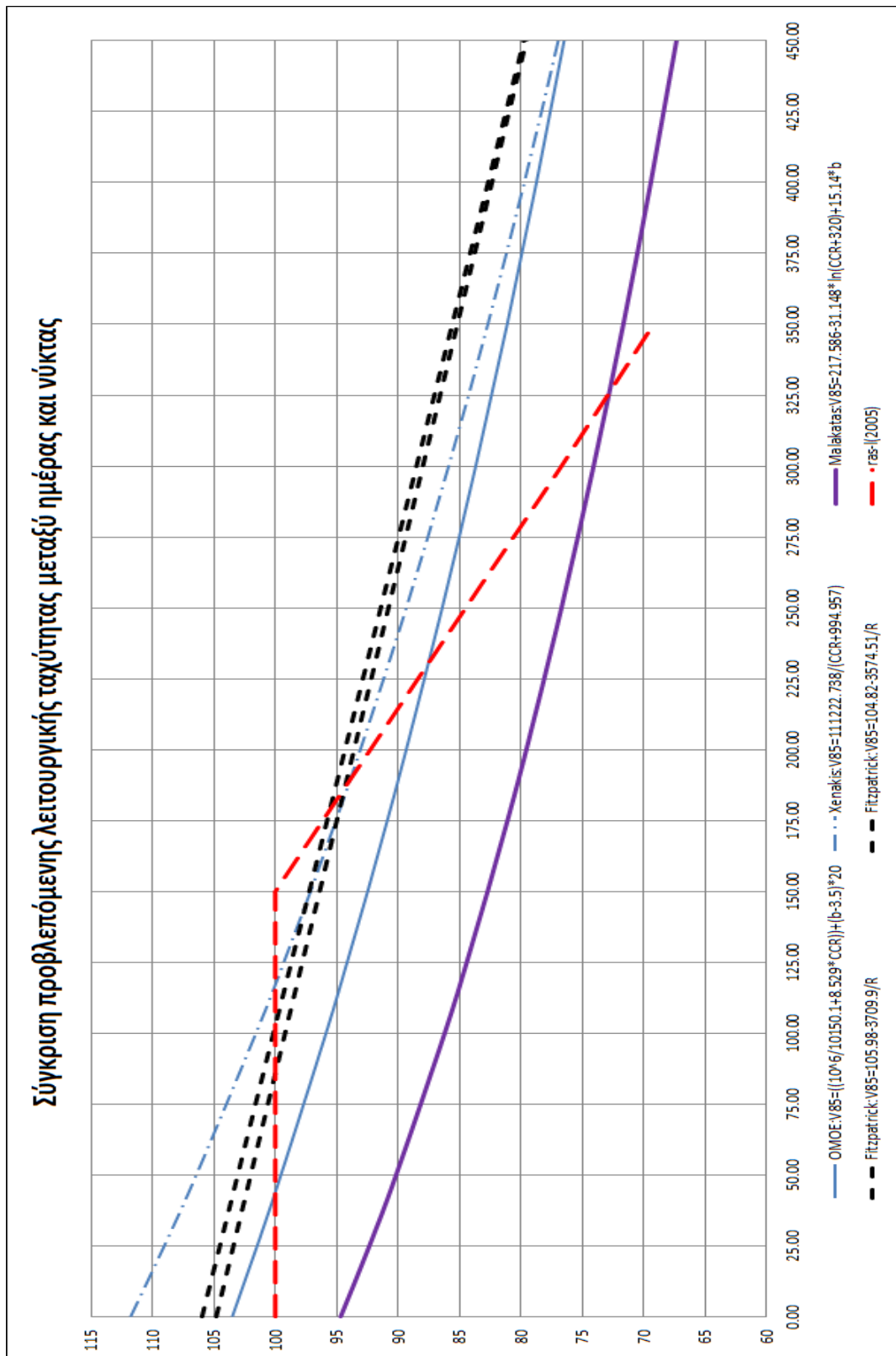
Υφιστάμενο μοντέλο πρόβλεψης λειτουργικών ταχυτήτων για οδικά τμήματα ενιαίου οδοστρώματος στη Γερμανία, RAS-L(2005).

Υφιστάμενο μοντέλο πρόβλεψης λειτουργικών ταχυτήτων για οδικά τμήματα ενιαίου οδοστρώματος στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής:

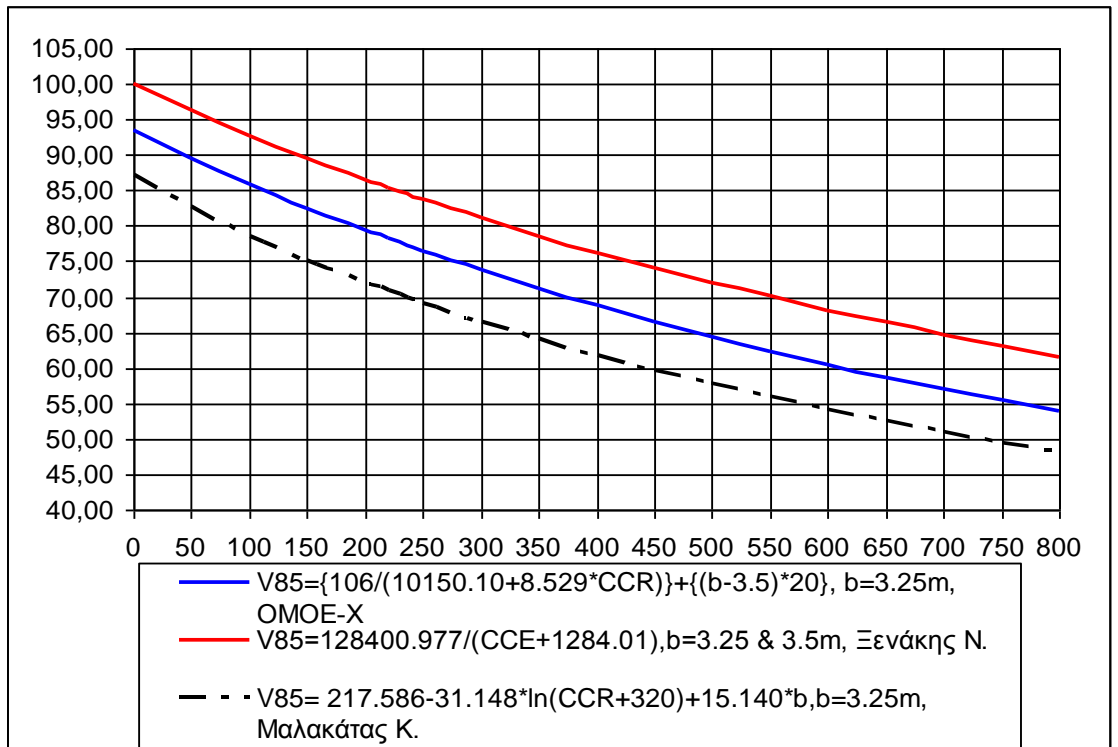
- xviii. $V_{85} = 104.82 - 3574.51/R$, για κατά μήκος κλίση $0\% < G < 4\%$, Fitzpatrick 2000
- xix. $V_{85} = 105.98 - 3709.90/R$, για κατά μήκος κλίση $-4\% < G < 0\%$, Fitzpatrick 2000

Το προτεινόμενο μοντέλο για πρόβλεψη λειτουργικών ταχυτήτων κατά τη νυκτερινή οδήγηση είναι :

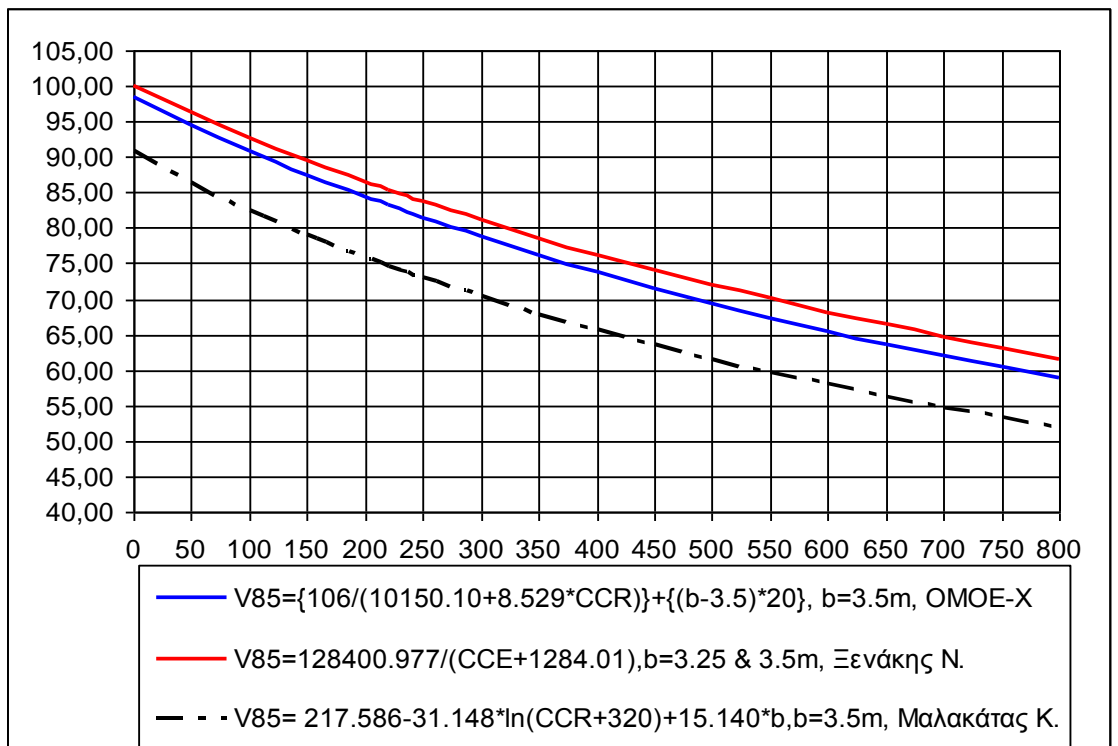
$$V_{85} = 217.586 - 31.148 * \ln(CCR + 320) + 15.140 * b, R^2 = 0.973 \text{ για όλα τα πλάτη λωρίδων (i)}$$



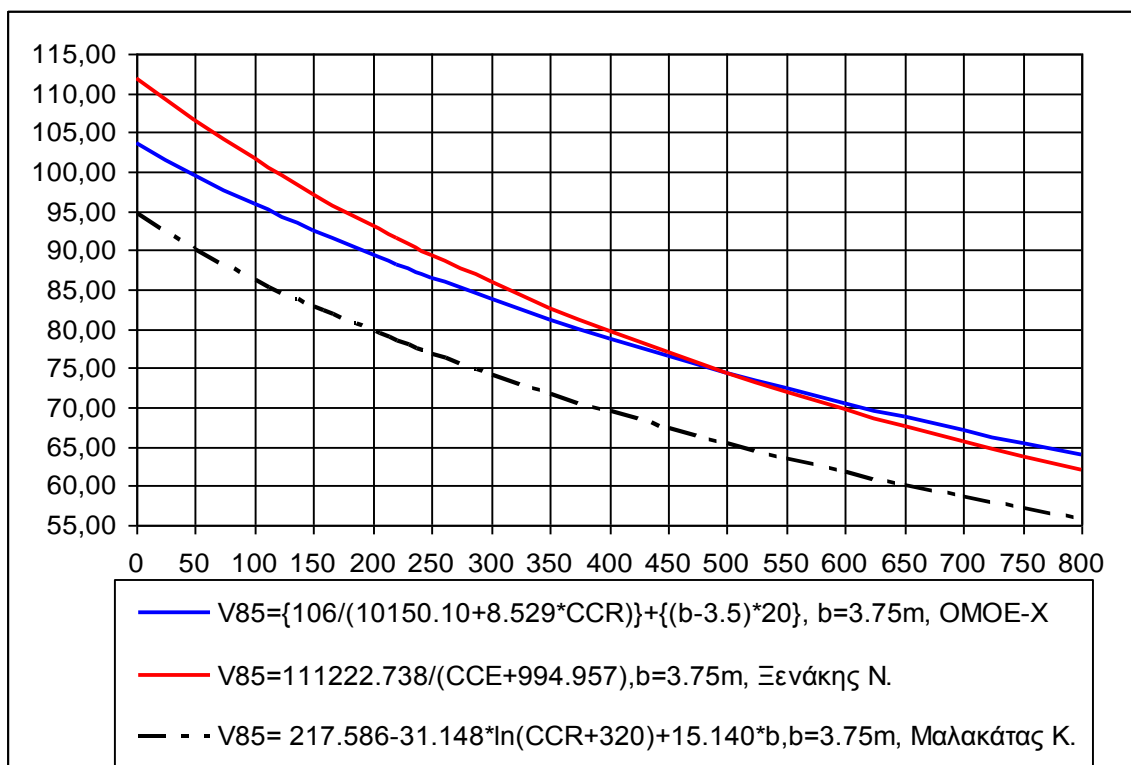
Σχήμα 18: Σύγκριση παραγόμενου μοντέλου με τα υφιστάμενα μοντέλα Ηνωμένων Πολιτειών, Γερμανίας και Ελλάδας για πλάτη λωρίδας $b \geq 3.50m$



Σχήμα 19: Σύγκριση παραγόμενων μοντέλων με υφιστάμενα στην Ελλάδα για πλάτος λωρίδας 3.25m



Σχήμα 20: Σύγκριση παραγόμενων μοντέλων με υφιστάμενα για πλάτος λωρίδας 3.50m

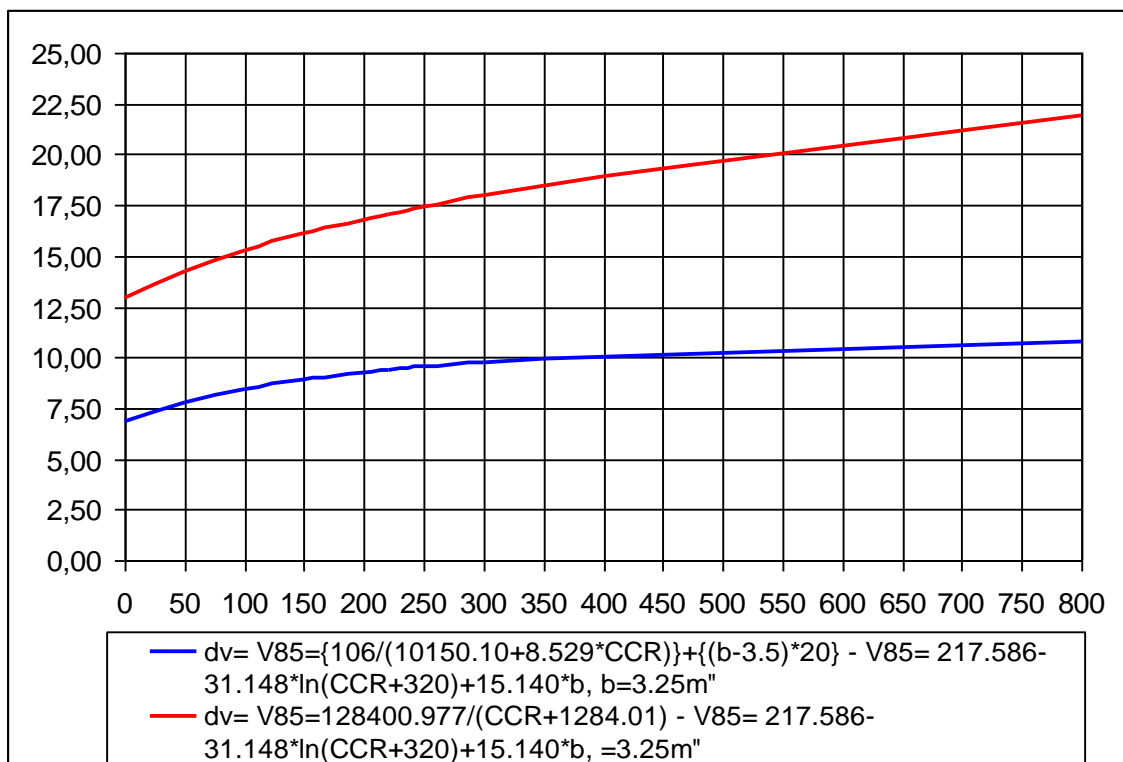


Σχήμα 21: Σύγκριση παραγόμενων μοντέλων με υφιστάμενα για πλάτος λωρίδας 3.75m

- Οι εξισώσεις πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας που αναπτύχθηκαν στη παρούσα έρευνα καταδεικνύουν ότι υπάρχει αντίστροφη σχέση μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ελικτότητας. Αντίστοιχης μορφής είναι η συνάρτηση που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα από τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (Ο.Μ.Ο.Ε.- Χ).
- Από τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα επιβεβαιώθηκαν οι υποψίες που είχαμε ότι κατά τη νυκτερινή οδήγηση οι οδηγοί επιλέγουν να κινηθούν με χαμηλότερες ταχύτητες, ειδικότερα στις πιο ανοιχτές καμπύλες, προφανώς εξαιτίας του μικρού διαθέσιμου μήκους ορατότητας κάτι το οποίο θα το διερευνήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.
- Σημαντικότερες διαφορές στις αναμενόμενες ταχύτητες κατά τη νυκτερινή οδήγηση σε σχέση με τα υφιστάμενα μοντέλα πρόβλεψης εμφανίζονται σε οδικά τμήματα μεγαλύτερου πλάτους (3.75 & 3.50m) το οποίο προφανώς οφείλεται στις υψηλότερες ταχύτητες που αναπτύσσουν οι οδηγοί σε φαρδύτερους δρόμους σε συνθήκες κανονικής ορατότητας.

Οι διαφορές στις λειτουργικές ταχύτητες που εκτιμώνται μεταξύ της μίας εξίσωσης πρόβλεψης που αναπτύξαμε για πλάτη λωρίδων (3.25, 3.50 & 3.75m) και τα υφιστάμενα μοντέλα στην Ελλάδα, καταδεικνύουν τις εξής διαφορές:

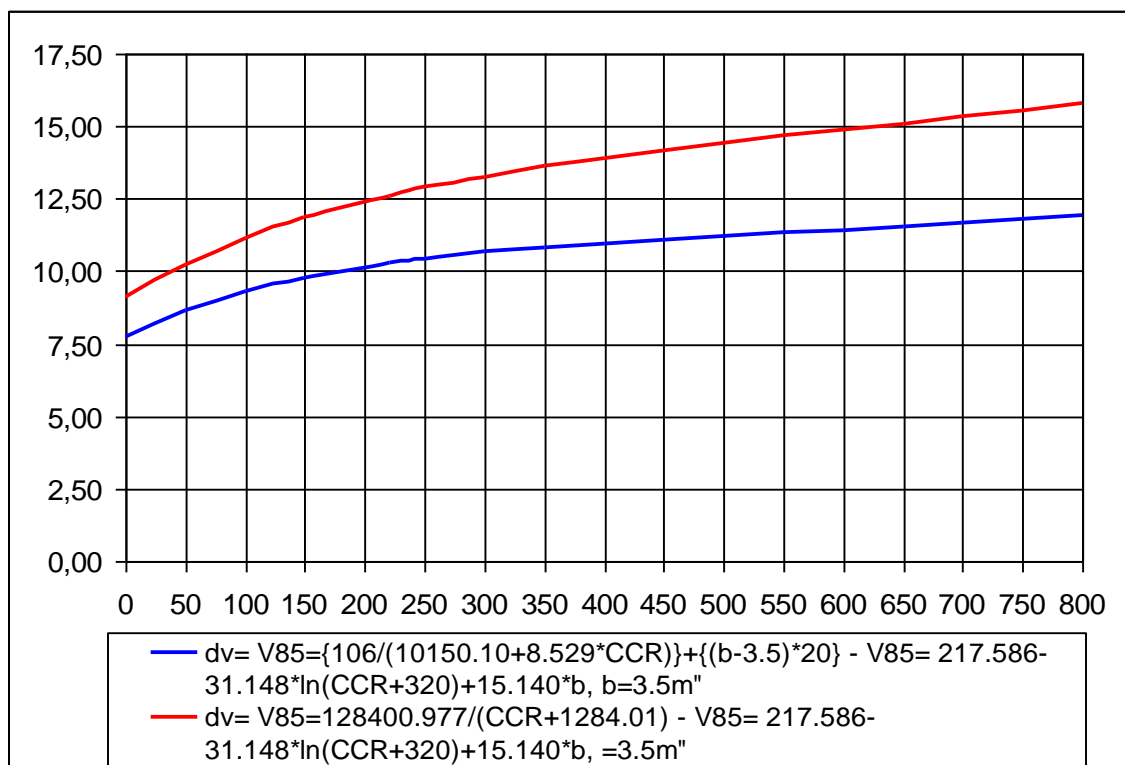
α



Σχήμα 22: Ποσοστιαίες διαφορές στην προβλεπόμενη V_{85} (νυχτερινή) μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και των υφιστάμενων μοντέλων στην Ελλάδα σε σχέση με την ελικτικότητα για οδικά τμήματα πλάτους λωρίδας 3.25m

Βλέποντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε πως η διαφορά των προβλεπόμενων ταχυτήτων από την εξίσωση (i) σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο πρόβλεψης των ΟΜΟΕ (xv), μας δίνει διαφορές από 9.88-10.67% με αυξανόμενη τάση όσο αυξάνεται η τιμή της ελικτικότητας.

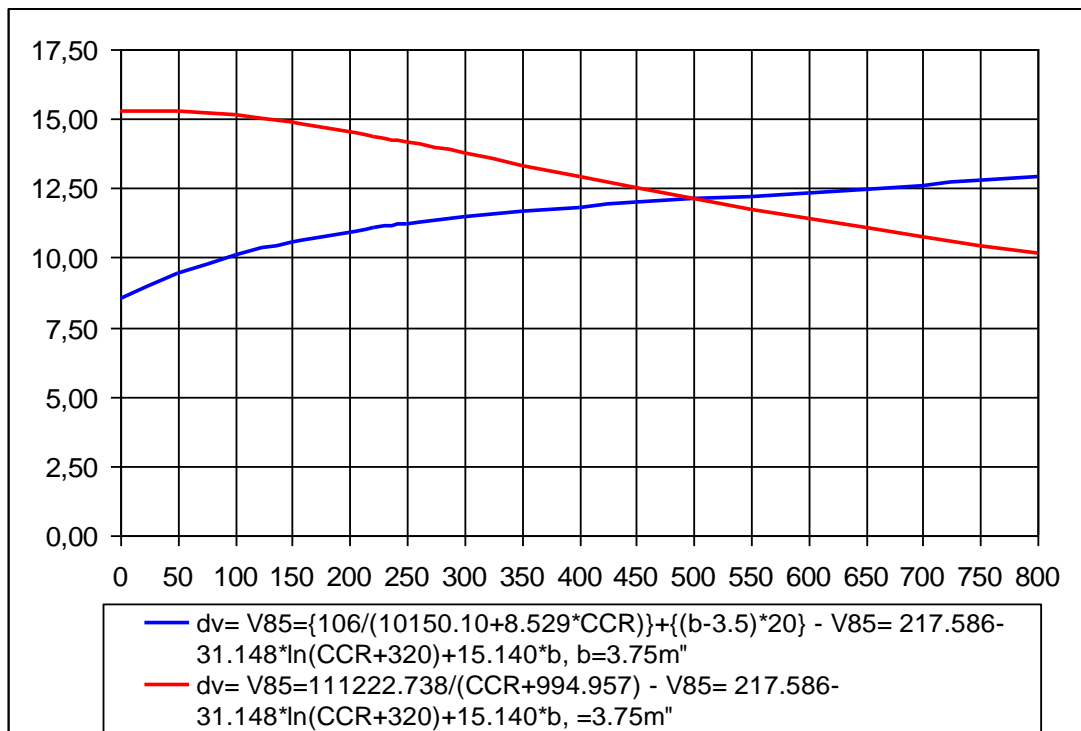
Οι προβλεπόμενες εξισώσεις σε σχέση με την εξίσωση (xvi) (Ξενάκης Ν. 2008) μας δίνουν διαφορές για την εξίσωση (i) τιμών από 12.88-22.5% πάλι με αυξητική τάση όσο μεγαλώνει η τιμή της ελικτικότητας.



Σχήμα 23: Ποσοστιαίες διαφορές στην προβλεπόμενη V_{85} (νυχτερινή) μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και των υφιστάμενων μοντέλων στην Ελλάδα σε σχέση με την ελκτικότητα για οδικά τμήματα πλάτους λωρίδας 3. 50m

Βλέποντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε πως η διαφορά των προβλεπόμενων ταχυτήτων από την εξίσωση (i) σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο πρόβλεψης των ΟΜΟΕ (xv), μας δίνει διαφορές από 7.73-14.9% πάλι με αυξητικές τάσεις όσο αυξάνεται η τιμή της ελκτικότητας.

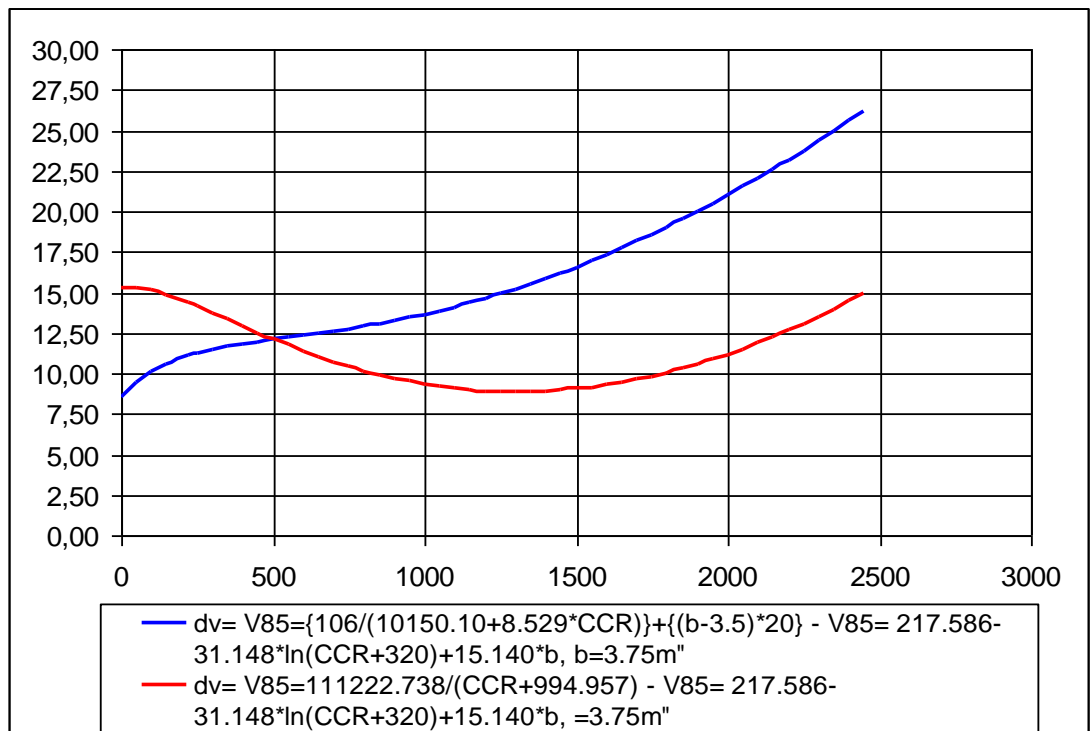
Οι προβλεπόμενες εξισώσεις σε σχέση με την εξίσωση (xvi) (Ξενάκης Ν. 2008) μας δίνουν διαφορές για την εξίσωση (i) τιμών από 9.1-15.7% πάλι με αυξητικές τάσεις όσο μεγαλώνει η τιμή της ελκτικότητας.



Σχήμα 24: Ποσοστιαίες διαφορές στην προβλεπόμενη V_{85} (νυχτερινή) μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και των υφιστάμενων μοντέλων στην Ελλάδα σε σχέση με την ελικτότητα για οδικά τμήματα πλάτους λωρίδας 3.75m

Βλέποντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε πως η διαφορά των προβλεπόμενων ταχυτήτων από την εξίσωση (i) σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο πρόβλεψης των ΟΜΟΕ (xv), μας δίνει διαφορές από 7.73-12.6% πάλι με αυξητικές τάσεις όσο αυξάνεται η τιμή της ελικτότητας.

Οι προβλεπόμενες εξισώσεις σε σχέση με την εξίσωση (xvii) (Ξενάκης Ν. 2008) μας δίνουν διαφορές για την εξίσωση (i) τιμών από 10-15% με μόνη τη διαφορά ότι όσο αυξάνεται η ελικτότητα οι διαφορές σταθεροποιούνται σε μια διαφορά της τάξης του 10%.



Σχήμα 25: Εκτενής σύγκριση προτεινόμενου μοντέλου με υφιστάμενα μοντέλα πρόβλεψης λειτουργικής ταχύτητας

Βλέπουμε πως οι αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες μεταξύ των δύο υφιστάμενων μοντέλων διαφέρουν, με αποτέλεσμα να έχουμε και διαφορετικές αναμενόμενες διαφορές ανάμεσα στη νύχτα και την ημέρα.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε πως οι διαφορές ανάμεσα στην αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα κατά τη νυκτερινή οδήγηση και την αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα της ημέρας αυξάνονται όσο αυξάνεται η ελικτότητα.

5 ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ

5.1 Στοιχεία ορατότητας

Στους νέους κανονισμούς είναι υποχρεωτικός ο έλεγχος του διατιθέμενου μήκους ορατότητας για στάση και προσπέραση. Το μήκος ορατότητας ορίζεται από το τμήμα της οδού που εκτίθεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού σε κάθε χρονική στιγμή. Όσο μικρότερο είναι το μήκος τόσο λιγότερη οπτική πληροφορία είναι διαθέσιμη για αξιολόγηση, με αποτέλεσμα ένας οδηγός να χρειάζεται πιο συχνά να ανανεώνει τις προβλέψεις του. Όταν το μήκος ορατότητας περιορίζεται, η σημασία της εμπειρίας του οδηγού με την οδό αυξάνεται. Η εμπειρία με την οδό είναι μία συνάρτηση: του αριθμού διελεύσεων του οδηγού από ένα συγκεκριμένο τμήμα της οδού, της ομοιότητας της οδού με άλλες τις οποίες αυτός έχει εμπειρία και της ακρίβειας των προβλέψεων που πρόσφατα έχει κάνει για την οδό στην οποία κινείται. Συνολικά, αυτή η εμπειρία αναφέρεται ως προσδοκία οδηγού (driver's expectancy). Ένας οδηγός προσδοκά ότι η πορεία και η γεωμετρία της οδού θα έχει ομοιογένεια και ότι είναι προβλέψιμη ακόμη και όταν το μήκος ορατότητας περιορίζεται. Η ομοιογένεια της γεωμετρίας της οδού επιτρέπει στον οδηγό να προβλέπει με ακρίβεια τη σωστή πορεία, ενώ παράλληλα να αφιερώνει την ικανότητα του σε επεξεργασία μόνο μικρού όγκου οπτικής πληροφορίας. Δηλαδή η ομοιογένεια στη γεωμετρία της οδού επιτρέπει στην προσοχή και στην ικανότητα του οδηγού να αφιερώνεται περισσότερο στην αποφυγή απροσδόκητων εμποδίων και στην οδήγηση. Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ – Γ.Γ.Δ.Ε (2003), «Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) – Τεύχος 3: Χαράξεις», Αθήνα.

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση είναι καθοριστικής σημασίας για το επίπεδο ασφάλειας μιας οδού. Περιορισμός του μήκους ορατότητας για στάση οφείλεται σε διάφορα στοιχεία της γεωμετρίας της οδού όπως:

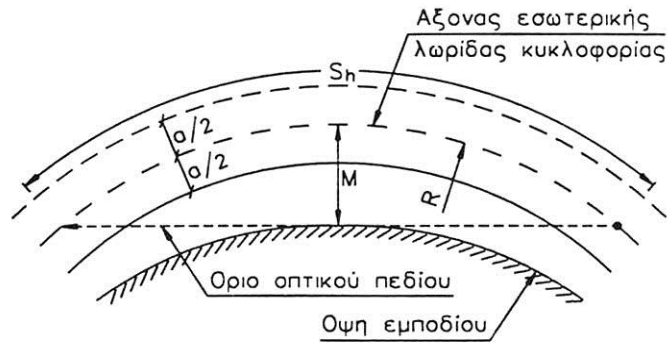
- Στις κυρτές κατακόρυφες καμπύλες, οπότε και απαιτείται εφαρμογή μεγαλύτερων ακτινών.
- Στην εσωτερική πλευρά οριζόντιων καμπύλων είτε σε θέσεις ορυγμάτων οπότε και απαιτείται πρόσθετη εκσκαφή, είτε σε θέσεις επιχωμάτων κυρίως λόγω της τοποθέτησης στηθαίων ασφαλείας.

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση εξαρτάται από τις ταχύτητες που αναπτύσσονται. Είναι συνάρτηση της λειτουργικής ταχύτητας, της κατά μήκος κλίση και της ποιότητας του οδοστρώματος (ΟΜΟΕ-Χ).

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση S_d είναι το μήκος που χρειάζεται ένας οδηγός κινούμενος με την ταχύτητα V_{85} , για να ακινητοποιήσει το όχημα του πριν από ένα απροσδόκητο εμπόδιο στο οδόστρωμα. Το μήκος ορατότητας για στάση είναι το άθροισμα του μήκους που διανύει το όχημα κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίληψης, του χρόνου αντίδρασης και του μήκους πέδησης.

Σε όλο το μήκος των οδών πρέπει να διατίθεται κατ' ελάχιστο το μήκος ορατότητας στάσης που ορίζεται από την ταχύτητα V_{85} .

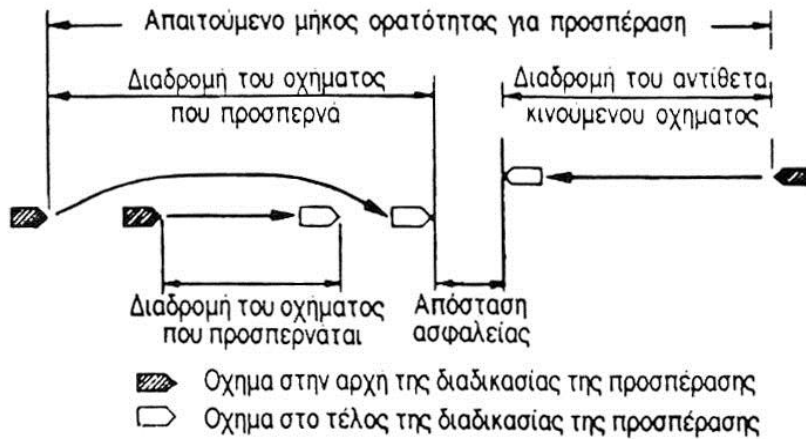
Όταν συνεχώς το πεδίο ορατότητας του οδηγού περιορίζεται στις ελάχιστες τιμές της ορατότητας στάσης, τότε ο οδηγός βρίσκεται σε διαρκή ένταση που προκαλεί κόπωση. Γι' αυτό το λόγο επιβάλλεται να εξασφαλίζονται συνολικά στο 70% της οδού μήκη ορατότητας κατά 1,3 φορές μεγαλύτερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα. Επίσης συνιστάται οι ελάχιστες τιμές να μην χρησιμοποιούνται σε περιοχές κόμβων. Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ – Γ.Γ.Δ.Ε (2003), «Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) – Τεύχος 2: Διατομές, Τεύχος 3: Χαράξεις», Αθήνα.



Σχήμα 26: Στοιχεία Ελέγχου ορατότητας από τον πλευρικό ελεύθερο οπτικών εμποδίων χώρο (ΟΜΟΕ-Χ)

Στην περίπτωση που το απαιτούμενο μήκος ορατότητας είναι μεγαλύτερο από το διατιθέμενο σε όλο το μήκος της οδού, επιβάλλονται διορθωτικά μέτρα. Τέτοια μπορεί να είναι η διαπλάτυνση του ορύγματος στο εσωτερικό της καμπύλης για την αύξηση του διατιθέμενου μήκους ορατότητας ή επιβολή χαμηλότερων ορίων ταχύτητας.

Εκτός του μήκους ορατότητας για στάση, η ύπαρξη επαρκούς μήκους ορατότητας για προσπέραση, προσφέρει ασφαλείς συνθήκες για τους ελιγμούς προσπέρασης σε οδούς ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας κατηγορίας Α. Το μήκος ορατότητας για προσπέραση S_u είναι το μήκος, που απαιτείται για την ασφαλή διαδικασία προσπέρασης εμποδίου ή βραδυπορούντος οχήματος και είναι συνάρτηση της λειτουργικής ταχύτητας V_{85} . Συνίσταται δε από το μήκος που διανύει το όχημα κατά τη διαδικασία της προσπέρασης, το μήκος που διανύει στο ίδιο χρονικό διάστημα το αντίθετα κινούμενο όχημα, και την απόσταση ασφαλείας μεταξύ των δύο αντίθετα κινουμένων οχημάτων στο τέλος της διαδικασίας της προσπέρασης (βλ. Σχήμα 27).



Σχήμα 27: Απεικόνιση τυπικής διαδικασίας προσπέρασης προπορευόμενου οχήματος (ΟΜΟΕ-Χ)

Σε οδούς των κατηγοριών Α και Β με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας πρέπει να διατίθενται συνθήκες ορατότητας για προσπέραση συνολικά τουλάχιστον 20-25% του μήκους της οδού με ομοιόμορφη κατανομή των τμημάτων αυτών στο μήκος της οδού.

Στα οδικά τμήματα που δεν διαθέτουν επαρκές μήκος ορατότητας για προσπέραση, η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των δύο κατευθύνσεων πρέπει να διαμορφώνεται με διπλή διαχωριστική γραμμή. Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ – Γ.Γ.Δ.Ε (2003), «Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) – Τεύχος 2: Διατομές, Τεύχος 3: Χαράξεις», Αθήνα.

5.1.1 Επίδραση της κατά μήκος κλίσης στην ορατότητα

Σε όλες τις οδούς, τα κεκλιμένα τμήματα διασχίζονται από οχήματα που κινούνται και στις δύο διευθύνσεις. Έτσι λοιπόν η απόσταση ορατότητας είναι διαφορετική για κάθε διεύθυνση, ειδικότερα σε ευθυγραμμίες με επικλινές έδαφος. Κατά κανόνα, η απόσταση ορατότητας για στάση είναι μεγαλύτερη στις κατηφόρες, από αυτή στις αντίστοιχες ανηφόρες. Η απόσταση που απαιτείται για στάση υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

- $S_d = S_1 + S_2$
- $S_1 = \left(\frac{V_{85}}{3,6}\right) * t_r$
- $S_2 = \frac{\left(\frac{V_{85}}{3,6}\right)^2}{\{2 * (d + g * s)\}}$

Όπου S_d (m): το μήκος ορατότητας για στάση

S_1 (m): διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίληψης

S_2 (m) : μήκος πέδησης

V_{85} (km/h) : λειτουργική ταχύτητα 85%

t_r (sec) : χρόνος αντίληψης – αντίδρασης (λαμβάνεται 2 sec)

g (m/sec²) = επιτάχυνση της βαρύτητας

d (m/sec²) = συντελεστής εξαρτώμενος από την ταχύτητα (η τιμή που λαμβάνεται από το παρακάτω πίνακα)

s (m/m) = κατά μήκος κλίση (θετική + : ανωφέρεια, αρνητική - : κατωφέρεια)

V_{85}	Km/h	50	60	70	80	90	100	110	120	130
d	m/s ²	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,3	3,1	3,0

Πίνακας 24: Συντελεστής d υπολογισμού του μήκους ορατότητας στάσης S_h (ΟΜΟΕ-Χ,σελ. 65)

Ο έλεγχος για την απαιτούμενη απόσταση τροχοπέδης γίνεται κατά κανόνα σε βρεγμένο οδόστρωμα. Οι αντίστοιχες τιμές στο στεγνό είναι τριπλάσιες των ανωτέρω.

Όσον αφορά, την επίδραση της κατά μήκος κλίσης στην ορατότητα για προσπέραση ισχύουν τα παρακάτω. Σημαντικές κατά μήκος κλίσεις, αυξάνουν την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για ασφαλές προσπέρασμα. Το προσπέρασμα είναι πιο εύκολο για όχημα που κινείται σε κατωφέρεια, καθώς το προσπερνούν όχημα μπορεί να αναπτύξει ευκολότερα ταχύτητα συγκριτικά με συνθήκες οριζώντιου επιπέδου.

Οι απαιτούμενες αποστάσεις ορατότητας για ασφαλές προσπέρασμα για οχήματα που κινούνται σε ανωφέρεια είναι μεγαλύτερες, σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, εξαιτίας της μειωμένης επιτάχυνσης του προσπερνούν οχήματος, το οποίο αυξάνει το χρόνο προσπεράσματος. Επίσης η πιθανότητα αύξησης της ταχύτητας του αντιθέτως κινούμενου οχήματος λόγω της κίνησης του σε κατωφέρεια έχει ως συνέπεια η διανυθείσα απόσταση να είναι μεγαλύτερη.

Κατά κανόνα, η απόσταση προσπεράσματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη του εκάστοτε ελάχιστου.

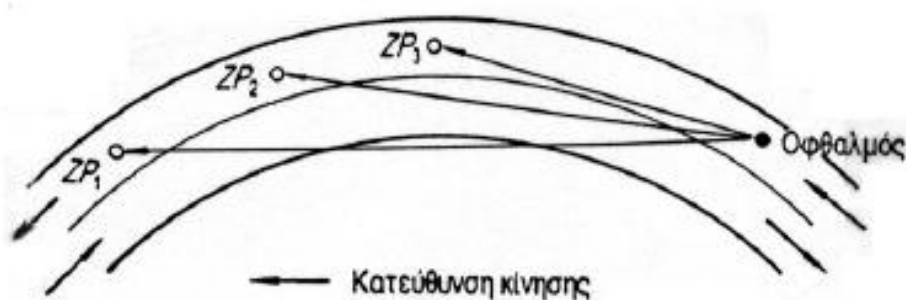
5.2 Προσδιορισμός υφιστάμενων μηκών ορατότητας

Τα υφιστάμενα μήκη ορατότητας για στάση, συνάντηση και προσπέραση υπολογίζονται σε σχέση με την οριζοντιογραφία, την μηκοτομή, την διατομή και τον περιβάλλοντα χώρο της οδού.

Επειδή η ικανότητα παρατήρησης του ανθρώπινου οφθαλμού είναι περιορισμένη, τα εμπόδια πάνω στη οδό πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο μέγεθος, προκειμένου να είναι αντιληπτά και κατανοητά από απόσταση ίση με το μήκος ορατότητας για στάση. Αυτό το ελάχιστο μέγεθος του εμποδίου εξαρτάται από την απόδοση της ανθρώπινης όρασης, τα οπτικά χαρακτηριστικά του εμποδίου και του οδοστρώματος, καθώς επίσης και από τις συνθήκες φωτισμού και τις καιρικές συνθήκες. Τα εμπόδια που είναι αρκετά μεγάλα, ώστε να μην είναι δυνατή η διέλευση των οχημάτων πάνω από αυτά, εν τούτοις είναι δυνατόν να είναι πολύ μικρά, για να αναγνωρίζονται έγκαιρα από τους οδηγούς που κινούνται με τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} . Για αυτό το λόγο ορίζεται ως ύψος εμποδίου το ύψος που προκύπτει με σταθερή οπτική γωνία 5' (πρώτα λεπτά της μοίρας) για την ταχύτητα V_{85} (βλ. Πίνακα 25) Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ – Γ.Γ.Δ.Ε (2003), «Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) – Τεύχος 2: Διατομές, Τεύχος 3: Χαράξεις», Αθήνα.

Για τον προσδιορισμό των υφιστάμενων μηκών ορατότητας, ισχύουν οι κανόνες:

- ✓ Ο προσδιορισμός γίνεται σε σχέση με τον οδικό χώρο. Επιπλέον κατά τον προσδιορισμό του μήκους ορατότητας λαμβάνονται υπόψη όλα τα αντικείμενα που υπεισέρχονται στον οδικό και στον παρόδιο χώρο, (όπως πινακίδες κλπ.) καθώς και οι υφιστάμενες φυτεύσεις.
- ✓ Ο προσδιορισμός γίνεται για κάθε τύπο μήκους ορατότητας και πάντοτε χωριστά για κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας.
- ✓ Ο προσδιορισμός των μηκών ορατότητας βασίζεται στα δεδομένα του Σχήματος 28 και στις τιμές του Πίνακα 25.
- ✓ Οι θέσεις του οφθαλμού και του εμποδίου αναπαριστούνται στο σχήμα 28 για το μήκος ορατότητας για στάση.



Σχήμα 28: Δυνατή πορεία των οπτικών ακτίνων από τον οφθαλμό του οδηγού σε εμπόδιο για τον προσδιορισμό του μήκους ορατότητας για στάση (ΟΜΟΕ-Χ)

Στην παρούσα μελέτη κρίνεται σκόπιμος και ο έλεγχος της ανακλαστικότητας και της φωτεινότητας του εμποδίου μιας και κάνουμε έλεγχο κατά τη νυκτερινή οδήγηση. Έτσι λοιπόν θα θεωρήσουμε πως το εμπόδιο μας έχει ανακλαστική επιφάνεια (όπως για παράδειγμα, είναι το προειδοποιητικό τρίγωνο, με το οποίο είναι προμηθευμένα όλα τα αυτοκίνητα) και έτσι λοιπόν αναγνωρίζεται σχετικά εύκολα από μακρινή απόσταση όταν πέσει πάνω της η φωτεινή δέσμη των φανών του οχήματος. Από μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε κατά τη νύκτα, κάνοντας χρήση 3 μέσων οχημάτων, καταλήξαμε πως η αναγνώριση του εμποδίου κατά τη νύκτα σε διάφορους τύπους οδοστρωμάτων γίνεται σε μέγιστη απόσταση 160m.

Τύπος ορατότητας	Οφθαλμός		Θέση εμποδίου	V ₈₅ (km/h)	Ύψος εμποδίου
	Θέση	Ύψος h _A [m]			
1	2	3	4	5	6
Ορατότητα για στάση	στον άξονα της δικής του λωρίδας κυκλοφορίας	1,06	στον άξονα της δικής του λωρίδας κυκλοφορίας	40	0,05
				50	0,07
				60	0,10
				70	0,13
				80	0,16
				90	0,20
				100	0,25
			110	0,30	

Πίνακας 25: Πίνακας για την εκλογή ύψους εμποδίων

5.3 Διαθέσιμο μήκος ορατότητας κατά τη νυκτερινή οδήγηση

Η ευαισθησία του οδηγού στο φωτισμό είναι παράγοντας μεγάλης σημασίας για την οδική ασφάλεια.

Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων για την αποτελεσματικότερη αντίληψη του οδηγού, απαιτείται η αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων μέσων για να διασφαλιστεί ότι ο οδηγός διατηρεί την ικανότητα να αναγνωρίζει και να αντιλαμβάνεται όλα τα οπτικά σήματα που παράγονται κατά την κίνηση στην οδό.

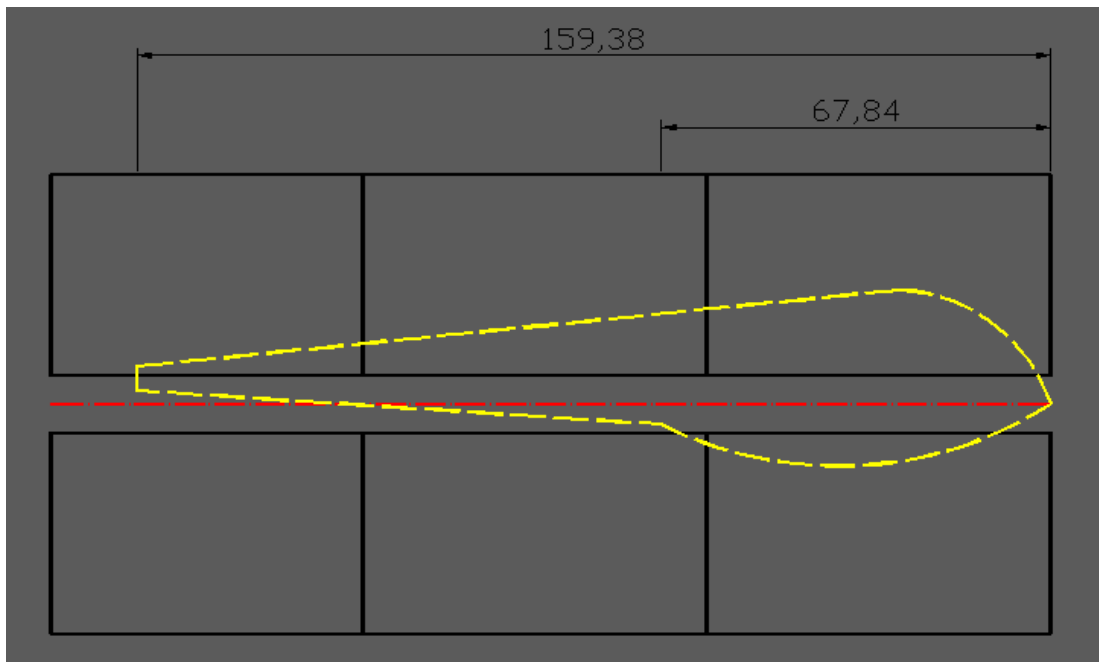
Το σύστημα φωτισμού βελτιώνει την αντίληψη του οδηγού κατά την οδήγηση με περιορισμένη ορατότητα, όπως τη νύχτα, με ομίχλη μέσα σε μια σήραγγα κλπ. Ακόμα και σε περιπτώσεις όπου η επιφάνεια της οδού είναι στεγνή και η οδός ελαφρώς φωτισμένη, απορροφάται περί του 70% της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, αφήνοντας μόνο το 30% της φωτεινής δέσμης για το φωτισμό της οδού. Σε περίπτωση βρεγμένου οδοστρώματος, το οδόστρωμα απορροφά περί του 85% της δέσμης που κατευθύνεται σε αυτό. Υπό αυτές τις συνθήκες η αποτελεσματικότητα φωτισμού μπορεί να βελτιωθεί, κάνοντας χρήση φωτιστικού εξοπλισμού, όπως είναι οι προβολείς ομίχλης και η μεγάλη σκάλα των φανών.

Η «φωτεινότητα» των φανών μπορεί να διαφέρει. Ακόμα και για ίδιας κατηγορίας φανών, η απόδοση διαφέρει μιας και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φωτιζόμενη επιφάνεια και τις ανακλαστικές της ιδιότητες. Η μονάδα για τον καθορισμό της φωτεινής έντασης είναι το candela (cd), σχεδόν αντίστοιχο με τη φωτεινή απόδοση ενός κεριού.

Οι κύριοι φανοί (φώτα πορείας) ενός οχήματος πρέπει να ικανοποιούν, κατά περιπτώσεις αλληλένδετες παραδοχές. Από τη μια μεριά, πρέπει να παρέχουν μέγιστο οπτικό πεδίο, ενώ παράλληλα να διασφαλίζουν ότι ο τρόπος με τον οποίο διαχέεται η φωτεινή δέσμη πληροί τις προδιαγραφές που καθορίζει η οδική ασφάλεια. Παρόλο που η πιθανότητα να τυφλώνονται οι απέναντι λόγω της φωτεινής δέσμης «*blinding glare for approaching users*» πρέπει να είναι ελάχιστη, είναι κρίσιμο να παρέχεται ο απαιτούμενος φωτισμός, ώστε ο οδηγός να αναγνωρίζει και να αντιμετωπίζει με ασφάλεια τις οριζοντιογραφικές καμπύλες. Δηλαδή, θα πρέπει η φωτεινή δέσμη να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο πλάτος της οδού. Παρόλο που είναι απίθανο να επιτευχθεί συνεχής φωτισμός κατά πλάτος ολόκληρου του οδοστρώματος, είναι όμως εφικτό και απαραίτητο να διατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή της φωτεινής δέσμης κατά πλάτος του οδοστρώματος, χωρίς μεγάλες διαφοροποιήσεις στην ένταση της φωτεινότητας.

Ανεξάρτητα από την ανακλαστικότητα του οδοστρώματος, μεγάλη σημασία έχει και η σωστή ρύθμιση των φανών, για τη διατήρηση σταθερού παρεχόμενου οπτικού πεδίου και για να αποφεύγεται η δημιουργία δυσχέρειας για τους οδηγούς που κινούνται στο αντίθετο ρεύμα. Αυτό γιατί, κατά την οδήγηση υπάρχουν συνεχόμενες διαφοροποιήσεις στο ύψος των φανών, λόγω επιτάχυνσης, επιβράδυνσης ή και επιπρόσθετου φορτίου. Βέβαια με αρωγό την εξέλιξη στη τεχνολογία, έχουν εξελιχθεί δύο κατηγορίες συστημάτων αυτόματης ρύθμισης του ύψους της φωτεινής δέσμης. Υπάρχουν λοιπόν, τα στατικά και τα δυναμικά συστήματα. Ενώ τα στατικά συστήματα κάνουν διορθώσεις εξαιτίας πιθανής υπερφόρτωσης του οχήματος, τα δυναμικά διορθώνουν την κατεύθυνση της φωτεινής δέσμης κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης (από στάση αλλά και σε πορεία), κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις και κατά τη διάρκεια κίνησης σε καμπύλη.

Η αποτελεσματική φωταγωγή της επιφάνειας του δρόμου κάτω από πληθώρα συνθηκών δεν αποτελεί μόνο μια κρίσιμη ενίσχυση της ανθρώπινης όρασης, πολλές φορές είναι αδύνατη η κίνηση στην οδό χωρίς βοήθεια του συστήματος φωτισμού του οχήματος. Κατά τον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων, οι προτεραιότητες που λαμβάνονται υπόψη περιλαμβάνουν τη φωτεινότητα, το χρώμα και τη τοπική αντίληψη, επίσης αποδίδοντας το σχήμα και τη κίνηση σε συνδυασμό με την αναγνώριση της φωτεινότητας και του επιπέδου της ανακλαστικότητας. Για αυτό το λόγο οι φανοί των αυτοκινήτων υπόκεινται σε τόσο αυστηρές τεχνολογικές προδιαγραφές.



Σχήμα 29: Διαθέσιμο μήκος ορατότητας στη νυκτερινή οδήγηση (figure31 light distribution pattern at road level automotive electrics and electronics bosch)

Στη παραπάνω φωτογραφία εμφανίζεται το διαθέσιμο μήκος ορατότητας κατά τη νυκτερινή οδήγηση, κατά τη κίνηση σε ευθυγραμμία. Το πάνω σχήμα αφορά τη κίνηση με τη μεγάλη σκάλα των φανών και παρέχει αποτελεσματικό φωτισμό σε εύρος 67m μιας και καλύπτει όλο το πλάτος του οδοστρώματος και φωτίζει έως τα 160m με λιγότερη αποτελεσματικότητα όμως.

Στη δική μας περίπτωση για να κάνουμε τον έλεγχο ορατότητας για τα υπό μελέτη οδικά τμήματα θα θεωρήσουμε ότι οι οδηγοί κινούνται με τη μεγάλη σκάλα των φανών και έχουν σαν διαθέσιμο μήκος ορατότητας το μήκος που προέκυψε από το πείραμα που πραγματοποιήσαμε, δηλαδή τα 160m.

5.4 Έλεγχος ορατότητας

5.4.1 Έλεγχος ορατότητας κατά την κίνηση των οχημάτων στη καμπύλη

Σε αυτό το εδάφιο θα ασχοληθούμε με το διαθέσιμο μήκος ορατότητας κατά την κίνηση των οχημάτων στο εσωτερικό των καμπύλων. Οι παραδοχές που παίρνουμε είναι οι εξής:

- Το όχημα έχει προσαρμόσει τη ταχύτητα του.
- Δεν υπάρχουν πλευρικά εμπόδια, όπως δένδροφυτεύσεις στο εσωτερικό των καμπυλών

Ο έλεγχος αφορά την είσοδο των οχημάτων στη καμπύλη. Ο έλεγχος που πραγματοποιείται αφορά το μήκος ορατότητας για στάση. Η μέθοδος που ακολουθήσαμε ήταν η ακόλουθη, επιλέξαμε μία θέση σε κάθε κατεύθυνση, όπου προσπαθήσαμε να ελέγξουμε το κατά πόσο η φωτεινή δέσμη μας παρέχει επαρκές μήκος ορατότητας για στάση. Ο έλεγχος που κάναμε στηρίχθηκε στους τύπους που χρησιμοποιούνται στην Αμερική και βρίσκονται στο Geometric Design of Highways and Streets American Association of State Highway and Transp. Officials (AASHTO) και παρατίθενται παρακάτω. Σύμφωνα με τις Αμερικάνικες οδηγίες (AASHTO) το απαιτούμενο μήκος ορατότητας εξαρτάται από τη λειτουργική ταχύτητα του εκάστοτε οδικού τμήματος και τη κατά μήκος κλίση. Στο παρακάτω πίνακα έχουμε υπολογίσει τα διάφορα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση σύμφωνα με τις αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες για οδικά τμήματα διαφόρων οριζόντιων ακτινών, πλάτους λωρίδας 3.5m, ορισμένου ερείσματος 0.50m και κατά μήκος κλίση 3 & -3% για τις δύο κατευθύνσεις κίνησης

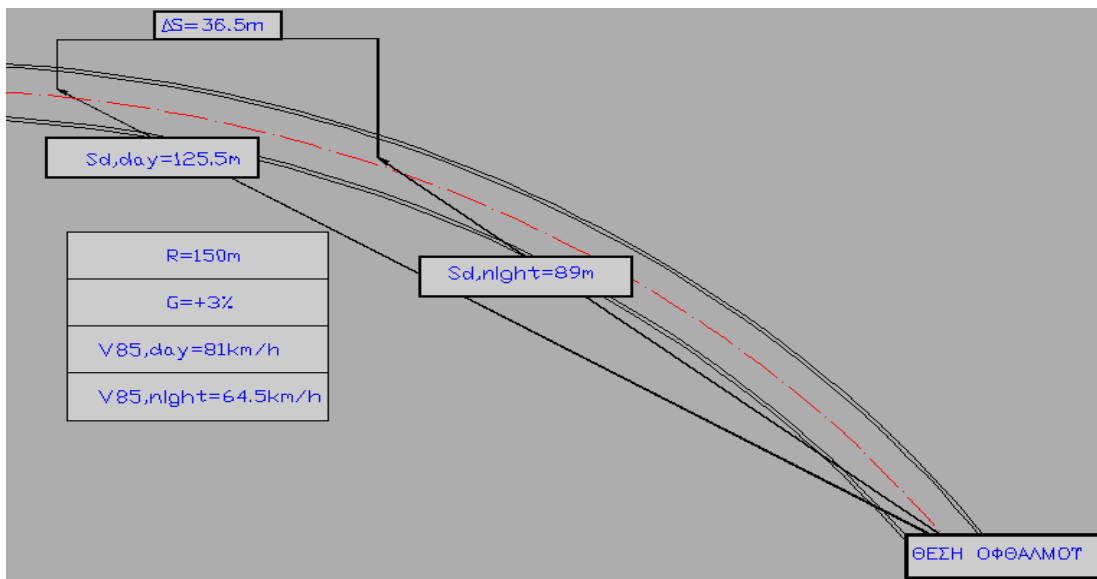
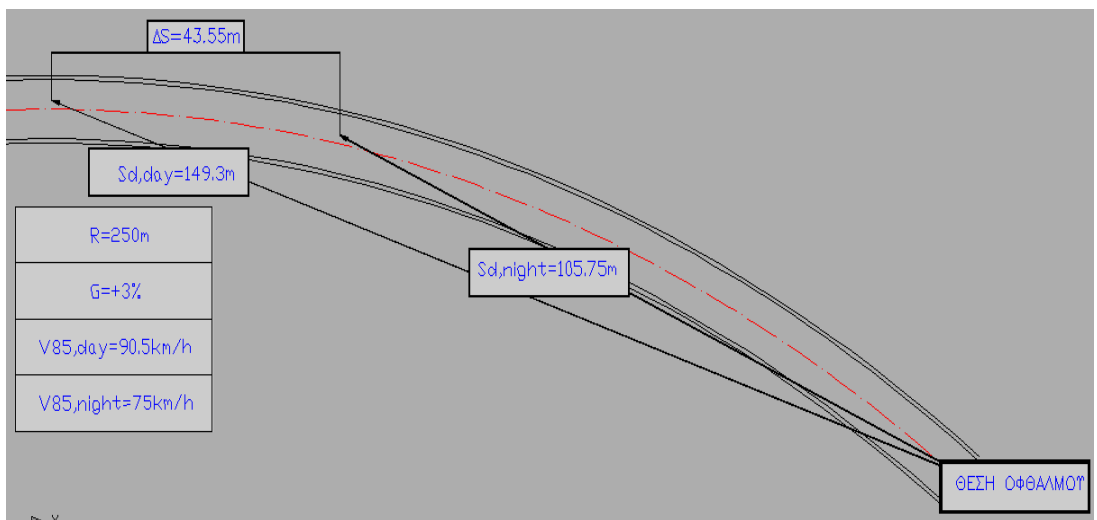
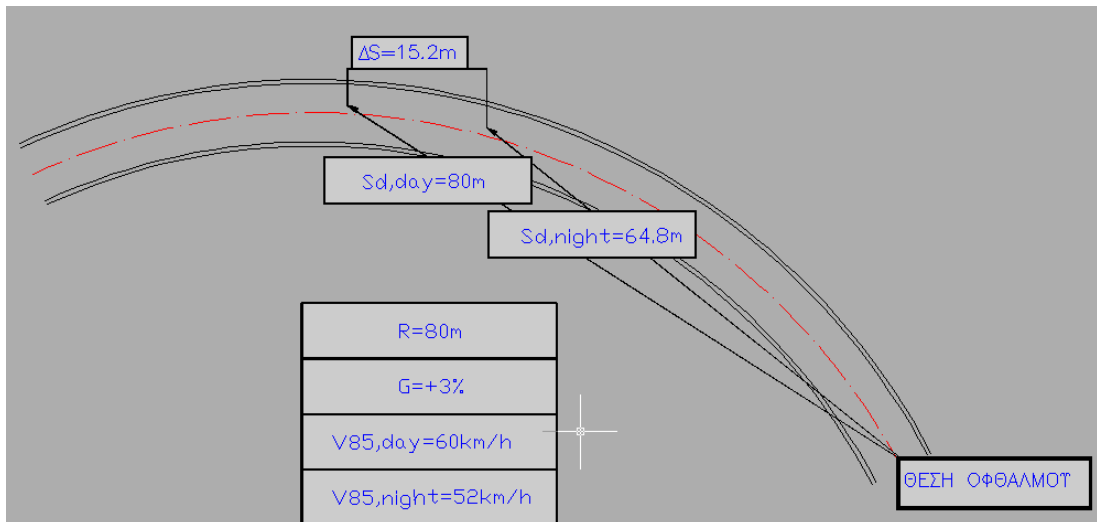
Υπολογίσαμε τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για διάφορες τιμές ακτινών με δεδομένες τις αναμενόμενες V_{85} για κίνηση στην οδό την ημέρα και τη νύκτα. Για την πρόβλεψη των λειτουργικών ταχυτήτων στα οδικά τμήματα κατά την ημέρα, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο που αναπτύχθηκε από την Fitzpatrick et.(2000) και υιοθετήθηκε από την Εθνική Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων (FHWA) στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Για τη πρόβλεψη των λειτουργικών ταχυτήτων στα οδικά τμήματα για τη κίνηση τη νύκτα χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο που παράξαμε στην εργασία αυτή.

Στο παρακάτω πίνακα είναι τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας:

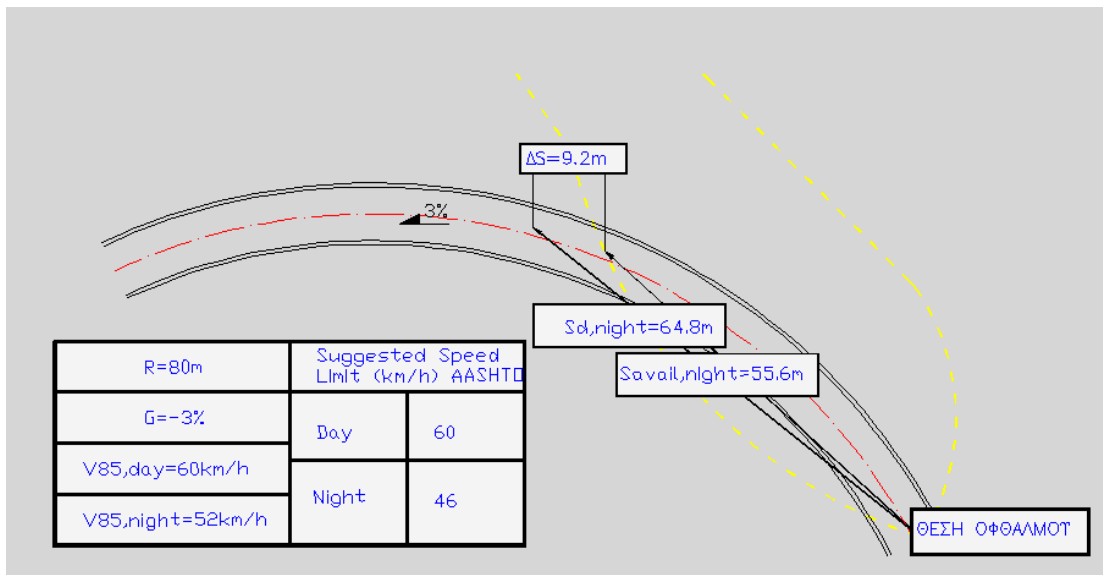
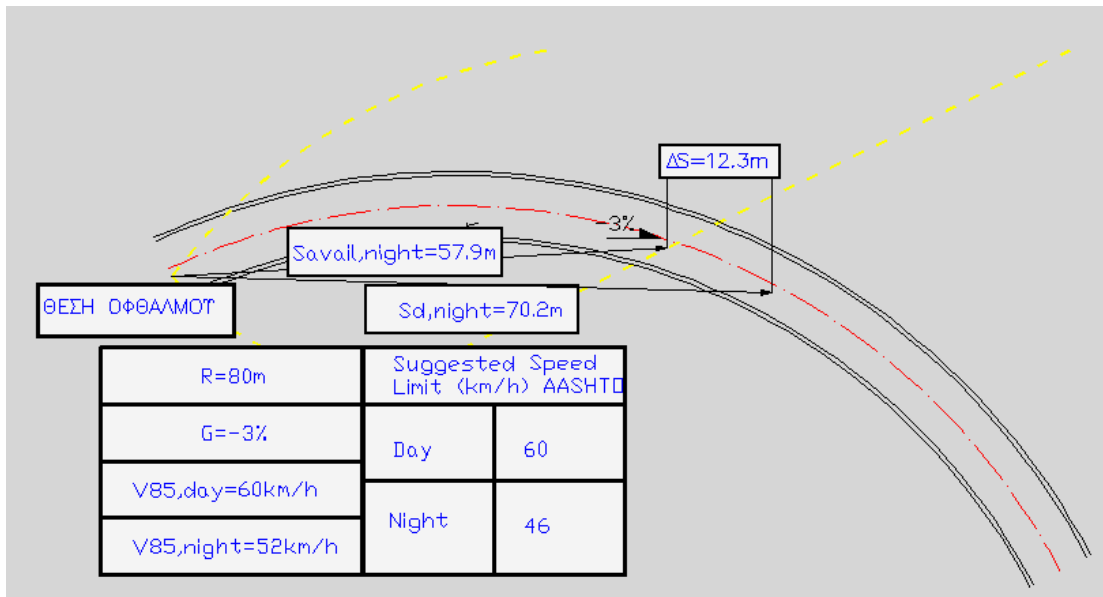
R	V85	Demanded stopping distance (m)						AASHTO-day(0<G<4%)
		downgrades			upgrades			
		-9	-6	-3	3	6	9	
60	45,00	63,5	60,0	58,0	53,0	51,5	50,5	
70	53,75	82,6	78,3	73,9	68,1	65,8	63,6	
80	60,00	97,0	92,0	87,0	80,0	77,0	75,0	
90	65,00	110,5	104,0	98,5	90,0	87,0	84,0	
100	69,00	121,3	113,6	107,7	98,0	95,0	93,9	
110	72,30	130,9	122,4	116,0	105,3	101,8	97,8	
120	75,00	139,0	130,0	123,0	111,5	108,5	103,5	
130	77,30	145,9	136,4	129,0	116,8	112,3	106,1	
140	79,20	151,6	141,8	133,9	121,6	116,3	112,3	
150	81,00	157,3	147,0	138,8	125,5	120,3	116,2	
175	84,40	168,5	157,2	148,3	134,0	128,1	123,7	
200	87,00	177,1	165,0	155,6	140,5	134,1	129,4	
225	89,00	183,7	171,0	161,2	145,5	138,7	133,8	
250	90,50	188,9	175,7	165,5	149,3	142,3	138,1	
300	93,00	197,8	183,9	173,0	155,8	148,8	143,2	
60	45	63,5	60,0	58,0	53,0	51,5	50,5	
70	48,9	71,8	67,9	64,3	59,3	57,4	56,4	
80	52,0	78,6	74,4	70,2	64,8	62,6	61,4	
90	54,5	84,4	79,9	75,5	69,6	67,1	65,7	
100	56,8	89,6	85,0	80,3	73,9	71,2	69,6	
110	58,7	94,0	89,1	84,3	77,5	74,7	72,8	
120	60,4	98,1	93,0	87,9	80,8	77,8	75,7	
130	62	102,4	96,8	91,6	84,0	81,0	78,6	
140	63	105,1	99,2	93,9	86,0	83,0	80,4	
150	64,5	109,2	102,8	97,4	89,0	86,0	83,1	
175	67,2	116,4	109,3	103,6	94,4	91,4	88,0	
200	69	121,3	113,6	107,7	98,0	95,0	93,9	
225	71	127,0	118,8	113,6	102,3	99,1	95,1	
250	72,5	131,5	123,0	116,5	105,8	102,3	98,3	
300	75	139,0	130,0	123,0	111,5	108,5	103,5	

Πίνακας 26: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας όπως υπολογίζονται σύμφωνα με την αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα και τη κατά μήκος κλίση (AASHTO)

Στα παρακάτω σχήματα είναι μερικά παραδείγματα κυκλικών τόξων διαφόρων ακτινών. Φαίνονται στα γραφήματα τα απαιτούμενα μήκη για στάση για τις δύο συνθήκες. Η διαφορά στην απαιτούμενη χορδή είναι εμφανής και το μόνο που μένει είναι να διαπιστώσουμε εάν οι φανοί εξασφαλίζουν ορατότητα στο σημείο που απαιτείται.

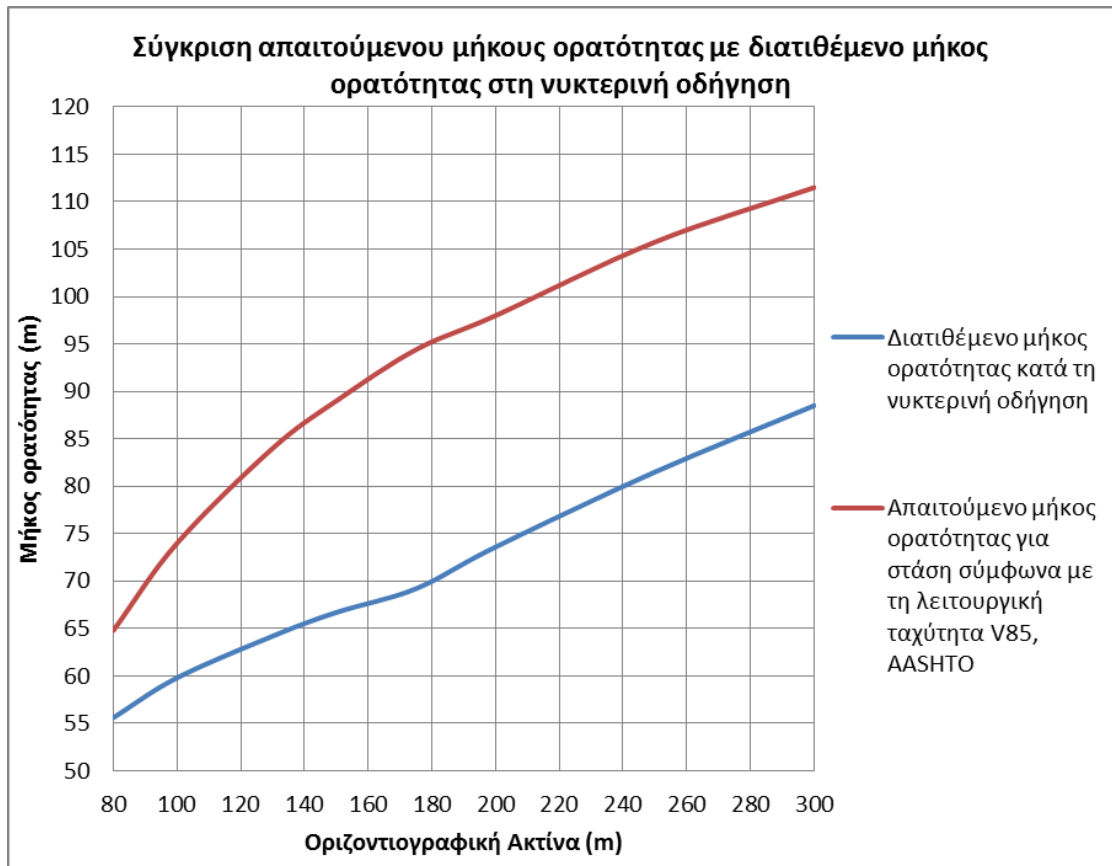


Σχήμα 30: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση κατά AASHTO για οδήγηση την ημέρα και τη νύκτα



Σχήμα 31: Σύγκριση διατιθέμενου μήκους ορατότητας λόγω της φωτεινής δέσμης και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας κατά AASHTO, στις δύο κατευθύνσεις κίνησης (aller-retour)

Από το διαθέσιμο μήκος ορατότητας για κάποιες τιμές ακτίων καμπύλων τόξων καταλήξαμε στο παρακάτω πίνακα προτεινόμενων ταχυτήτων για ασφαλή στάση και στο παρακάτω γράφημα διαθέσιμου μήκους ορατότητας και απαιτούμενου.



Σχήμα 32: Σύγκριση απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση με διατιθέμενο μήκος ορατότητας σε συνθήκες οδήγησης κατά τη νύκτα

Από το παραπάνω γράφημα διαπιστώνουμε πως οι φανοί δεν προσφέρουν επαρκές μήκος ορατότητας για στάση.. Για αυτό το λόγο λοιπόν θα προτείνουμε χαμηλότερα όρια ταχύτητας για τη νυκτερινή οδήγηση.

#	R	Sdemanded (m)	Savailable (m)	Ds (m)	V85	Suggested safe speed
1	80	64,8	55,6	9,2	52,0	44
2	100	74	59,8	14,2	56,8	47
3	130	84	64,2	19,8	62	49
4	150	89	66,7	22,3	64,5	50
5	175	94,4	69,2	25,2	67,2	52
6	200	98	73,6	24,4	69	53,5
7	250	105,75	81,5	24,25	72,5	56,5
8	300	111,5	88,5	23	75	61

Πίνακας 27: Διατιθέμενο μήκος ορατότητας και προτεινόμενο όριο ταχύτητας για διάφορες καμπύλες στη νυκτερινή οδήγηση

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι εξισώσεις πρόβλεψης της 85^{ης} ποσοστιαίας λειτουργικής ταχύτητας για υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων, ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας που αναπτύχθηκαν στην παρούσα έρευνα καταδεικνύουν ότι υπάρχει μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και του τεταμένου της καμπύλης. Αντίστοιχης μορφής είναι και η εξίσωση πρόβλεψης που χρησιμοποιείται από τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (Ο.Μ.Ο.Ε.) στην Ελλάδα.

- Παρότι στην προκαταρκτική ανάλυση που διεξήχθη στο εδάφιο 4.3.2 φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων που εντοπίζονται στα δύο ρεύματα κυκλοφορίας τα πιο αξιόπιστα μοντέλα αυτά με μεγαλύτερο συντελεστή R^2 φαίνεται να είναι αυτά που προέρχονται από το συνδυασμό των δεδομένων των δύο κατευθύνσεων. Αυτό κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στο γεγονός ότι η κύρια μεταβλητή που επηρεάζει την ταχύτητα (η ελικτότητα) είναι η ίδια, ανεξάρτητα από τη κατεύθυνση. Έτσι λοιπόν, με την εφαρμογή της παλινδρόμησης το μοντέλο που θα αναπτυχθεί δεν θα είναι τόσο αξιόπιστο αν για την ίδια τιμή της ελικτότητας έχουν οριστεί δύο διαφορετικές τιμές ταχυτήτων. Ακόμα από την έρευνα των Choueiri Elias M. και Lamm Ruediger, 1987 (Part I, σελ 111) δεν εξηγείται η επιρροή της ακτίνας σχετικά με το αν η στροφή είναι δεξιά ή αριστερή, αν δηλαδή η μέτρηση της ταχύτητας αναφέρεται στην εξωτερική ή στην εσωτερική λωρίδα.

- Από το μοντέλο που αναπτύχθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα φαίνεται πως οι αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες κατά τη νυκτερινή οδήγηση είναι μικρότερες από τις αναμενόμενες κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρεται στο εδάφιο 4.4.6:
 - I. Η διαφορά των προβλεπόμενων ταχυτήτων από την εξίσωση (i) σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο πρόβλεψης των Ο.Μ.Ο.Ε. εξίσωση (xv), μας δίνει διαφορές της τάξης του 10%, οι οποίες αυξάνονται όσο αυξάνεται η ελικτότητα για πλάτη λωρίδας 3.25m.
 - II. Η διαφορά των προβλεπόμενων ταχυτήτων από την εξίσωση (i) σε σχέση με το επίσημο μοντέλο πρόβλεψης των Ο.Μ.Ο.Ε. που υιοθετείται από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., εξίσωση (xv), μας δίνει για πλάτος λωρίδας 3.50m μεγαλύτερες ποσοστιαίες διαφορές σε σχέση με τη προηγούμενη περίπτωση, που κυμαίνονται από 7.8-15%, όπου και πάλι, η διαφορά στην αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα μεταξύ των δύο μοντέλων, αυξάνεται όσο αυξάνεται η τιμή της ελικτότητας.
 - III. Η διαφορά των προβλεπόμενων ταχυτήτων από την εξίσωση (i) σε σχέση με το υφιστάμενο μοντέλο πρόβλεψης των Ο.Μ.Ο.Ε. εξίσωση (xv), για πλάτος λωρίδας 3.75m μας δίνει διαφορές παρόμοιες με αυτές που είχαμε για πλάτος λωρίδας 3.50m, που κυμαίνονται από 7.5-15% με αυξητικές τάσεις όσο αυξάνεται η τιμή της ελικτότητας.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε πώς το πλάτος της λωρίδας παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή της λειτουργικής ταχύτητας από τους οδηγούς. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο μεγαλύτερο διαθέσιμο μήκος ορατότητας που διατίθεται σε οδοστρώματα με μεγαλύτερη επιφάνεια κυκλοφορίας. Για αυτό το λόγο καταλήξαμε σε εξίσωση που περιέχει και το πλάτος της λωρίδας σαν παράμετρο.

- Από τις εξισώσεις πρόβλεψης της λειτουργικής ταχύτητας που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της έρευνας αυτής, οι οποίες αφορούν τη κίνηση οχημάτων σε υπεραστικές οδούς ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας, κατά τη διάρκεια της νύκτας, φαίνεται πως το πλάτος της λωρίδας και η τιμή της ελκτικότητας στο υπό μελέτη οδικό τμήμα, μπορούν να εξηγήσουν τη μεταβλητότητα στη τιμή της αναμενόμενης λειτουργικής ταχύτητας.

- Οι διαφορές μεταξύ των προβλεπόμενων λειτουργικών ταχυτήτων για πλάτη λωρίδας 3.25, 3.50 & 3.75m για διάφορες τιμές ελκτικότητας υποδεικνύουν μια σταθερή διαφορά μεταξύ των 3 περιπτώσεων, της τάξης των 6-7 km/h.

Αναλυτικά

1. Για τιμές ελκτικότητας 0-300gon/km, οι διαφορές των εκτιμώμενων λειτουργικών ταχυτήτων για τα διαφορετικά αυτά πλάτη λωρίδας είναι περίπου 6km/h για πλάτη λωρίδας 3.25 & 3.50m και περίπου 4km/h για πλάτη λωρίδας 3.50 & 3.75m.
2. Για τιμές ελκτικότητας 300-700gon/km, οι διαφορές των εκτιμώμενων λειτουργικών ταχυτήτων κατά τη νυκτερινή οδήγηση, για διαφορετικά πλάτη λωρίδων είναι περίπου 5km/h για πλάτη λωρίδας 3.25 & 3.50m και περίπου 3km/h για πλάτη λωρίδας 3.50 & 3.75m.

Για μεγαλύτερες τιμές ελκτικότητας οι διαφορές που παίρνουμε στις προβλεπόμενες τιμές της λειτουργικής ταχύτητας κατά τη νυκτερινή οδήγηση είναι μικρότερες γεγονός που πιθανόν να υποδηλώνει τη σημαντικότητα της επίδρασης της ακτίνας και συσχετιζόμενων με αυτή παράγοντες όπως το μήκος ορατότητας και άρα η επίδραση του πλάτους της λωρίδας δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την επιλογή της ταχύτητας των οδηγών. Από τα παραπάνω φαίνεται πως το πλάτος της λωρίδας επηρεάζει περισσότερο, στα οδικά τμήματα με μικρή ελκτικότητα όπου και αναπτύσσονται μεγαλύτερες ταχύτητες. Από αυτό συμπεραίνουμε πως κατά τη νυκτερινή οδήγηση, καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της ταχύτητας από τους οδηγούς παίζει το διατιθέμενο μήκος ορατότητας, το οποίο και είναι μεγαλύτερο για μικρές τιμές ελκτικότητας και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πλάτος της λωρίδας και την ελκτικότητα.

- Από τις σχέσεις που διατυπώθηκαν, ο σχεδιαστής μπορεί να προβλέψει τις αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες των επιβατηγών οχημάτων στους υπεραστικούς δρόμους ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας για διαφορετικά πλάτη λωρίδων κατά τη νυκτερινή οδήγηση. Η πρόβλεψη των λειτουργικών ταχυτήτων είναι ωφέλιμη σε μελέτες ασφάλειας. Αυτό μιας και μπορούμε κάνοντας μια πρόβλεψη της αναμενόμενης ταχύτητας κίνησης των οχημάτων στο υπό μελέτη οδικό τμήμα, να εξάγουμε συμπεράσματα αναφορικά με τις συνθήκες κίνησης των οχημάτων και να κάνουμε επανεκτιμήσεις των ορίων

ταχύτητας ή ακόμα επανασχεδιασμού του οδικού τμήματος, ούτως ώστε να επιτύχουμε τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια κίνησης των οχημάτων σε αυτό.

- Παρόλα αυτά, τα μοντέλα εκτίμησης των λειτουργικών ταχυτήτων που αναπτύχθηκαν στην έρευνα αυτή, βασίζονται σε δεδομένα περιορισμένου γεωγραφικού εύρους και η καταλληλότητα για τη χρήση τους σε μελέτες ασφαλείας ενδεχομένως να περιορίζεται στα δεδομένα γεωγραφικά όρια, μιας και το μέγεθος του δείγματος είναι τέτοιο που δεν επιτρέπει την αξιόπιστη εξαγωγή συμπερασμάτων εθνικής κλίμακας. Κατά συνέπεια, για τη χρήση των μοντέλων σε ευρύτερες περιοχές, με διαφορετικές συνθήκες (καιρικές συνθήκες, ανακλαστικότητα οδοστρώματος, δένδροφύτευση, οδηγική συμπεριφορά) κρίνεται σκόπιμο να γίνει έλεγχος για τον καθορισμό της καταλληλότητας τους.
- Σχετικά με το διατιθέμενο μήκος ορατότητας κατά τη κίνηση των οχημάτων στην οδό κατά τη νυκτερινή οδήγηση τα εξαγόμενα από αυτή την έρευνα είναι ότι η φωτεινή δέσμη των φανών των οχημάτων, δεν επαρκεί με δεδομένη τη ταχύτητα κίνησης των οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό τμήμα. Μια στροφή της φωτεινής δέσμης θα μας έδινε επαρκές μήκος ορατότητας για τις δεδομένες λειτουργικές ταχύτητες. Αυτή η τεχνολογία εφαρμόζεται ήδη από διάφορες αυτοκινητοβιομηχανίες και περαιτέρω διερεύνηση κρίνεται απόλυτα απαραίτητη. Διαφορετικά, ο επαναπροσδιορισμός και η επιβολή χαμηλότερων ορίων ταχύτητας κρίνεται απαραίτητο, έτσι ώστε να επιτύχουμε ασφαλής συνθήκες κίνησης των οχημάτων κατά τη νυκτερινή οδήγηση σε υπεραστικές οδούς ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 28: Δεδομένα ταχυτήτων στις 30 καμπύλες και 6 ευθυγραμμίες για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας..... 183

Πίνακας 29: One- Sample Kolmogorov Smirnov Test..... 195

Πίνακας 30: Λειτουργικές ταχύτητες (V_{85}) επιβατηγών οχημάτων για κίνηση τις βραδινές ώρες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων (εξωτερική λωρίδα)201

Πίνακας 31: Λειτουργικές ταχύτητες (V_{85}) επιβατηγών οχημάτων για κίνηση τις βραδινές ώρες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων (εσωτερική λωρίδα).....202

Πίνακας 28: Δεδομένα ταχυτήτων στις 30 καμπύλες και 6 ευθυγραμμίες για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας

305gon/km , εξωτερική, b=3.50m	305gon/k m, εσωτερική, b=3.50m	320gon/km ,εξωτερική,b =3.50m	320gon/km ,εσωτερική,b =3.50m	460gon/km ,εξωτερική,b =3.50m	460gon/k m,εσωτερι κή,b=3.50 m
62	67	82	81	58	59
59	57	78	66	51	50
40	59	72	67	71	55
75	52	63	83	77	56
57	56	90	64	72	53
56	56	72	75	76	62
48	64	76	83	60	52
52	80	74	60	75	48
43	58	63	58	46	58
59	50	53	65	39	53
55	56	54	58	50	52
63	54	76	56	52	66
59	69	73	66	47	51
57	55	78	68	60	57
63	71	80	76	50	63
55	40	64	65	53	47
53	53	62	60	48	55
56	72	78	64	48	56
50	79	84	55	68	53
60	71	87	48	55	44
61	68	61	55	57	39
60	58	60	60	70	42
60	62	72	76	49	52
58	54	75	93	77	55
62	52	56	53	70	50
57	53	62	57	55	51
61	52	57	66	52	53
55	55	48	71	70	61
60	61	54	74	56	67
54	42	66	83	90	56
48	65	71	72	56	59
55	65	84	68	59	67
59	59	76	62	60	55
41	67	65	63	65	50
61	56	70	60	63	56
63	69	61	66	49	48
69	63	54	70	68	62
54	59	60	64	55	48
69	62	70	68	58	55
58	59	73	71	52	68

50gon/km, εξωτερική,b= 3.50m	50gon/km, εσωτερική,b =3.50m	750gon/k m,εξωτερικ ή,b=3.50m	750gon/km ,εσωτερική,b =3.50m	700gon/km ,εξωτερική,b =3.50m	700gon/km, εσωτερική,b= 3.50m
76	102	48	53	50	60
74	88	47	47	54	51
78	70	49	49	51	55
79	70	50	60	57	53
66	76	51	58	58	50
64	89	42	65	58	61
72	83	52	55	54	60
130	68	49	53	40	58
81	100	52	54	50	54
73	63	64	51	47	55
90	86	56	33	55	60
60	85	61	42	59	51
70	82	47	48	63	50
60	73	40	45	50	46
74	95	52	49	51	51
98	102	62	43	63	51
74	80	53	38	55	60
97	93	55	43	68	56
64	71	60	56	48	51
80	79	54	52	47	60
85	61	48	51	47	55
100	90	44	43	69	70
65	73	53	47	63	50
82	95	56	49	60	48
126	92	43	61	62	46
84	76	61	64	40	70
76	93	58	58	58	60
91	100	46	52	61	61
86	80	44	54	54	58
76	85	54	51	65	40
79	62	54	56	50	58
81	75	62	52	52	63
83	69	51	55	44	54
86	73	53	50	48	65
91	76	50	43	48	50
76	81	57	48	60	52
85	67	51	59	48	46
94	75	55	48	53	48
76	71	58	55	70	49
68	68	52	61	64	59

760gon/km ,εξωτερική,b =3.50m	760gon/km ,εσωτερική,b =3.50m	282gon/k m,εξωτερικ ή,b=3.50	282gon/k m,εσωτερικ ή,b=3.50	1957gon/k m,εξωτερική, b=3.50m	1957gon/km ,εσωτερική,b =3.50m
67	61	51	69	35	35
50	57	60	61	31	34
62	51	62	60	40	33
48	60	54	70	40	36
48	58	67	51	61	32
71	62	71	72	39	34
60	51	77	64	33	41
60	60	72	87	32	30
57	58	66	71	32	40
57	58	61	60	38	35
50	61	79	71	36	31
60	50	80	72	37	30
60	65	77	73	29	35
84	55	95	66	39	30
40	59	70	71	30	34
51	58	80	58	31	41
43	50	69	51	35	41
51	55	80	60	30	31
59	60	81	61	30	32
53	71	72	81	34	31
55	61	60	90	36	35
53	58	50	75	30	28
62	54	68	95	30	33
48	51	54	51	34	34
58	51	60	70	33	30
62	52	82	48	36	29
74	40	81	81	34	31
50	65	50	80	33	32
60	54	51	60	31	38
60	50	92	68	32	30
61	61	75	61	31	36
70	60	58	70	36	40
50	63	80	71	31	34
49	63	61	71	34	28
74	50	70	70	36	30
70	44	91	51	41	32
61	70	70	77	30	33
63	57	60	91	36	40
61	59	71	78	34	35
57	54	72	71	31	32

1946gon/k m,εξωτερική, b=3.50m	1946gon/k m,εσωτερική, b=3.50m	600gon/km ,εξωτερική,b =3.50m	600gon/km ,εσωτερική,b =3.50m	125gon/km ,εξωτερική,b =3.50m	125gon/k m,εσωτερικ ή,b=3.50m
35	35	61	61	79	71
34	34	61	73	66	65
33	33	54	71	72	71
36	36	58	60	54	55
32	32	63	54	62	61
34	34	51	66	54	50
41	41	68	48	95	72
30	30	75	62	72	84
40	40	60	61	74	78
35	35	62	74	73	72
31	31	62	54	94	76
30	30	71	63	68	72
35	35	61	52	75	47
30	30	60	51	71	64
34	34	50	54	87	71
41	41	51	56	61	71
41	41	56	61	67	62
31	31	58	64	62	58
32	32	62	50	67	75
31	31	60	56	61	60
35	35	63	46	79	68
28	28	60	50	70	65
33	33	64	52	53	64
34	34	66	53	68	63
30	30	68	61	58	68
29	29	63	57	64	67
31	31	61	61	64	66
32	32	65	52	54	70
38	38	50	53	60	58
30	30	62	54	51	76
36	36	68	60	68	70
40	40	50	62	66	62
34	34	61	52	74	59
28	28	58	48	76	64
30	30	68	60	52	65
32	32	52	61	71	72
33	33	53	62	79	79
40	40	70	59	67	60
35	35	49	70	63	57
32	32	65	57	62	69

344gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	344gon/km ,εσωτερική,b =3.25m	175gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	175gon/km ,εσωτερική,b =3.25m	137gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	137gon/km ,εσωτερική,b =3.25m
43	51	57	85	76	100
57	54	79	54	75	51
54	44	69	92	69	65
60	54	84	72	75	64
49	55	76	76	61	83
40	57	74	93	64	67
69	50	70	68	97	76
60	52	74	78	73	70
52	62	83	73	52	73
59	50	68	72	73	75
51	51	74	68	54	67
48	50	77	70	70	73
52	53	89	94	57	78
40	66	65	76	67	75
59	51	72	81	59	78
47	40	70	53	94	53
52	47	75	58	60	69
61	72	84	67	73	53
60	59	81	68	64	73
46	48	76	72	72	80
43	44	69	77	81	74
51	68	67	65	72	105
52	54	60	70	80	56
61	52	65	78	90	69
59	50	71	75	67	82
50	60	90	73	68	65
57	40	84	92	62	71
62	65	81	76	74	56
48	53	76	81	66	65
53	57	74	100	62	62
47	67	76	71	67	67
60	70	74	68	68	69
57	52	70	73	81	75
51	77	63	69	69	73
49	56	67	80	73	79
60	51	65	77	76	65
57	53	71	83	90	64
53	54	57	86	69	69
54	51	58	72	72	76
59	48	52	71	77	81

718gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	718gon/km ,εσωτερική,b =3.25m	600gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	600gon/km ,εσωτερική,b =3.25m	718gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	718gon/km ,εσωτερική,b =3.25m
51	54	57	53	44	46
53	57	53	54	61	51
46	61	52	45	59	53
42	41	48	46	51	46
40	59	41	49	61	48
57	43	47	51	57	61
59	46	44	42	51	54
47	58	61	43	70	57
52	55	57	40	61	51
41	55	70	38	45	48
60	43	41	51	51	49
61	41	44	56	60	65
54	43	48	51	52	42
57	50	57	53	51	68
56	40	60	44	42	41
42	42	52	46	50	48
44	57	43	52	64	49
41	55	49	51	61	58
38	63	45	58	62	60
37	61	47	57	57	59
43	59	62	41	60	70
44	57	61	46	54	49
46	44	36	49	51	59
48	52	40	56	40	51
49	47	41	55	51	68
52	48	50	53	62	64
43	56	56	48	61	61
41	51	54	56	50	72
42	53	51	51	58	51
48	58	44	53	51	52
62	55	49	57	60	57
63	67	47	62	57	46
59	55	43	57	50	62
56	56	46	53	66	50
61	56	53	49	51	66
48	60	59	59	50	54
59	62	51	56	51	51
46	48	53	52	61	48
52	55	41	51	44	50
52	41	49	53	50	59

697gon/km ,εξωτερική,b =3.2m5	697gon/km ,εσωτερική,b =3.2m5	252gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	252gon/km ,εσωτερική,b =3.25m	647gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	647gon/km ,εσωτερική,b =3.25m
42	39	77	62	57	62
49	66	70	66	63	62
48	61	71	61	66	58
57	36	60	71	41	50
51	50	52	57	71	52
46	44	50	63	71	62
41	43	50	70	60	48
40	50	47	60	62	52
60	51	80	61	45	51
48	57	77	36	60	51
47	51	71	73	51	52
61	68	50	71	52	61
47	64	77	73	53	60
48	50	54	64	50	52
46	51	70	61	44	60
40	58	60	70	62	71
55	57	62	62	50	62
41	50	77	67	61	57
50	61	75	51	62	58
54	56	82	61	52	55
58	56	60	80	53	51
54	51	54	60	56	42
49	56	70	57	51	57
40	46	77	61	60	54
48	50	70	70	57	47
46	52	79	50	51	62
60	58	75	61	52	58
50	60	84	60	52	44
44	70	60	81	60	74
48	48	68	71	57	50
59	45	71	75	42	56
56	43	61	61	52	61
41	50	82	52	53	48
51	58	62	70	61	62
67	50	86	50	58	71
45	52	56	72	52	70
58	60	62	60	71	60
49	40	76	61	70	54
48	57	53	51	52	52
50	50	67	81	60	57

998gon/km ,εξωτερική,b =3.25m	998gon/km ,εσωτερική,b =3.25m	700gon/km ,εξωτερική,b =3.75m	700gon/km ,εσωτερική,b =3.75m	186gon/km ,εξωτερική,b =3.75m	186gon/km ,εσωτερική,b =3.75m
56	36	43	60	58	57
51	61	57	53	77	61
39	53	54	60	60	63
50	44	60	54	65	71
51	55	49	58	70	102
40	52	40	41	69	57
52	55	69	78	68	65
35	54	60	62	73	59
52	44	52	52	58	54
48	41	59	62	64	63
47	50	51	68	61	65
46	51	48	57	67	68
41	52	52	71	66	77
50	51	40	52	56	76
31	44	59	70	71	79
50	41	47	55	59	74
51	42	52	59	57	121
49	56	61	61	63	59
46	51	60	56	69	79
49	60	46	69	70	69
45	51	43	50	54	67
31	42	51	47	60	59
40	52	52	65	63	60
61	54	61	50	78	55
38	53	59	61	81	66
50	45	50	66	94	74
40	44	57	57	71	100
35	35	62	69	62	70
40	42	48	68	63	54
41	53	53	56	66	68
35	54	47	67	59	73
47	40	60	55	64	65
49	52	57	50	68	61
43	60	59	56	54	60
51	35	66	48	67	57
51	41	57	62	54	56
60	45	52	48	77	55
52	51	54	55	58	60
45	52	56	68	58	52
53	41	64	56	66	59

770gon/k m,εξωτερική ,b=3.75m	770gon/km ,εσωτερική,b =3.75m	1050gon/k m,εξωτερική, b=3.75m	1050gon/k m,εσωτερική, b=3.75m	450gon/km ,εξωτερική,b =3.75m	450gon/k m,εσωτερικ ή,b=3.75m
47	47	42	52	70	51
51	48	41	50	58	74
52	44	40	51	75	78
50	68	51	34	64	64
51	54	51	50	72	50
49	63	46	36	81	75
48	70	53	35	75	81
50	60	60	60	60	85
53	61	52	32	74	54
50	62	41	64	70	51
54	48	52	45	68	65
60	50	51	51	62	68
48	58	56	52	70	61
50	60	64	22	73	51
48	62	52	22	61	51
44	56	53	25	75	52
40	58	60	58	62	58
50	59	43	59	70	61
52	51	42	50	78	51
48	54	54	51	70	60
50	51	41	50	74	58
52	65	52	60	68	75
54	47	43	48	75	68
40	53	59	57	58	74
48	52	50	48	81	70
40	46	51	46	48	78
50	51	48	52	57	70
50	60	52	58	50	71
50	51	59	70	61	60
50	52	62	48	65	51
51	70	50	49	68	50
60	48	58	47	70	73
53	50	46	60	61	80
59	47	50	47	65	56
40	60	25	59	75	65
50	45	42	51	51	70
51	52	56	53	80	67
44	53	59	54	54	61
43	61	34	58	58	75
47	60	48	60	61	40

1165gon/k m,εξωτερική, b=3.75m	1165gon/k m,εσωτερική, b=3.75m	665gon/km ,εξωτερική,b =3.75m	665gon/km ,εσωτερική,b =3.75m	975gon/km ,εξωτερική,b =3.75m	975gon/k m,εξωτερική ,b=3.75m
47	50	54	49	46	44
59	51	42	50	40	41
45	56	41	49	42	41
44	47	52	52	41	43
33	50	63	55	41	48
31	46	47	47	45	48
36	40	62	54	40	41
52	50	45	52	45	41
51	44	50	66	51	42
53	50	60	51	48	50
47	38	42	51	52	47
49	42	42	52	51	46
53	45	60	64	40	41
47	48	61	52	42	50
50	49	52	50	46	48
51	50	50	47	50	47
42	61	62	51	41	51
42	50	40	52	49	41
43	53	52	53	55	41
57	51	50	50	47	52
48	59	52	60	51	51
40	54	51	54	46	40
50	49	41	40	41	50
44	54	50	60	52	43
50	51	54	44	41	40
54	47	61	45	42	54
48	45	50	50	51	40
45	42	49	52	43	40
48	53	47	50	44	47
46	40	52	60	57	41
42	51	44	52	41	42
41	50	51	50	42	46
50	40	60	51	47	42
40	47	49	44	40	44
52	60	52	50	41	50
50	51	50	47	48	48
41	47	50	44	41	42
49	41	42	52	42	43
60	52	58	51	54	44
55	47	50	46	50	38

ευθεια1,b=3.5m,εξωτερική	ευθεια1,b=3.5m,εξωτερική	ευθεια2,b=3.75m,εξωτερική	ευθεια2,b=3.75m,εξωτερική	ευθεια3,b=3.25m,εξωτερική	ευθεια3,b=3.25m,εξωτερική
78	85	100	80	90	98
90	86	63	101	70	70
98	46	94	75	70	81
118	90	58	81	81	87
102	70	87	70	81	103
101	73	89	80	110	80
65	74	92	91	110	121
127	81	91	95	91	60
80	95	100	90	87	127
105	64	98	100	80	100
72	140	69	80	89	101
105	100	75	84	100	103
75	70	82	60	90	109
108	90	80	80	75	100
76	70	60	70	108	105
65	98	77	105	95	100
76	66	70	80	91	94
78	88	71	81	90	97
54	54	81	80	85	80
75	98	95	95	60	91
125	67	70	115	115	141
57	90	86	74	119	112
69	65	80	85	85	91
87	71	70	100	91	80
79	69	74	90	100	91
89	95	80	100	90	90
80	92	98	80	70	100
78	83	74	95	100	96
113	90	69	60	69	94
78	65	90	100	90	89
68	76	63	95	80	84
120	81	80	90	91	90
71	71	86	80	60	87
78	70	70	124	100	124
74	67	90	100	100	70
100	65	100	75	90	94
73	80	77	78	80	91
82	75	74	80	126	96
75	70	84	95	121	70
62	70	95	91	94	76

ευθεια4,b=3.25m,εξωτερική	ευθεια4,b=3.25m,εξωτερική	ευθεια5,b=3.5m,εξωτερική	ευθεια5,b=3.5m,εξωτερική	ευθεια6,b=3.75m,εξωτερική	ευθεια6,b=3.75m,εξωτερική
80	95	70	81	90	74
95	69	90	64	86	73
100	100	59	68	60	78
94	80	63	110	70	61
110	74	66	70	80	70
71	90	70	71	81	80
76	70	79	57	80	71
90	90	71	61	76	100
75	91	100	68	100	70
100	70	52	84	81	101
70	94	79	50	100	109
99	76	77	80	84	80
63	91	50	60	75	73
67	91	84	81	90	100
84	70	81	64	91	87
100	81	76	62	105	71
84	105	60	51	80	80
105	80	51	80	100	60
81	107	60	84	94	85
105	100	80	80	116	61
106	110	60	87	75	75
83	70	65	81	76	70
81	81	90	70	71	70
84	77	77	75	60	90
90	81	79	80	90	105
100	70	80	76	73	79
94	105	90	79	71	87
96	100	91	74	71	75
90	91	70	71	60	90
91	95	81	60	80	70
71	87	80	75	84	80
102	90	91	60	83	74
70	67	61	80	82	102
81	80	62	81	65	94
100	90	75	70	90	71
90	80	55	60	106	64
110	94	81	103	101	58
67	87	83	95	94	76
74	74	84	81	91	81
71	84	57	67	93	91

Πίνακας 29: One- Sample Kolmogorov Smirnov Test

		One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test							
		eswter iki 1	exwter iki 2	eswter iki 2	exwter iki 2	eswter iki 3	exwteri ki 3	eswter iki 4	exwter iki 4
N		40	40	41	39	40	40	40	40
Normal	Mean	57.175	60.000	54.219	58.871	65.450	67.250	53.550	54.700
Parameters ^{a,b}		0	0	5	8	0	0	0	0
	Std.	6.9794	8.5874	6.8282	8.0301	8.2553	14.008	6.5513	8.3272
	Deviation	1	1	9	4	8	70	7	8
Most	Absolut	.128	.121	.100	.079	.101	.154	.126	.183
Extreme	e								
Differences	Positive	.127	.121	.066	.079	.101	.154	.078	.183
	Negativ	-.128	-.101	-.100	-.077	-.083	-.147	-.126	-.111
	e								
	Kolmogorov-Smirnov Z	.807	.767	.637	.495	.637	.972	.795	1.161
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.532	.598	.811	.967	.812	.301	.552	.135

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

		One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test							
		eswteri ki 5	exwter iki 5	eswter iki 6	exwteri ki 6	eswteri ki 7	exwteri ki 7	eswteri ki 8	exwter iki 8
N		40	40	40	40	40	40	40	40
Normal	Mean	68.850	66.750	72.175	75.175	71.225	71.150	59.675	54.600
Parameters ^{a,b}		0	0	0	0	0	0	0	0
	Std.	10.396	9.4536	8.7848	10.175	10.034	10.875	10.936	6.6517
	Deviation	13	7	6	10	52	87	62	8
Most	Absolut	.094	.122	.082	.116	.117	.105	.138	.117
Extreme	e								
Differences	Positiv	.088	.122	.082	.116	.117	.103	.138	.117
	e								
	Negati	-.094	-.059	-.082	-.115	-.069	-.105	-.081	-.070
	ve								
	Kolmogorov-Smirnov	.595	.774	.520	.731	.741	.667	.874	.738
Z									
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.871	.587	.949	.659	.643	.765	.430	.648

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		eswte riki 9	exwte riki 9	eswte riki 10	exwte riki 10	eswter iki 11	exwter iki 11	eswte riki 12	exwte riki 12
N		40	40	40	40	40	40	40	40
Normal	Mean	49.80	52.60	50.05	50.92	81.25	80.42	52.35	51.27
Parameters ^a		00	00	00	50	00	50	00	50
^b	Std.	7.504	7.199	7.351	5.567	14.79	11.54	5.833	6.924
	Deviatio n	53	72	78	25	908	453	37	45
Most	Absol	.105	.181	.082	.155	.149	.124	.064	.068
Extreme	ute								
Differences	Positiv	.105	.109	.082	.063	.149	.124	.064	.059
	e								
	Negati	-.096	-.181	-.061	-.155	-.076	-.067	-.058	-.068
	ve								
Kolmogorov-Smirnov		.665	1.142	.517	.983	.943	.786	.403	.433
Z									
Asymp. Sig. (2-	tailed)	.768	.147	.952	.289	.336	.567	.997	.992

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		eswte riki 9	exwte riki 9	eswte riki 10	exwte riki 10	eswter iki 11	exwter iki 11	eswte riki 12	exwte riki 12
N		40	40	40	40	40	40	40	40
Normal Parameters ^a	Mean	49.80	52.60	50.05	50.92	81.25	80.42	52.35	51.27
	Std.	7.504	7.199	7.351	5.567	14.79	11.54	5.833	6.924
Most Extreme Differences	Absolute	.105	.181	.082	.155	.149	.124	.064	.068
	Positive	.105	.109	.082	.063	.149	.124	.064	.059
	Negative	-.096	-.181	-.061	-.155	-.076	-.067	-.058	-.068
Kolmogorov-Smirnov Z		.665	1.142	.517	.983	.943	.786	.403	.433
Asymp. Sig. (2-tailed)		.768	.147	.952	.289	.336	.567	.997	.992

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		eswter iki 13	exwter iki 13	eswter iki 14	exwter iki 14	eswter iki 15	exwter iki 15	eswter iki 16	exwter iki 16
N		40	40	40	40	40	40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	54.850	54.875	58.225	56.925	49.425	55.17	49.72	
	Std. Deviation	7.5974	6.5562	9.0511	6.3261	4.7872	6.986	8.051	
Most Extreme Differences	Absolute	.094	.123	.138	.117	.173	.125	.139	
	Positive	.094	.123	.138	.085	.121	.125	.073	
	Negative	-.076	-.083	-.079	-.117	-.173	-.105	-.139	
Kolmogorov-Smirnov Z		.593	.776	.875	.743	1.093	.792	.877	1.203
Asymp. Sig. (2-tailed)		.873	.583	.429	.639	.183	.557	.426	.111

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		eswter iki 17	exwteri ki 17	eswteri ki 18	exwteri ki 18	eswter iki 19	exwter iki 19	eswter iki 20	exwter iki 20
N		40	40	40	40	40	40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	66.700	63.825	69.500	68.950	34.525	33.650	33.650	33.650
	Std. Deviation	8.6118	10.909	11.742	11.306	5.3827	3.6902	3.6902	3.6902
Most Extreme Differences	Absolute	.124	.111	.090	.119	.192	.132	.132	.132
	Positive	.082	.111	.090	.119	.192	.132	.132	.132
	Negative	-.124	-.089	-.067	-.112	-.175	-.107	-.107	-.107
Kolmogorov-Smirnov Z		.786	.701	.572	.751	1.215	.836	.836	.836
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.568	.710	.899	.626	.105	.486	.486	.486

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		eswter iki 25	exwter iki 25	eswter iki 26	exwter iki 26	eswteri ki 27	exwter iki 27	eswter iki 28	exwter iki 28
N		40	40	40	40	40	40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	47.125	48.775	60.500	58.025	67.825	66.425	46.025	48.375
	Std. Deviation	6.3978	5.4136	6.4091	6.8368	10.362	7.7687	7.2163	6.9010
Most Extreme Differences	Absolute	.092	.116	.144	.122	.093	.086	.135	.198
	Positive	.054	.116	.083	.122	.093	.086	.104	.113
	Negative	-.092	-.115	-.144	-.089	-.055	-.077	-.135	-.198
Kolmogorov-Smirnov Z		.583	.731	.910	.771	.590	.547	.853	1.253
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.886	.660	.379	.591	.877	.926	.460	.086

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			eswteriki 29	exwteriki 29	eswteriki 30	exwteriki 30
N			40	40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean		51.0000	51.2250	45.6500	44.7000
	Std. Deviation		6.56330	5.24521	4.86510	4.16456
Most Extreme Differences	Absolute		.164	.216	.198	.167
	Positive		.164	.216	.198	.167
	Negative		-.115	-.133	-.123	-.105
Kolmogorov-Smirnov Z		1.040	1.368	1.255	1.054	
Asymp. Sig. (2-tailed)		.229	.047	.086	.217	

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			euthigram mia 1	euthigram mia 1	euthigram mia 2	euthigram mia 2	euthigram mia 3	euthigram mia 3
N			40	40	40	40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean		85.1500	78.7500	81.0500	87.1250	90.6000	94.3250
	Std. Deviation		18.82790	16.03002	11.84721	13.39381	15.66116	16.20128
Most Extreme Differences	Absolute		.208	.136	.077	.151	.140	.121
	Positive		.208	.136	.077	.151	.140	.121
	Negative		-.067	-.129	-.075	-.097	-.085	-.076
Kolmogorov-Smirnov Z		1.314	.858	.486	.957	.884	.766	
Asymp. Sig. (2-tailed)		.063	.454	.972	.319	.415	.600	

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		euthigram mia 4	euthigram mia 4	euthigram mia 5	euthigram mia 5	euthigram mia 6	euthigram mia 6
N		40	40	40	40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	87.5000	85.9250	73.2500	73.7750	83.8750	79.6500
	Std. Deviation	13.32243	11.77217	12.73145	12.68855	13.22621	13.08072
Most Extreme Differences	Absolut e	.106	.112	.124	.135	.078	.139
	Positiv e	.092	.112	.090	.135	.071	.139
	Negati ve	-.106	-.110	-.124	-.088	-.078	-.105
Kolmogorov-Smirnov Z		.670	.709	.786	.851	.496	.881
Asymp. Sig. (2-tailed)		.760	.696	.568	.464	.967	.419

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Πίνακας 30: Λειτουργικές ταχύτητες (V_{85}) επιβατηγών οχημάτων για κίνηση τις βραδινές ώρες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων (εξωτερική λωρίδα)

#	V85	ΕΛΙΚΤΟΤ ΗΤΑ Κc	ΕΠΙΚΛΙΣ ΕΙΣ (%):	ΜΗΚΟΤΟΜΙ ΚΗ ΚΛΙΣΗ (%) :	ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΝΑ ΡΕΥΜΑ:	ΠΛΑΤΟΣ ΕΡΕΙΣΜΑΤΟΣ:
1	62	344	5.5	1.6	3.25	0.3
2	73	175	3	-2.3	3.25	0.3
3	74	137	3	-0.8	3.25	0.3
4	51	718	4.3	-2.3	3.25	0.3
5	52	600	3.8	-0.5	3.25	0.3
6	57	718	4.3	-2.3	3.25	0.3
7	60	697	4.8	-2	3.25	0.3
8	68	252	3.5	-4.2	3.25	0.3
9	57	647	6.2	-2.7	3.25	0.3
10	44	998	6.3	-5.2	3.25	0.3
11	90	0	2.7	-0.7	3.25	0.3
12	91	0	3.1	0.7	3.25	0.3
13	71	305	4.1	-2.8	3.5	0.95
14	70	320	3.2	-2.6	3.5	0.25
15	69	460	2.7	0.2	3.5	1.25
16	86	50	3.2	-3	3.5	0.9
17	55	750	4.6	0.75	3.5	0.3
18	56	700	5.3	3.2	3.5	0.3
19	54	760	4.8	-1.2	3.5	0.3
20	74	282	5.2	-3.5	3.5	0.15
21	32	1957	5.1	-2.5	3.5	0.15
22	33	1946	7.3	-5.2	3.5	0.15
23	59	600	2.8	-5.8	3.5	0.5
24	89	125	0.4	-2.3	3.5	0.15
25	99	0	2.5	3.5	3.5	0.95
26	86	0	3.5	-3	3.5	0.4
27	61	700	5.5	1.6	3.25	0.3
28	73	186	3	-2.3	3.25	0.3
29	55	770	3	-0.8	3.25	0.3
30	49	1050	4.3	-2.3	3.25	0.3
31	65	450	3.8	-0.5	3.25	0.3
32	47	1165	4.3	-2.3	3.25	0.3
33	62	665	4.8	-2	3.25	0.3
34	51	975	3.5	-4.2	3.25	0.3
35	99	0	2.7	-0.7	3.25	0.3
36	101	0	3.1	0.7	3.25	0.3

Πίνακας 31: Λειτουργικές ταχύτητες (V_{85}) επιβατηγών οχημάτων για κίνηση τις βραδινές ώρες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων (εσωτερική λωρίδα)

#	V85	ΕΛΙΚΤΟΤΗ ΤΑ Κc	ΕΠΙΚΛΙΣΕ ΙΣ (%):	ΜΗΚΟΤΟΜΙ ΚΗ ΚΛΙΣΗ (%) :	ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΝΑ ΡΕΥΜΑ:	ΠΛΑΤΟΣ ΕΡΕΙΣΜΑΤΟΣ:
1	60	344	5.5	-1.6	3.25	0.3
2	69	175	3	2.3	3.25	0.3
3	70	137	3	0.8	3.25	0.3
4	48	718	4.3	2.3	3.25	0.3
5	51	600	3.8	0.5	3.25	0.3
6	54	718	4.3	2.3	3.25	0.3
7	54	697	4.8	2	3.25	0.3
8	65	252	3.5	4.2	3.25	0.3
9	53	647	6.2	2.7	3.25	0.3
10	40	998	6.3	5.2	3.25	0.3
11	88	0	2.7	0.7	3.25	0.3
12	88	0	3.1	-0.7	3.25	0.3
13	69	305	4.1	2.8	3.5	0.95
14	71	320	3.2	2.6	3.5	0.25
15	68	460	2.7	-0.2	3.5	1.25
16	83	50	3.2	3	3.5	0.9
17	54	750	4.6	-0.75	3.5	0.3
18	52	700	5.3	-3.2	3.5	0.3
19	52	760	4.8	1.2	3.5	0.3
20	70	282	5.2	3.5	3.5	0.15
21	31	1957	5.1	2.5	3.5	0.15
22	32	1946	7.3	5.2	3.5	0.15
23	57	600	2.8	5.8	3.5	0.5
24	78	125	0.4	2.3	3.5	0.15
25	98	0	2.5	-3.5	3.5	0.95
26	85	0	3.5	2	3.5	0.4
27	59	700	5.5	-1.6	3.75	0.3
28	75	186	3	2.3	3.75	0.3
29	54	770	3	0.8	3.75	0.3
30	48	1050	4.3	2.3	3.75	0.3
31	64	450	3.8	0.5	3.75	0.3
32	46	1165	4.3	2.3	3.75	0.3
33	60	665	4.8	2	3.75	0.3
34	49	975	3.5	4.2	3.75	0.3
35	98	0	2.7	0.7	3.75	0.3
36	100	0	3.1	-0.7	3.75	0.3

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγατζά-Μπαλοδήμου, Α.Μ., “Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις I”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004.
- Awatta M. and Hassan Y., “Towards Establishing an Overall Safety Based geometric Design Consistency Measure”, 4th Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, 2002.
- Βυθούλας Π., “Συστήματα Μεταφορών”, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, Αθήνα, 2006.
- Boutsikas M.V. (2004), “Στατιστικά Προγράμματα”, Τμήμα Στατ. & Ασφ. Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- Bird, R. N. and Hashim, I. H., “Operating Speed and Geometry Relationships for Rural Single Carriageways in the UK”, TRB 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, Illinois, USA, 2005.
- Choueiri Elias M. and Lamm Ruediger, “Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods”, State University of New York Research Foundation, Part I, New York, July 1987.
- Choueiri Elias M. and Lamm Ruediger, “Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods”, State University of New York Research Foundation, Part II, New York, July 1987.
- Elias M. Choueiri, Ruediger Lamm, Juergen H. Kloeckner, and Theodor Mailaender.”Safety Aspects of Individual Design Elements and Their Interactions on Two-Lane Highways: International Perspective”, Transportation Research Record 1445 Pp. 34-46.
- Ζαχαροπούλου, Χ., “Παλινδρόμηση – Συσχέτιση”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Θεσσαλονίκη, 1995.
- Hashim I.H., PhD Thesis Chapter4.
- Μουρατίδης Α., Ηλιού Ν. (1994), “Η οδική ασφάλεια σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της οδού”, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδικής Ασφάλειας, Θεσσαλονίκη.
- Marchionna A., Perco P., “Operating Speed-Profile Prediction Model for Two-Lane Rural Roads in the Italian Context”, International Conference Road Safety and Simulation, Rome, November 2007.
- Montgomery Douglas C., Peck Elizabeth A., G. Vining Geoffrey, “Introduction to Linear Regression Analysis”, Wiley, Canada 1981.
- Norusis Marija J. 2005, “Οδηγός Ανάλυσης Δεδομένων με το SPSS 12.0”, εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Robert A. Yaffee, Ph. D. February 2004, “Regression Analysis with SPSS”, Statistics, Mapping and Social Science Group, New York University.

- Wooldridge Mark D., Fitzpatrick Kay, Harwood Douglas W., Potts Ingrid B., Elefteriadou Lily, Torbic Darren J., *“Geometric Design Consistency on High-Speed Rural Two-Lane Roadways”*, NCHRP Report 502, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2003.
- Φραντζεσκάκης Μ. Ι., Γκόλιας Κ. Ι. (1994), *“Οδική Ασφάλεια”*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Ψαριανός Βασίλειος, *“Σημειώσεις Οδοποιίας Ι. Τεύχος 1”*, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, ΕΜΠ/ΤΑΤΜ, Αθήνα, 2001.
- Ψαριανός Βασίλειος, Γκόλιας Γ., Κονταράτος Μ. και Γιώτης Α. (1994), *“Διερεύνηση παραμέτρων ασφαλείας υπεραστικών οδών”*, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδικής Ασφάλειας, Θεσσαλονίκη.
- Zegeer V. Charles, Deen C. Robert, and Mayes G. Jesse (1981), *“Effects of lane and shoulder widths on accident reduction on rural two-lane roads”*, Transportation Research Record 806, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp 33-43.
- Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. – Γ.Γ.Δ.Ε. (2003), *“Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) – Τεύχος 2: Διατομές, Τεύχος 3: Χαράξεις”*, Αθήνα.
- *“Evaluation of Design Consistency Methods for Two-Lane Rural Highways, Executive Summary”*, Publication No. FHWA-RD-99-173, US Department of Transportation, Federal Highway Administration.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΩΝ



Θέση 1



Θέση 2



Θέση 3

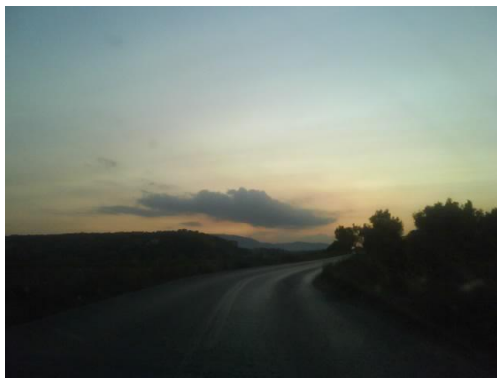




Θέση 4



Θέση 5



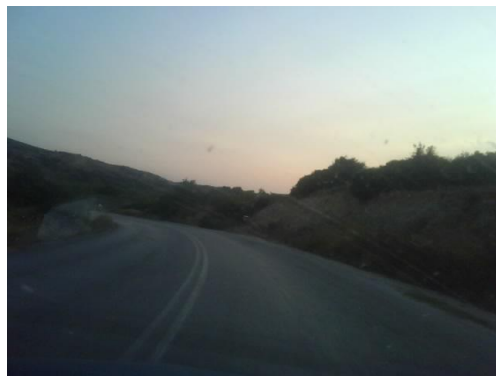
Θέση 6



Θέση 7



Θέση 8



Θέση 9



Θέση 10



Θέση 11



Θέση 12



Θέση 13



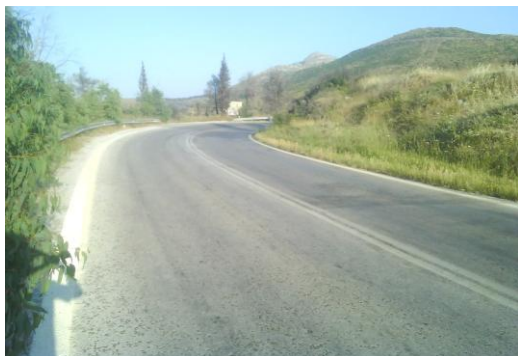
Θέση 14



Θέση 15



Θέση 16



Θέση 17





Θέση 18



Θέση 19

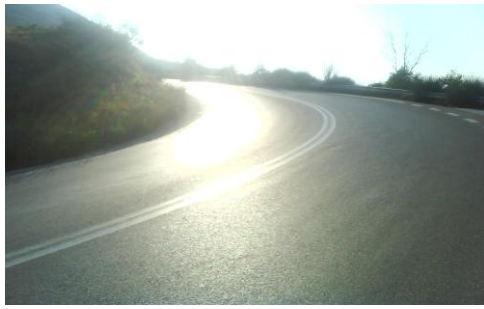


Θέση 20



Θέση 21





Θέση 22



Θέση 23



Θέση 24



Θέση 25





Θέση 26



Θέση 27



Θέση 28





Θέση 29



Θέση 30



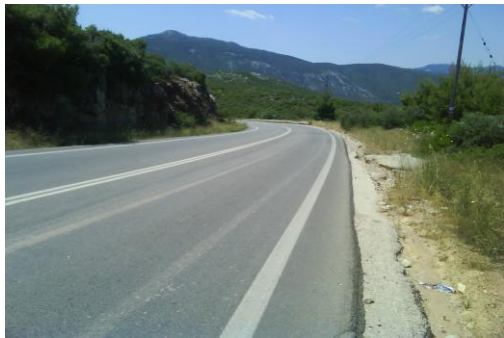
Θέση 31



Θέση 32



Θέση 33



Θέση 34



Θέση 35



Θέση 36

