

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της φοιτήτριας

Αλεξάνδρας Α. Τασγιώργου

A.M. 06107017

**ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΟΔΟΥ
ΣΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Επιβλέπων Καθηγητής:

Κωνσταντίνος Αντωνίου
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εξεταστική Επιτροπή:

Βασίλειος Ψαριανός (Καθηγητής)

Μαρία Παπαδοπούλου (Επικ. Καθηγήτρια)

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

.....
ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ Α. ΤΑΣΙΓΙΩΡΓΟΥ

© Αλεξάνδρα Α. Τασιγιώργου 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αφιερωμένη στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης της Σχολής Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π. στα πλαίσια της εμβάθυνσης «Συγκοινωνιακής Τεχνικής» υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Κωνσταντίνου Αντωνίου, ο οποίος διατύπωσε το αντικείμενο της εργασίας σύμφωνα με τα ειδικά μου ενδιαφέροντα. Με την παρούσα εργασία περατώνονται οι σπουδές μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωσή της.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Αντωνίου για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση που μου παρείχε στην εκπόνηση της Διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και για τις εύστοχες επισημάνσεις του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ και τα μέλη της Επιτροπής κ. Βασίλειο Ψαριανό και κ. Μαρία Παπαδοπούλου για τις πολύτιμες επιστημονικές τους συμβουλές καθώς και τον αναπληρωτή καθηγητή του ΕΜΠ κ. Γεώργιο Γιαννή για την παροχή των απαραίτητων στοιχείων για την πραγματοποίηση της πρακτικής εφαρμογής της εργασίας.

Αλεξάνδρα Α. Τσιγιώργου

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

Επιπτώσεις του γεωμετρικού σχεδιασμού της οδού στην Οδική Ασφάλεια και στο Περιβάλλον

Αλεξάνδρα Α. Τασγιώργου

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Αντωνίου, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Σύνοψη

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη των επιπτώσεων του γεωμετρικού σχεδιασμού μιας οδού στην οδική ασφάλεια και στο περιβάλλον, ενώ εξετάζει σε πρακτικό επίπεδο τη διερεύνηση της επιρροής επιλεγμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών στην οδική ασφάλεια των Ελληνικών αυτοκινητοδρόμων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ευρεία, βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις της γεωμετρίας της οδού στην οδική ασφάλεια, στην ανθρώπινη υγεία και στο φυσικό περιβάλλον και διατυπώθηκαν τα σχετικά αποτελέσματα μεγάλου αριθμού ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο σε σχέση με το ζήτημα αυτό. Δημιουργήθηκαν δύο πίνακες, όπου συνοψίζονται τα συμπεράσματα των ερευνών που μελετήθηκαν και αφορούν σε οδικούς άξονες παγκοσμίως με ποικίλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Από τη βιβλιογραφική έρευνα, φαίνεται πως η γεωμετρία της οδού επηρεάζει σημαντικά την οδική ασφάλεια και το φυσικό περιβάλλον ενώ μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στη διαμόρφωση των οδικών συνθηκών μιας οδού. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η πρακτική εφαρμογή της εργασίας η οποία εξέτασε τη συσχέτιση του αριθμού των ατυχημάτων με επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ελληνικού αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ. Για την εκπόνηση της πρακτικής εφαρμογής της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία τροχαίων ατυχημάτων για τη δεκαετία 1996 – 2006, τα οποία περιέχονται στη βάση δεδομένων της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος (ΕΣΥΕ). Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης των στοιχείων της έρευνας χρησιμοποιήθηκε η γραμμική παλινδρόμηση καθώς και η παλινδρόμηση Poisson και quasi-Poisson. Τα αποτελέσματα της εργασίας αφορούν σε έξι μαθηματικά πρότυπα παλινδρόμησης που συσχετίζουν τον συνολικό αριθμό των παρατηρούμενων τροχαίων και θανατηφόρων ατυχημάτων με επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση αυτοκινητόδρομου καθώς και σε ένα μικτό γραμμικό μοντέλο όπου εκτιμήθηκαν διαφορετικές τιμές για την παράμετρο της κατωφύρειας. Τα βασικότερα συμπεράσματα της εργασίας αφορούν στην ποσοτικοποίηση των σημαντικότερων γεωμετρικών παραμέτρων, με βάση τα δεδομένα μιας μεγάλης χρονικής περιόδου, που επηρεάζουν την εμφάνιση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων τόσο στον εξεταζόμενο όσο και στους υπόλοιπους, ελληνικούς αυτοκινητόδρομους με παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Λέξεις κλειδιά: Γεωμετρία οδού, Οδική ασφάλεια, Φυσικό Περιβάλλον, Αυτοκινητόδρομος, γραμμική παλινδρόμηση, Poisson, quasi-Poisson

The impact of Road geometric design on Road Safety and the Environment

Alexandra A. Tasigiorgou

Supervisor: Constantinos Antoniou, Assistant Professor, NTUA

Abstract

The impact of the road geometric design on road safety and the environment is studied in the present Diploma Thesis, while at the same time the influence of selected geometric features on Greek highways' road safety is investigated. Initially, wide literature survey concerning the effects of road geometry on road safety, human health and the natural environment was carried out, while at the same time the results of various studies that have been conducted worldwide concerning this issue, are being investigated. The conclusions of the wide range of the studies, concerning road segments with various geometric features worldwide that were studied, were summarized in two tables. Through this wide literature research it seems that road geometry affects significantly road safety and the natural environment. Then, the practical application of the Diploma Thesis that examined the correlation between the number of road accidents and selected geometric features of the Greek road axis Patra – Athens – Thessaloniki – Evzoni was carried out. Data concerning the geometric features of the Greek highway as well as raw accident data for the time period 1996 – 2006 were used, which became available from Greece's National Statistical Database (EL.STAT.). In order to carry out the analysis, linear regression as well as Poisson and quasi-Poisson regression methods were used. The results of this research consisted of six mathematic regression models which correlate the total number of road accidents and fatal accidents with the selected geometric features of the selected Greek highway as well as a mixed linear model which estimates different values for the descent parameter. The conclusions of this work concern the identification of the most important geometric parameters that influence the number and frequency of road accidents not only on the selected highway but also on the other Greek highways that present similar geometric characteristics.

Key words: Road Geometry, Road Safety, Natural Environment, Highway, linear regression, Poisson, quasi-Poisson

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σύνοψη	1
Abstract	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	14
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	14
1.1. Εισαγωγή.....	14
1.2. Μεθοδολογικό πλαίσιο.....	16
1.3. Γεωμετρία της οδού.....	20
1.4. Ταχύτητα	23
1.4.1. Καθοριστικές τιμές ταχύτητας.....	24
1.4.2. Σύγκριση μέσης ταχύτητας με άλλες τιμές ταχύτητας	25
1.5. Περιβάλλον.....	26
1.5.1. Έννοια του περιβάλλοντος	26
1.5.2. Δίκαιο του περιβάλλοντος.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	30
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ	30
2.1. Γενικά	30
2.2. Οδική Ασφάλεια.....	31
2.2.1. Τύπος οδού	34
2.2.2. Πλάτος λωρίδας.....	36
2.2.3. Επιφάνεια του οδοστρώματος	38
2.2.4. Λωρίδες αναρρίχησης.....	41
2.2.5. Λωρίδα Εκτάκτου Ανάγκης (ΛΕΑ).....	42
2.2.6. Διαγράμμιση.....	44
2.2.7. Απόσταση από πλευρικά εμπόδια και αντικείμενα	45

2.2.8. Διαχωριστική νησίδα	46
2.2.9. Οριζόντιες καμπύλες.....	49
2.2.10. Κατακόρυφες καμπύλες	60
2.2.11. Μήκος Ορατότητας	64
2.2.12. Επίκλιση	66
2.2.13. Πρανή	68
2.2.14. Γέφυρα.....	69
2.3. Γεωμετρική διάρθρωση της οδού και Ταχύτητα	70
2.4. Ταχύτητα κίνησης και Οδική ασφάλεια	73
2.4.1. Όρια ταχύτητας.....	74
2.4.2. Οδηγική Συμπεριφορά.....	75
2.4.3. Κίνηση σε οριζόντια καμπύλη.....	77
2.5. Παράμετροι προσαρμογής ατυχημάτων (Accident Modification Factors)	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	81
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΟΔΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ...	81
3.1. Γενικά	81
3.2. Φυσικό τοπίο – Αισθητική	82
3.3. Έδαφος	88
3.4. Ατμοσφαιρικό περιβάλλον	90
3.4.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	100
3.4.2. Ταχύτητα κίνησης και επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον	104
3.5. Μικροκλίμα	108
3.6. Ακουστικό περιβάλλον.....	108
3.6.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	109
3.7. Ύδατα – Υδρολογία.....	111
3.8. Χλωρίδα	114
3.9. Πανίδα.....	117
3.10. Αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	126
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ – Ο ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΠΑΘΕ	126
4.1. Γενικά	126

4.2. Το θέμα της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα.....	127
4.3. Αντικείμενο εξέτασης – Οδικός άξονας ΠΑΘΕ.....	130
4.4. Μεθοδολογίες ανάλυσης τροχαίων ατυχημάτων	131
4.1.1. Βασικές αρχές ανάπτυξης προτύπων.....	131
4.1.2. Γραμμική παλινδρόμηση.....	132
4.1.3. Μοντέλο Poisson	133
4.1.4. Αξιολόγηση προτύπων	134
4.5. Συλλογή στοιχείων και επιλογή παραμέτρων προς εξέταση.....	135
4.6. Επεξεργασία στοιχείων - Ανάλυση	138
4.6.1. Στατιστικό πρόγραμμα R Project for Statistical Computing.....	138
4.6.2. Επεξεργασία στοιχείων και παρουσίαση αποτελεσμάτων	141
4.7. Συμπεράσματα.....	150
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	151
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	151
5.1. Προτάσεις.....	151
5.2. Περαιτέρω έρευνα	153
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΜΙΑΣ ΟΔΟΥ	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΔΕΙΚΤΗΣ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, ΥΛΙΚΩΝ ΖΗΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΜΙΑΣ ΟΔΟΥ	37
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΟΔΟ 2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΙΝΤΙΑΝΑ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΡΙΒΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	39
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ	48
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ	48
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	49
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΜΕΣΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΒΑΘΜΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	50
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΜΙΛΙ (ΑΝΑ ΠΕΡΙΠΟΥ 1.6 ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ) ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΒΑΘΜΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	51
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΜΙΛΙ (ΑΝΑ ΠΕΡΙΠΟΥ 1.6 ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ) ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΒΑΘΜΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ LEISCH	51
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	52
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΙΝΘΟΣ - ΠΑΤΡΑ	53
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ ΑΝΤΙΡΡΙΟ – ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	54
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΙΝΘΟΣ – ΠΑΤΡΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΡΡΙΟ - ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	54
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	55
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	56
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	56
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΙΝΘΟΣ - ΠΑΤΡΑ	57
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ ΑΝΤΙΡΡΙΟ – ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	58
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΙΝΘΟΣ – ΠΑΤΡΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΡΡΙΟ – ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	58

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΛΙΣΗ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ	60
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	63
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΚΛΙΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΜΙΑΣ ΟΔΟΥ	67
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΕΝΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΑΠΟ ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΟΔΟΥΣ 2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΜΕΡΙΚΗ	68
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	69
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ CO ₂ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ 0% - 6%	92
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ CO ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ 0% - 6%	92
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ HC ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ 0% - 6%	93
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ NO _x ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ 0% - 6%	93
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ 0% - 6%	94
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ 0% - 9% ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1500 ΚΑΙ 3000 ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ CO ₂ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ 0% - 9% ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1500 ΚΑΙ 3000 ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ CO ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ 0% - 9% ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1500 ΚΑΙ 3000 ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ HC ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ 0% - 9% ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1500 ΚΑΙ 3000 ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	96
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ NO _x ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ 0% - 9% ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1500 ΚΑΙ 3000 ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	96
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (PM _{2.5}) ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΜΕΣ 0% - 9% ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1500 ΚΑΙ 3000 ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	96
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΙΩΝ ΠΟΥ ΣΗΜΕΙΩΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 1% ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (ΑΝΟΙΧΤΟ ΓΚΡΙ), ΥΠΑΡΞΗΣ ΠΙΝΑΚΙΔΩΝ ΣΤΟΠ (ΣΚΟΥΡΟ ΓΚΡΙ) ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΜΕΣΩ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ (ΜΑΥΡΟ) ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	97
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΙΩΝ ΠΟΥ ΣΗΜΕΙΩΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ 0% ΣΕ 6% ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (ΑΝΟΙΧΤΟ ΓΚΡΙ), ΥΠΑΡΞΗΣ ΠΙΝΑΚΙΔΩΝ ΣΤΟΠ (ΣΚΟΥΡΟ ΓΚΡΙ) ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΜΕΣΩ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ (ΜΑΥΡΟ) ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	98
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	99
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39: ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO _x ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	99

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 40: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	99
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 41: ΕΚΠΟΜΠΕΣ HC ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	100
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 42: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	100
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 43: ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO) ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	105
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 44: ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO _x) ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.	105
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 45: Η ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	106
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 46: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	107
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 47 : ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΔΙΚΩΝ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, 1999-2010	128
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 48: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΔΙΚΩΝ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, 1999-2010	128
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 49: ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΒΑΡΙΑ ΤΡΑΥΜΑΤΙΩΝ ΚΑΙ ΝΕΚΡΩΝ, 1999-2010	128
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 50: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ (TOTALACC)	147
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 51: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ (FATALACC)	148

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΛΩΡΙΔΑ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ ΣΕ ΟΔΟ 2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ	41
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΑΝΑΓΛΥΦΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΙΣΗ ΣΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ	44
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΔΕΞΙΟΣΤΡΟΦΗ ΚΑΜΠΥΛΗ	64
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΛΙΣΕΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΟΔΟ	66
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΕΠΙΚΛΙΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΜΙΑΣ ΟΔΟΥ	67
ΕΙΚΟΝΑ 6: Η ΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	75
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΟΙ ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ	76
ΕΙΚΟΝΑ 8: Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΠΑΡΑΒΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΥΘΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗ (ΔΕΞΙΑ)	76
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΟΔΙΚΩΝ ΑΞΟΝΩΝ	77
ΕΙΚΟΝΑ 10: CMFS ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΥΠΑΡΕΧ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ	79
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΠΙΟΥ ΛΟΓΩ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ	82
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΟΡΥΓΜΑΤΑ ΠΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΖΟΥΝ ΤΟ ΤΟΠΙΟ	83
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΜΕΓΑΛΗ ΚΑΤΑΛΗΨΗ ΓΗΣ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΛΩΡΙΔΩΝ	83
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΠΙΟΥ ΛΟΓΩ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ	84
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΔΙΑΙΡΕΜΕΝΗ ΟΔΟΣ 2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΤΑΣΗ ΓΗΣ	85
ΕΙΚΟΝΑ 16 : ΔΙΑΙΡΕΜΕΝΕΣ ΟΔΟΙ ΟΠΟΥ Η ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΤΑΣΗ ΓΗΣ	86
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΔΙΑΙΡΕΜΕΝΕΣ ΟΔΟΙ 2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΑΙ ΛΕΑ, ΜΕΓΑΛΗ ΚΑΤΑΛΗΨΗ ΓΗΣ	86
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΎΝΤΟΝΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΠΙΟΥ ΛΟΓΩ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ	87
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΎΝΤΟΝΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΠΙΟΥ ΛΟΓΩ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ	88
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	89
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ	89
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΤΜΗΜΑ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΣΗ (ΑΝΩΦΕΡΕΙΑ)	91
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΤΜΗΜΑ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΛΙΜΝΗ, ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ ΥΔΑΤΩΝ	112
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΟΔΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΠΟΥ ΔΙΑΤΡΕΧΕΙ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΥΚΝΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	114
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΣΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ	115
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΛΟΓΩ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ	116
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΟΤΟΠΩΝ ΜΕ ΕΠΑΚΟΛΟΥΘΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΟΥΣ	119
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΟΤΟΠΩΝ ΩΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΝΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΟ (ΚΜ2)	119
ΕΙΚΟΝΑ 29: ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΖΩΙΚΟΥΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥΣ	120

ΕΙΚΟΝΑ 30: ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΣΗΜΑΝΣΗ ΠΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΕΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΖΩΙΚΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	120
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ ΠΤΗΝΩΝ ΣΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ	121
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΖΩΙΚΟΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ ΔΙΑΣΧΙΖΟΥΝ ΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ	122
ΕΙΚΟΝΑ 33: ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΕΠΕΝΔΥΜΕΝΗ ΜΕ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	123
ΕΙΚΟΝΑ 34: ΟΔΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ ΠΟΥ ΔΥΣΧΕΡΑΙΝΕΙ ΤΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΖΩΙΚΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ	123
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΖΩΙΚΟΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ – ΘΥΜΑΤΑ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΑΞΟΝΩΝ	123
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ	130
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ R STUDIO ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ R	139
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΑΡΧΕΙΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	140

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΜΙΑΣ ΟΔΟΥ	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΤΡΙΒΗΣ ΣΕ ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΕ ΟΔΟ 2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΙΝΤΙΑΝΑ	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗ ΤΗΣ ΛΕΑ, ΑΣΦΑΛΤΟΣΤΡΩΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΜΗ, ΓΙΑ ΟΔΟΥΣ 2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΟΔΙΚΗΣ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΕΝΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ (ΔΕΝΤΡΑ, ΟΧΕΤΟΙ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΙΔΕΣ, ΣΤΗΘΑΙΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΦΡΑΧΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ)	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΟΔΩΝ	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΥ	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ CO ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΕΚΘΕΣΗΣ	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΜΕΓΕΘΟΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΔΙΚΩΝ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΟΝΤΩΝ ΠΡΟΣΩΠΩΝ, 1999-2011	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΠΑΘΕ	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ (TOTALACC)	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ (FATALACC)	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΚΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ	149
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΚΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΚΑΤΩΦΕΡΕΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΔΙΚΟ ΤΜΗΜΑ	149

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1. Εισαγωγή

Η αυξανόμενη ανάγκη για μεταφορές και οι συνεχείς απαιτήσεις για επικοινωνία έχει οδηγήσει σε σημαντική ανάπτυξη των οδικών δικτύων παγκοσμίως γεγονός που επηρεάζει πολυποίκιλα κάθε χώρα. Μια οδός αποτελεί άξονα επικοινωνίας που ενώνει περιοχές, δήμους, νομούς αλλά και χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο εξυπηρετώντας τη μεταφορά αγαθών, τις ανάγκες μετακίνησης προς κάθε κέντρο ενδιαφέροντος αλλά και την επικοινωνία των μελών κάθε κοινωνίας. Ένας οδικός άξονας, ωστόσο, ως κατασκευαστικό στοιχείο που διασχίζει περιοχές και εξυπηρετεί μετακινήσεις, επιφέρει ποικίλες θετικές και αρνητικές επιπτώσεις, τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο.

Κάθε οδικός άξονας παγκοσμίως καθορίζεται από συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, διασχίζει πολλές περιοχές, ανάλογα με το σκοπό και τις απαιτήσεις των μετακινήσεων που εξυπηρετεί, και χαρακτηρίζεται από κυκλοφοριακούς φόρτους το μέγεθος των οποίων ποικίλει ανάλογα με το είδος του (αυτοκινητόδρομος, αστική οδός κ.λ.π.). Συνεπώς, υπάρχουν πολλά στοιχεία, που επηρεάζουν το καθένα ξεχωριστά και μοναδικά τις περιοχές που διασχίζει μια οδός και τα οποία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος των επιπτώσεων αυτών. Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την επιρροή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός οδικού άξονα στην οδική ασφάλεια, στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον μιας περιοχής καθώς μια οδός αποτελεί κατασκευαστικό στοιχείο που καθορίζει αλυσιδωτά τη ζωή και το περιβάλλον που αναπτύσσεται γύρω από αυτή.

Αρχικά, μελετήθηκε ένα ευρύ φάσμα βιβλιογραφικών ερευνών που έχουν ασχοληθεί με τις επιπτώσεις της γεωμετρίας της οδού στην οδική ασφάλεια, στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στο φυσικό περιβάλλον προκειμένου να αποκτηθεί μια ολοκληρωμένη και εμπειριστατωμένη εικόνα του ζητήματος που αποτελεί σημαντικό θέμα κάθε κοινωνίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη συνέχεια, μέσω των ποικίλων συμπερασμάτων των ερευνών που μελετήθηκαν, αποκτήθηκαν οι απαραίτητες γνώσεις και τέθηκε η κατεύθυνση που οδήγησε στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας το οποίο αφορά στην εξέταση της συσχέτισης του αριθμού των ατυχημάτων, με επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού άξονα ΠΑΘΕ (Πάτρα – Αθήνα – Θεσσαλονίκη – Εύζωνοι). Πρόκειται για εμβάθυνση στο θέμα της οδικής ασφάλειας το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο σοβαρά και πολύπλοκα ζητήματα που απασχολούν κάθε κοινωνία παγκοσμίως. Επιπλέον, το μεγαλύτερο κομμάτι της ευρείας βιβλιογραφικής έρευνας που μελετήθηκε, αφορούσε σε οδικούς άξονες διεθνώς και θεωρήθηκε σημαντικό να μελετηθεί το υπό εξέταση ζήτημα σε οδικό άξονα της Ελλάδας στον οποίο οι κυκλοφοριακές συνθήκες, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το περιβάλλον διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα των άλλων χωρών.

Στόχος, συνεπώς, της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη της επιρροής του γεωμετρικού σχεδιασμού μιας οδού στην οδική ασφάλεια και στο περιβάλλον και σε πρακτικό επίπεδο, η διερεύνηση της συσχέτισης του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων, που σημειώνονται σε έναν οδικό άξονα της Ελλάδας, με επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, με απώτερο σκοπό την δυνατότητα εφαρμογής των συμπερασμάτων στην εξέταση της οδικής ασφάλειας και σε άλλους οδικούς άξονες της χώρας που

παρουσιάζουν παρόμοια γεωμετρικά στοιχεία με τον υπό εξέταση αυτοκινητόδρομο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται ένας από τους πιο βασικούς, ελληνικούς αυτοκινητόδρομους για τον οποίον έχουν συγκεντρωθεί τα απαραίτητα στοιχεία με στόχο την κατασκευή αξιόπιστων προτύπων πρόβλεψης ανά δεκαετία και ανά 200 μέτρα του οδικού άξονα.

Το ζήτημα της οδικής ασφάλειας είναι σημαντικό για αυτό και η παρούσα διπλωματική εργασία εστίασε την πρακτική της εφαρμογή στην εξέταση του θέματος αυτού μέσα από τη σκοπιά της γεωμετρίας της οδού. Οι νεκροί, οι τραυματίες και οι υλικές ζημιές που προκαλούνται στα οδικά ατυχήματα έχουν ένα τεράστιο κοινωνικό και οικονομικό κόστος και ο περιορισμός τους αποτελεί προτεραιότητα τόσο για την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και για κάθε μέλος της χωριστά. Εκτιμάται ότι το οικονομικό κόστος των οδικών ατυχημάτων που συμβαίνουν ετησίως στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανέρχεται περίπου σε 70 δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ το αντίστοιχο κοινωνικό κόστος είναι ανυπολόγιστο (Κανελλαΐδης & Κοζομπόλης 2004). Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO), 1,2 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο σε οδικά ατυχήματα ενώ οι τραυματίες ξεπερνούν τα πενήντα εκατομμύρια. Σύμφωνα με τις ίδιες πηγές οι αριθμοί αυτοί θα αυξηθούν κατά 65% μέσα στην επόμενη εικοσαετία εάν δεν υπάρξει εντατικότερη προσπάθεια για βελτίωση στον τομέα αυτό. Τα τελευταία χρόνια στην Ευρωπαϊκή Ένωση (E.E.) τα οδικά ατυχήματα είναι η αιτία για το θάνατο σχεδόν 110 Ευρωπαίων πολιτών ημερησίως.

Πραγματοποιώντας μια πιο συγκεκριμένη αναφορά στο ζήτημα αυτό στην Ελλάδα, τονίζεται ότι η συνεχής αύξηση των μετακινήσεων που συνδέεται άμεσα με την αύξηση των οδικών ατυχημάτων στη χώρα, έχει οδηγήσει σε συστηματικότερη και εντατικότερη λήψη μέτρων με γνώμονα το Στρατηγικό Σχέδιο για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Η πολυπλοκότητα και το πλήθος των παραγόντων που επηρεάζουν την επικινδυνότητα των οδικών αξόνων και τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων προσφέρουν ένα ευρύ πλαίσιο έρευνας στον τομέα της οδικής ασφάλειας με στόχο την βελτίωσή της. Σε εθνικό επίπεδο μια τέτοια έρευνα γίνεται δυνατή εφόσον καθοριστούν πλήρως τα χαρακτηριστικά των οδικών τμημάτων που θα μελετηθούν (Κανελλαΐδης & Κοζομπόλης 2004).

Οι παράγοντες των οποίων εξετάζεται η επιρροή στο επίπεδο της επικινδυνότητας ενός οδικού άξονα, επιλέγονται τόσο με βάση εμπειρικά κριτήρια όσο και μέσω της αποκτηθείσας εμπειρίας και γνώσης από την ευρεία βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε σχέση με το υπό εξέταση θέμα. Ύστερα από μεγάλο αριθμό δοκιμών και επαναλήψεων πραγματοποιήθηκε η επιλογή των παραγόντων που συμπεριλήφθηκαν στα τελικά πρότυπα που διατυπώθηκαν με στόχο αυτά τα προκύψουν στατιστικά ικανοποιητικά και να συμβαδίζουν με τη λογική. Τα πρότυπα αυτά κρίθηκαν αξιόπιστα και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η παρούσα διπλωματική δύναται να αποτελέσουν χρήσιμες πηγές για μελλοντικές εργασίες και έρευνα σε συναφή θέματα. Επιπλέον, η ευρεία βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, συγκέντρωσε τα αποτελέσματα μεγάλου αριθμού ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και αφορούν στο ζήτημα των επιπτώσεων του γεωμετρικού σχεδιασμού μιας οδού στην οδική ασφάλεια και στο περιβάλλον, εξετάζοντας σημαντικό αριθμό οδικών αξόνων που παρουσιάζουν ποικίλα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά και αποτελώντας μια σημαντική πηγή δεδομένων για μελλοντική έρευνα.

1.2. Μεθοδολογικό πλαίσιο

Στα πλαίσια του συγκοινωνιακού ζητήματος που σχετίζεται με την εξέλιξη της κοινωνίας, το ζήτημα των επιπτώσεων μιας οδού στην ανθρώπινη ασφάλεια και υγεία καθώς και στο ευρύτερο φυσικό περιβάλλον της περιοχής την οποία διασχίζει, αποτελεί σημαντικό θέμα που είναι αντικείμενο μελέτης κάθε χώρας παγκοσμίως. Το βασικό αλλά και ενδιαφέρον αυτό ζήτημα αποτέλεσε και την αφορμή της παρούσας διπλωματικής εργασίας η οποία επιχείρησε μέσω μιας σφαιρικής μελέτης των παγκόσμιων μελετών που αφορούν στο συγκεκριμένο θέμα να εξετάσει σε πρακτικό επίπεδο τη σοβαρότητά του στα πλαίσια της Ελλάδας. Στην ενότητα αυτή περιγράφεται το μεθοδολογικό πλαίσιο μέσα στο οποίο κινήθηκε η εργασία ενώ πραγματοποιείται συνοπτική αναφορά σε κάθε κεφάλαιο προκειμένου να δοθεί μια αρχική, εμπεριστατωμένη εικόνα της προσέγγισης του εξεταζόμενου θέματος.

Αναφέρεται ότι στα αρχικά στάδια της εργασίας, μετά την επιθυμία ενασχόλησης με το συγκεκριμένο συγκοινωνιακό ζήτημα, σκοπός ήταν ο ακριβής καθορισμός του αντικειμένου που θα εξεταζόταν. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία που θα μπορούσαν να αποκτηθούν αλλά και την εξέταση διαφόρων εναλλακτικών τρόπων προσέγγισης του αντικειμένου της διερεύνησης της συσχέτισης της γεωμετρίας της οδού με την οδική ασφάλεια και το περιβάλλον, καθορίστηκε μερικώς ο επιδιωκόμενος στόχος. Στα επόμενα στάδια, κατά την πορεία των αναλύσεων, της αναζήτησης βιβλιογραφίας καθώς και της συλλογής στοιχείων το πλαίσιο της εργασίας και ο στόχος της οριστικοποιήθηκαν.

Στη συνέχεια, μετά τον μερικό καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου ακολούθησε μια ευρείας κλίμακας βιβλιογραφική αναζήτηση γύρω από το σημαντικό ζήτημα των επιπτώσεων του γεωμετρικού σχεδιασμού μιας οδού στην οδική ασφάλεια και στο φυσικό περιβάλλον. Κατά το στάδιο αυτό αναζητήθηκαν έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας που αρχικά είχαν στόχο την ικανοποιητική και εμπεριστατωμένη ενημέρωση γύρω από το εξεταζόμενο θέμα και σε επόμενη φάση θα μπορούσαν να υποδείξουν πιθανές προσεγγίσεις του προς εξέταση αντικειμένου αλλά και μεθοδολογίες που είχαν εφαρμοστεί σε ευρύ φάσμα εφαρμογών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της στατιστικής ανάλυσης. Κυριότερη πηγή αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών ήταν το διαδίκτυο μέσω εξειδικευμένων μηχανών αναζήτησης επιστημονικών περιοδικών και πρακτικών συνεδρίων αλλά και η βιβλιοθήκη του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Αναλυτικότερα στοιχεία παρατίθενται στο κεφάλαιο της βιβλιογραφίας.

Πιο συγκεκριμένα, στο **Κεφάλαιο 1** της εργασίας πραγματοποιείται σύντομη περιγραφή των εννοιών που απασχόλησαν την εργασία σε όλα της τα στάδια. Ορίζονται οι έννοιες της γεωμετρίας της οδού, όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί από την ευρεία βιβλιογραφική έρευνα που μελετήθηκε, ενώ πραγματοποιείται πιο συγκεκριμένη αναφορά στα στοιχεία της γεωμετρίας ενός οδικού άξονα που αναλύθηκαν, τόσο στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας όσο και στο πρακτικό. Επιπλέον, πραγματοποιείται αναφορά στην έννοια και στο δίκαιο του περιβάλλοντος καθώς αυτό θίγεται σημαντικά τόσο από την παρουσία ενός οδικού άξονα όσο και πιο συγκεκριμένα από τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Τέλος, ορίζεται η έννοια της ταχύτητας κίνησης η οποία καθορίζεται από τη γεωμετρία της οδού και επηρεάζει τόσο άμεσα όσο και έμμεσα την οδική ασφάλεια, την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Το **Κεφάλαιο 2** αποτελεί ένα ευρύ κεφάλαιο στο οποίο συνοψίζονται τα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα των ερευνών που μελετήθηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο και αφορούν στις επιπτώσεις που επιφέρει η γεωμετρία της οδού καθώς και η ταχύτητα στην οδική ασφάλεια. Πρόκειται για μια σύνοψη του

μεγάλου αριθμού των βιβλιογραφικών πηγών που μελετήθηκαν από τη δεκαετία του 50 έως και το 2012 και τα οποία έχουν εξετάσει το συγκεκριμένο ζήτημα. Υπήρχε μεγάλο ενδιαφέρον γύρω από τις μελέτες αυτές καθώς πρόκειται για πάνω από μισό αιώνα που οι κοινωνίες παγκοσμίως αντιλήφθηκαν τη σημαντικότητα των επιπτώσεων της γεωμετρίας της οδού στο ευρύ περιβάλλον των περιοχών και στην οδική ασφάλεια. Σε όλο το κεφάλαιο έχουν αναφερθεί για κάθε γεωμετρικό χαρακτηριστικό ενός οδικού άξονα οι επιπτώσεις και το μέγεθος αυτών στην οδική ασφάλεια ενώ κατασκευάστηκε και παρατίθεται στο παράρτημα της εργασίας πίνακας όπου συγκεντρώνονται συνοπτικά όλες οι επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια για κάθε γεωμετρικό χαρακτηριστικό με τις αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές.

Επιπλέον, στα πλαίσια του κεφαλαίου αυτού, πραγματοποιείται αναφορά στις επιπτώσεις της ταχύτητας κίνησης στην οδική ασφάλεια και παρατίθενται στοιχεία ερευνών από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί κυρίως στην Ελλάδα. Όπως αναφέρεται αναλυτικά στην αντίστοιχη υποενότητα, η ταχύτητα καθορίζεται από το γεωμετρικό σχεδιασμό μιας οδού και αποτελεί το πιο βασικό λειτουργικό της χαρακτηριστικό που επιδρά σε μεγάλο βαθμό στην οδική ασφάλεια. Σημαντική, ωστόσο, κρίνεται και η συμβολή του χρήστη της οδού στην οδική ασφάλεια γι αυτό και πραγματοποιείται αναφορά και στην οδική συμπεριφορά που αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ασφάλεια μίας οδού. Η τελευταία υποενότητα του κεφαλαίου αναφέρεται στις παραμέτρους προσαρμογής ατυχημάτων (Accident Modification Factors) οι οποίες χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν τη μείωση στον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνεται όταν σε μια περιοχή ενός οδικού άξονα πραγματοποιούνται γεωμετρικές και λειτουργικές βελτιώσεις.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφονται οι επιπτώσεις του γεωμετρικού σχεδιασμού μιας οδού στο φυσικό περιβάλλον μιας περιοχής ενώ παράλληλα δίνεται έμφαση στο μέγεθος της επιρροής αυτής. Από την ευρεία μελέτη των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε οδικούς άξονες σε παγκόσμιο επίπεδο προκύπτει πως οι επιπτώσεις της γεωμετρίας της οδού σε πολλές περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως το έδαφος, τα ύδατα, η χλωρίδα και η πανίδα, είναι σημαντικές και πολλές από αυτές μη αναστρέψιμες. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται αναφορά και στις επιπτώσεις την ανθρώπινη υγεία κυρίως από τη ρύπανση και την ηχορύπανση ενώ τονίζεται και η συμβολή της ταχύτητας στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα συμπεράσματα των ερευνών που έχουν μελετηθεί και αναφερθεί διεξοδικά στα πλαίσια του κεφαλαίου αυτού, συνοψίζονται σε πίνακα που παρατίθεται στο παράρτημα της εργασίας μαζί με τις αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές.

Στο **Κεφάλαιο 4** μετά την ολοκλήρωση του θεωρητικού υποβάθρου της εργασίας και την ευρεία βιβλιογραφική έρευνα του ζητήματος των επιπτώσεων της γεωμετρίας της οδού στην οδική ασφάλεια και στο φυσικό περιβάλλον, οριστικοποιήθηκε το πρακτικό τμήμα της εργασίας στο θέμα της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα. Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο, ο αριθμός των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα σε σχέση με το συγκεκριμένο ζήτημα είναι μικρός καθώς τα στοιχεία είναι περιορισμένα και ελλιπή. Γι αυτό και η συγκεκριμένη εργασία επιχείρησε να συνεισφέρει στον τομέα αυτό μέσω της μελέτης ενός από τους πιο επικίνδυνους και σημαντικούς οδικούς άξονες της χώρας, του ΠΑΘΕ. Ακολούθησε η συλλογή και η επεξεργασία των στοιχείων που θα αποτελούσαν τη βάση για τη στατιστική ανάλυση. Έχοντας γνώση του επιδιωκόμενου στόχου οριστικοποιήθηκαν τα στοιχεία που έπρεπε να συλλεχθούν και οργανώθηκε ο τρόπος αναζήτησης τους, καθορίστηκε δηλαδή η πηγή που έπρεπε να αναζητηθεί ή κάθε οικογένεια στοιχείων. Αποκλειστική πηγή συλλογής στοιχείων που αφορούσαν τα οδικά ατυχήματα ήταν η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΕΣΥΕ). Η ΕΣΥΕ περιέχει στοιχεία οδικών ατυχημάτων που συνέβησαν σε ολόκληρο το οδικό δίκτυο της Ελλάδας για την περίοδο

1996-2006 τα οποία οργανώνονται, καταγράφονται και συλλέγονται από τα Δελτία Οδικών τροχαίων Ατυχημάτων (Δ.Ο.Τ.Α.) τα οποία συμπληρώνει η Τροχαία μετά από κάθε οδικό ατύχημα.

Σε επόμενο στάδιο, ακολούθησε η διαδικασία ομαδοποίησης και αντιστοίχισης αυτών μεταξύ τους με σκοπό να δημιουργηθεί μια σειρά από αναλυτικούς πίνακες, οι οποίοι θα τροφοδοτούσαν το λογισμικό με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι στατιστικές αναλύσεις. Για τη δημιουργία των πινάκων αυτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel της Microsoft. Στη συνέχεια, οι προς μελέτη μεταβλητές και τα στοιχεία κατηγοριοποιήθηκαν και μετασχηματίστηκαν κατάλληλα, έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί σωστά η ανάλυση τους. Στη φάση αυτή χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό R Project for Statistical Computing και στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των στοιχείων.

Μετά την κατασκευή της βάσης δεδομένων ακολούθησε η στατιστική ανάλυση των δεδομένων για την εξαγωγή των προτύπων που περιγράφουν τον αριθμό των ατυχημάτων του εξεταζόμενου οδικού άξονα, η διεξαγωγή και τέλος η ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Για τους σκοπούς της εργασίας εξετάστηκαν διάφορες πιθανές προσεγγίσεις και τελικά επιλέχθηκε να γίνει η χρήση της απλής, γραμμικής παλινδρόμησης (παλινδρόμηση του Gauss) καθώς και της παλινδρόμησης Poisson και quasi-Poisson στα πλαίσια του γενικευμένου γραμμικού μοντέλου (Generalized Linear Model). Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκαν έξι μαθηματικά πρότυπα χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τον συνολικό αριθμό των συνολικών και θανατηφόρων ατυχημάτων για την χρονική περίοδο 1996 – 2006 και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τρία επιλεγμένα στοιχεία της γεωμετρίας της οδού για τρία τμήματα του οδικού άξονα ΠΑΘΕ. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε μικτό γραμμικό μοντέλο (Mixed Linear Model) για το συνολικό αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων και για τα τρία οδικά τμήματα που εξετάστηκαν, στο οποίο διαφοροποιείται η εκτίμηση της παραμέτρου της κατωφέρειας για κάθε οδικό τμήμα. Πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή όσων αναφέρθηκαν παραπάνω στο τέταρτο κεφάλαιο, μαζί με την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν και συνοψίζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

Στο σημείο αυτό αναφέρονται δύο διπλωματικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν το 2002 και αφορούν στον ίδιο οδικό άξονα που εξετάστηκε στην πρακτική εφαρμογή της παρούσας εργασίας, τον ΠΑΘΕ. Η πρώτη εργασία εξέτασε τη συσχέτιση του αριθμού των ατυχημάτων με την ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού και την ΕΜΗΚ (Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία) για τα επίπεδα και ευθύγραμμα τμήματα του ΠΑΘΕ, μέσω της χρήσης της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης και μόνο για μία τριετία (1996-1999) (Μπουρνελάκη 2002). Η επόμενη εργασία μελέτησε τη συσχέτιση του αριθμού των ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας και δεξιάς στροφής, με την κατωφέρεια, την ηλικία του οδηγού, τον αριθμό των λωρίδων ανά κατεύθυνση και τη διαγράμμιση των κατευθύνσεων με τη μέθοδο της απλής, γραμμικής παλινδρόμησης, για μια τριετία (1996-1999) (Καπότσης 2002).

Από την πρώτη εργασία προέκυψαν τρία μοντέλα ενώ από τη δεύτερη δύο. Η πρακτική εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει μελετήσει τρία οδικά τμήματα με ποικίλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και έχει εξετάσει τη συσχέτιση του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων με την ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας, ευθυγραμμίας και κατωφέρειας μελετώντας στοιχεία ατυχημάτων μια δεκαετία (1996-2006), εφαρμόζοντας την κανονική κατανομή καθώς και τις κατανομές του Poisson και quasi-Poisson. Από τη μελέτη προέκυψαν έξι μαθηματικά μοντέλα που εκφράζουν το επίπεδο της οδικής ασφάλειας των τριών οδικών τμημάτων σε συνάρτηση με τα επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που

αναφέρθηκαν καθώς και ένα μικτό γραμμικό μοντέλο στο οποίο διαφοροποιείται η εκτίμηση της παραμέτρου της κατωφέρειας για κάθε οδικό τμήμα που εξετάστηκε.

Στο **Κεφάλαιο 5**, με βάση τα συμπεράσματα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, σημειώθηκαν τα σημαντικότερα σημεία που προέκυψαν κατά την ανάλυση των στοιχείων έτσι ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους σε μελλοντικές εργασίες ενώ πραγματοποιήθηκε η διατύπωση κάποιων προτάσεων που αφορούν τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Επίσης, πραγματοποιούνται μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα καθώς και ορισμένες προτάσεις βελτίωσης τόσο του υπό εξέταση οδικού άξονα όσο και των υπόλοιπων αυτοκινητόδρομων που παρουσιάζουν παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Τέλος, παρατίθεται η εκτενής βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε από όπου ο αναγνώστης μπορεί να ενημερωθεί πιο συγκεκριμένα για οποιοδήποτε κομμάτι του θέματος που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία και να τη χρησιμοποιήσει ως υπόβαθρο για περαιτέρω έρευνα.

1.3. Γεωμετρία της οδού

Η γεωμετρία μιας οδού αποτελεί με την ευρύτερη έννοιά της τη χάραξη, δηλαδή τη λειτουργική μελέτη της πορείας του άξονα του κυκλοφοριακού δρόμου (*Pietzsch W. 1976*). Η γεωμετρία μιας οδού περιλαμβάνει κυρίως τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και της διατομής καθώς και το μήκος ορατότητας ενώ αφορά και στους ανακάμπτοντες ελιγμούς και στις ανακάμψεις. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας ενός οδικού άξονα αποτελούν οι κόμβοι, οι γέφυρες καθώς και οι σήραγγες. Πιο συγκεκριμένα, τα γεωμετρικά στοιχεία μιας οδού είναι (*Ψαριανός 2001*):

➤ Οριζοντιογραφία

- Ευθυγραμμία
- Κυκλικό τόξο
- Ελάχιστες ακτίνες
- Τόξο συναρμογής (απλό τόξο συναρμογής, κλωθοειδής κορυφής, S-καμπύλη, ωοειδής καμπύλη, κλωθοειδής κανίστρου, C-κλωθοειδής)
- Διαπλατύνσεις
- Ανακάμπτοντες ελιγμοί

➤ Μηκοτομή

- Κατά μήκος κλίση της οδού (μέγιστη και ελάχιστη)
- Καμπύλες κυρτωμάτων και κοιλωμάτων (κατακόρυφα, κυρτά και κοίλα τόξα στρογγύλευσης)
- Ανακάμπτοντες ελιγμοί

➤ Διατομή

- Χώρος ελεύθερος εμποδίων (περιτύπωμα)
- Ερείσματα
- Επίκλιση σε καμπύλες
- Εγκάρσια κλίση στις ευθυγραμμίες

- Λοξή κλίση
- Διαπλάτυνση στις καμπύλες
- Πρανή
- Διεύρυνση οδοστρώματος

➤ Ορατότητα

- Μήκος ορατότητας για στάση
- Μήκος ορατότητας για συνάντηση
- Μήκος προσπεράσματος

Στο σημείο αυτό, αναφέρονται συνοπτικά και πιο συγκεκριμένα εκείνα τα στοιχεία της γεωμετρίας μιας οδού των οποίων εξετάστηκε η επιρροή στην οδική ασφάλεια:

➤ Οριζοντιογραφία

- Αριθμός λωρίδων οδού
- Πλάτος λωρίδας: Το πλάτος της λωρίδας ενός οδικού άξονα, συμπεριλαμβανομένης και της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ), αποτελεί γεωμετρικό χαρακτηριστικό του που επηρεάζει την οδική ασφάλεια.
- Λωρίδες αναρρίχησης
- Κατάσταση οδοστρώματος (τριβή, φθορές)
- Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) και χαρακτηριστικά της (πλάτος, διαγράμμιση, απόσταση από πλευρικά αντικείμενα): Η ΛΕΑ αποτελεί ακραία λωρίδα ενός οδικού άξονα που επηρεάζει ξεχωριστά την οδική ασφάλεια και το ευρύτερο περιβάλλον μιας περιοχής τόσο μέσω του εύρους του πλάτους της όσο και μέσω της προστατευτικής περιφράξης με την οποία ενισχύεται σε πολλές περιπτώσεις οδικών αξόνων.
- Μεσαία νησίδα και χαρακτηριστικά της (πλάτος): Η ύπαρξη ή μη διαχωριστικής νησίδας αποτελεί στοιχείο στις γεωμετρίας μιας οδού που επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια.
- Οριζόντιες καμπύλες και χαρακτηριστικά τους (βαθμός καμπυλότητας, ακτίνα, μήκος και συχνότητα κατά μήκος ενός οδικού άξονα)
- Τόξα συναρμογής

➤ Μηκοτομή

- Κατακόρυφες καμπύλες και χαρακτηριστικά τους (βαθμός καμπυλότητας, κλίση, μήκος και συχνότητα): Η κλίση του οδοστρώματος αποτελεί ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας μιας οδού που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια. Η συχνότητα της ύπαρξης ανωφέρειας ή κατωφέρειας καθώς και το μέγεθος της κλίσης επιφέρουν διαφορετικού μεγέθους επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια.
- Επίκλιση
- Κλίση πρηνών εκατέρωθεν οδικού άξονα

➤ Ορατότητα

- Μήκος ορατότητας

➤ Ιδιαίτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- Γέφυρα

1.4. Ταχύτητα

Η ταχύτητα αποτελεί το βασικότερο λειτουργικό χαρακτηριστικό μιας οδού που καθορίζεται από τα γεωμετρικά της στοιχεία και επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την οδική ασφάλεια καθώς και τον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο μιας περιοχής μέσω της εκπομπής ρύπων.

Στο παρόν υποκεφάλαιο αναφέρεται η έννοια της ταχύτητας κίνησης της οποίας οι επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια και στο ευρύτερο περιβάλλον μιας περιοχής αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια. Εξετάζοντας την κίνηση ενός οχήματος από την οπτική γωνία της ερευνητικής διαδικασίας, η πραγματική ταχύτητα κίνησής του μπορεί να περιγραφεί με δύο τρόπους: ως η στιγμιαία ταχύτητα που έχει το εν λόγω όχημα καθώς διασχίζει ένα συγκεκριμένο σημείο μιας ορισμένης οδού και με έναν συγκεκριμένο οδηγό, οπότε και πραγματοποιείται η μέτρηση, και ως η μέση ταχύτητα κίνησης του οχήματος, δηλαδή ως μια μέση τιμή ταχύτητας μεταξύ δύο σημείων στην οδό τα οποία απέχουν μια σημαντική απόσταση το ένα από το άλλο (*Taylor et al. 2000*). Από τις δύο αυτές περιπτώσεις, ειδικότερα η μέτρηση της στιγμιαίας ταχύτητας είναι εκείνη που ενδιαφέρει στην πλειοψηφία τους έρευνες σχετικά με τις πιθανότητες και τα ποσοστά ατυχημάτων σε ορισμένη οδό, και γι' αυτό το λόγο η συλλογή δεδομένων ταχύτητας σε περιστάσεις ατυχημάτων αφορούν στη στιγμιαία τιμή της ταχύτητας σε κρίσιμες χρονικές στιγμές.

Δεν μπορεί, ωστόσο, να γίνει αναφορά μόνο στην ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος, όπως αυτή μπορεί να μετρηθεί στιγμιαία ή να εκτιμηθεί από τον οδηγό ή από κάποιον περαστικό. Ακόμα και αν σε διαφορετικές περιστάσεις οι μετρήσεις της στιγμιαίας ταχύτητας περιλαμβάνουν τον ίδιο οδηγό με το ίδιο όχημα, ο οποίος περνάει από το ίδιο σημείο στην οδό, είναι παραπάνω από αναμενόμενο οι μετρήσεις της στιγμιαίας ταχύτητας κίνησης να διαφέρουν μεταξύ τους. Επιπρόσθετα, η απόλυτη ταχύτητα όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον καθένα ξεχωριστά, δεν έχει κανένα νόημα εάν δεν συσχετιστεί με παράγοντες του περιβάλλοντα οδικού χώρου, του οχήματος, της κυκλοφοριακής ροής ή του ίδιου του οδηγού (*Taylor et al. 2000*). Τέλος, είναι σαφές πως δε διέρχεται ένα μόνο όχημα από κάποια οδό, συνεπώς δεν ενδιαφέρει η συμπεριφορά του ενός οχήματος αλλά η διασπορά των στιγμιαίων ταχυτήτων ενός μεγάλου αριθμού οχημάτων, προκειμένου τα μαθηματικά μοντέλα να διατηρήσουν υψηλά ποσοστά αξιοπιστίας στα αποτελέσματα που παράγουν.

Στο ζήτημα που περιγράφηκε παραπάνω δίνουν λύση ορισμένες παράμετροι στατιστικής φύσης, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί στην προσπάθεια μελέτης και επεξεργασίας των κυκλοφοριακών φαινομένων, και ειδικά εκείνων που οδηγούν σε περιστάσεις ατυχήματος με ή χωρίς απώλειες ζωής. Από αυτές, κυρίαρχο ρόλο κατέχει η μέση ταχύτητα κίνησης σε μια οδό (*Taylor et al. 2000*), με άλλα λόγια ο μέσος όρος των στιγμιαίων πραγματικών ταχυτήτων των οχημάτων που έχουν καταγεγραμμένα διασχίσει την οδό σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Εύκολα εξάγεται το συμπέρασμα πως η τιμή της μέσης ταχύτητας μεταβάλλεται από οδό σε οδό ανάλογα με το είδος της, όπως αυτό καθορίζεται από τον αριθμό των λωρίδων που διαθέτει και ως εκ τούτου από τη γεωμετρία της. Ωστόσο, η μέση ταχύτητα κίνησης δεν είναι η μοναδική στατιστική ποσότητα που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της ερευνητικής διαδικασίας (*Taylor et al. 2000*).

1.4.1. Καθοριστικές τιμές ταχύτητας

Η κατανόηση της επίδρασης που έχει η μέση ταχύτητα κίνησης στο φυσικό περιβάλλον και στην ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής επιβάλλει τη σύγκρισή της με άλλες τιμές ταχύτητας, οι οποίες προσδιορίζονται στη θεωρία και αποτελούν τις οριακές τιμές πέραν των οποίων η κίνηση στην οδό γίνεται ενδεχομένως επικίνδυνη. Γενικά, υπάρχουν οι εξής καθοριστικές τιμές για την ταχύτητα:

- Η επιτρεπόμενη ταχύτητα

Πρόκειται για το τοπικό ή το ισχύον γενικό μέγιστο όριο ταχύτητας. Η αναγραφόμενη τιμή του ορίου ταχύτητας μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της οδού, για παράδειγμα σε έναν αυτοκινητόδρομο το όριο ταχύτητας είναι σαφώς μεγαλύτερο από μια αστική οδό δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση, καθώς η γεωμετρία και η δυναμική της οδού επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων κίνησης. Παρ' ότι τα στοιχεία μελέτης της οδού δεν προσδιορίζονται με βάση την επιτρεπόμενη ταχύτητα, η τιμή της ταχύτητας αυτής θεωρείται καθοριστική διότι πρέπει απαραίτητως να είναι μικρότερη ή ίση από την ταχύτητα μελέτης, η οποία σχετίζεται άμεσα με τα στοιχεία μελέτης και τη γεωμετρία της οδού και στην ουσία αποτελεί την ασφαλή ταχύτητα κίνησης σε μια οδό (Ψαριανός κ.α. 2006).

- Η ταχύτητα μελέτης

Πρόκειται για την τιμή της ταχύτητας που προσδιορίζεται στη φάση σχεδιασμού μίας οδού. Η τιμή αυτή προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τα περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια που ανταποκρίνονται στον προβλεπόμενο λειτουργικό χαρακτήρα της οδού στο οδικό δίκτυο και την επιδιωκόμενη ποιότητα κυκλοφοριακής ροής, με βάση το λειτουργικό χαρακτήρα της οδού (Ψαριανός κ.α. 2006). Στην ουσία, η ταχύτητα μελέτης αντικατοπτρίζει τη γεωμετρία της οδού και άρα τις ταχύτητες κίνησης που αυτή επιτρέπει να αναπτυχθούν, υπέρ της ασφάλειας του ανθρώπινου παράγοντα. Συνήθως γίνεται προσπάθεια η τιμή της ταχύτητας μελέτης να διατηρείται σταθερή καθ' όλο το μήκος της εκάστοτε οδού, προκειμένου να ελαχιστοποιείται το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Τέλος, στην ταχύτητα μελέτης αντιστοιχούν οριακές και προτεινόμενες τιμές για τα περισσότερα στοιχεία της μελέτης, καθώς και οι αποδεκτές τιμές για τη συσχέτιση των μεμονωμένων στοιχείων μελέτης (Ψαριανός κ.α. 2006).

- Η λειτουργική ταχύτητα

Η λειτουργική ταχύτητα μιας οδού αντιστοιχεί στη λεγόμενη 85η ποσοστιαία ταχύτητα ή V85 (Ξενάκης 2008). Πρόκειται για την ταχύτητα με την οποία θα κινηθεί ανεμπόδιστα το 85% των επιβατικών οχημάτων σε καθαρό και στεγνό οδόστρωμα (Ψαριανός κ.α. 2006). Σύμφωνα με άλλες έρευνες, είναι η τιμή εκείνη της ταχύτητας για την οποία ή κάτω από την οποία το 85% όλων των οχημάτων της οδού παρατηρείται να ταξιδεύει σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Με τον όρο «ελεύθερη ροή» νοείται η κατάσταση της κίνησης ενός οχήματος κατά την οποία το όχημα που προηγείται στη λωρίδα απέχει τουλάχιστον 4 δευτερόλεπτα απόσταση, με βάση την ταχύτητα κίνησης του πρώτου οχήματος (MetroCount 2006). Η 85η ποσοστιαία ταχύτητα είναι η ταχύτητα εκείνη που ο κάθε οδηγός υπό κανονικές συνθήκες υιοθετεί ανάλογα με τον περιβάλλοντα χώρο της εκάστοτε οδού και τη γεωμετρία της. Για το λόγο αυτό, η 85η ποσοστιαία ταχύτητα καλείται λειτουργική ταχύτητα και δεν συσχετίζεται με κανένα τρόπο με τα αναγραφόμενα όρια ταχύτητας της εκάστοτε οδού, ενώ είναι σαφές πως μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της οδού (MetroCount 2006).

Πέρα από αυτή της την ιδιότητα, η 85η ποσοστιαία ταχύτητα κατέχει ιδιαίτερα σημαντική θέση σε θέματα ερευνητικά. Πρόκειται για ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται στο γεωμετρικό υπολογισμό μεμονωμένων στοιχείων μελέτης της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και της διατομής και έχει άμεση σχέση με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων (Ψαριανός κ.α. 2006). Η 85η ποσοστιαία ταχύτητα είναι δυνατόν είτε να μετρηθεί επιτόπου κατά την κίνηση του οχήματος, είτε να προκύψει από μαθηματικές σχέσεις όσον αφορά υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

1.4.2. Σύγκριση μέσης ταχύτητας με άλλες τιμές ταχύτητας

Καθίσταται σαφές από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, ότι η μέση ταχύτητα κίνησης αποτελεί μια στατιστική ποσότητα που ενδιαφέρει σε θέματα έρευνας των περιστάσεων επί της οδού στα οποία κλονίστηκε η ανθρώπινη ασφάλεια ή σημειώθηκε απώλεια ζωής. Η ποσότητα αυτή συγκρίνεται με άλλες ποσότητες και σε κάθε περίπτωση εξάγονται διαφορετικού είδους συμπεράσματα που συμβάλλουν στο να γίνουν περισσότερο κατανοητές οι συσχετίσεις και οι αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ του τριπτύχου «Γεωμετρία οδού – Ταχύτητα κίνησης – Ποσοστά ατυχημάτων».

Η πιο χαρακτηριστική σύγκριση που έχει ευρύτερη εφαρμογή σε μελέτες για την οδική ασφάλεια είναι αυτή της μέσης ταχύτητας κίνησης με τη λειτουργική ταχύτητα. Το στοιχείο εκείνο που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τη διασπορά ή μεταβλητότητα των στιγμιαίων ταχυτήτων όλων των οχημάτων που διέρχονται από ορισμένη οδό ανεξαρτήτως του είδους της, είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής της ταχύτητας. Το ποσοστό επί τοις εκατό (%) της τυπικής απόκλισης καλείται συντελεστής διακύμανσης και μεταφράζεται ως η ποσοστιαία απόκλιση της λειτουργικής ταχύτητας από τη μέση ταχύτητα κίνησης σε μια οδό (Taylor et al. 2000).

Η χρησιμότητα του συντελεστή διακύμανσης για τη μελέτη των πιθανοτήτων ατυχημάτων σε μια οδό είναι μεγάλη, καθώς έρευνες έχουν αποδείξει πως η μέση ταχύτητα από μόνη της δεν δίνει κάποιο σαφές και αξιόπιστο συμπέρασμα, ενώ ο συνδυασμός με δεδομένα τυπικής απόκλισης αποδίδει μια πιο αντιπροσωπευτική εικόνα της κίνησης στην οδό. Ως εκ τούτου οδηγεί σε επιπλέον συμπεράσματα, όπως για παράδειγμα τα ποσοστά ανυπακοής στα όρια ταχύτητας (Taylor et al. 2000). Επιπρόσθετα, σημειώνεται πως δεδομένα σύγκρισης της μέσης ταχύτητας κίνησης με την επιτρεπόμενη αποδίδει τον βαθμό υπακοής των οδηγών στα αναγραφόμενα όρια ταχύτητας των οδών, ενώ σύγκριση της επιτρεπόμενης ταχύτητας με την ταχύτητα μελέτης αποδίδει αποτελέσματα αξιοπιστίας της οδού και ασφαλούς σήμανσης για τους χρήστες της.

1.5. Περιβάλλον

Στο παρόν υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά στις έννοιες του περιβάλλοντος, της γεωμετρίας της οδού και της ταχύτητας, ως το βασικότερο λειτουργικού χαρακτηριστικού μιας οδού, ως προοίμιο της ειδικότερης εξέτασης των επιπτώσεων της γεωμετρίας της οδού στην οδική ασφάλεια, την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

1.5.1. Έννοια του περιβάλλοντος

Η έννοια του περιβάλλοντος περιλαμβάνει το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων, τα οποία βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την ανθρώπινη υγεία, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες (*άρθρο 2, ν. 1650/1986*). Πιο συγκεκριμένα, η έννοια του περιβάλλοντος περιλαμβάνει το φυσικό και το ανθρωπογενές (δομημένο) περιβάλλον. Το **φυσικό περιβάλλον** διαφέρει από το ανθρωπογενές καθώς δεν αποτελεί αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων και βρίσκεται έξω από την ορθολογική και τεχνική δραστηριότητα του ανθρώπου. Είναι ένα σύνθετο και δυναμικά εξελισσόμενο σύστημα, οι συντελεστές του οποίου βρίσκονται σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους (*Root -Bernstein & Dillon 1997*).

Μεθοδολογικά, τα στοιχεία του διακρίνονται σε μη βιοτικά (άβια ύλη) και σε βιοτικά (έμβια όντα). Οι μη βιοτικοί παράγοντες είναι η μάζα και η ενέργεια που εξασφαλίζουν στο περιβάλλον οι γεωλογικοί, φυσικοχημικοί και βιολογικοί κύκλοι οι οποίοι εκφράζονται ως κλιματικοί, εδαφολογικοί και τοπογραφικοί παράγοντες και μπορούν να θεωρηθούν μερικές φορές ως κυρίαρχα συστήματα (ατμοσφαιρικά, κλιματολογικά, υδατικά κ.λ.π.) ενώ οι βιοτικοί παράγοντες είναι οι ζωντανοί οργανισμοί (χλωρίδα, πανίδα) (*Βαβίζος & Μερτζάνης 2003*). Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό πως πραγματικό περιβάλλον νοείται μόνο το φυσικό, που σχηματίζεται από τα φυσικά αγαθά όπως το νερό, η θάλασσα, ο αέρας, η χλωρίδα και η πανίδα, με άλλα λόγια οτιδήποτε περιβάλλει τον άνθρωπο και έχει δημιουργηθεί χωρίς την παρέμβασή του (*Ζαγκλέ & Ζαμπάρας 2012*).

Το **ανθρωπογενές περιβάλλον** αποτελεί τμήμα του περιβάλλοντος της γης, του οποίου η μορφή, η λειτουργία και η εξέλιξη υπόκεινται στις επιδράσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ιδιαίτερες εκφάνσεις του αποτελούν το δομημένο (οικισμοί, πόλεις) και πολιτιστικό περιβάλλον ενώ περιλαμβάνει και τις εκτάσεις εκείνες όπου ασκείται εντατική ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως βιομηχανική παραγωγή, αγροτική καλλιέργεια, εξόρυξη κ.λ.π. Μάλιστα, το πολιτιστικό περιβάλλον περιλαμβάνει τα στοιχεία εκείνα του πολιτισμού, όπως αυτά διαμορφώθηκαν από την παρέμβαση και τις σχέσεις του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι ιστορικοί χώροι και η καλλιτεχνική και πολιτιστική κληρονομιά μιας χώρας (*Παναγόπουλος 2004*).

Στην έννοια του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος περιλαμβάνονται, επίσης, και οι φυσικές περιοχές που δημιουργούνται και ελέγχονται από τον άνθρωπο, όπως τα καλλιεργούμενα δάση, οι τεχνητές λίμνες, τα διευθετημένα ποτάμια, οι διαμορφωμένες παραλίες κ.λ.π. Αν εξαιρέσει κανείς ορισμένες περιοχές όπου η ανθρώπινη επίδραση είναι ελάχιστη (αποθέματα άγριας ζωής, παρθένα δάση, ωκεανοί), ένα πολύ μεγάλο τμήμα της γης αποτελεί με την ευρεία έννοια «ανθρωπογενές», χρησιμοποιείται δηλαδή, ως πηγή άντλησης πόρων και μετασχηματίζεται από τον άνθρωπο. Ο τρόπος αξιοποίησης των φυσικών πόρων σε συνδυασμό

με τον τρόπο ανάπτυξης και λειτουργίας των χώρων μεταποίησης και κατανάλωσής τους, δηλαδή των πόλεων, έχει επιφέρει σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον του πλανήτη (*Κοσμάκη κ.α. 1999*).

Ωστόσο, η έννοια του περιβάλλοντος έχει ποικίλες διαστάσεις ανάλογα με την σκοπιά από την οποία εξετάζεται. Για την οδοποιία, ο όρος περιβάλλον περιλαμβάνει το σύστημα των παραγόντων εκείνων οι οποίοι επηρεάζονται από την κατασκευή μιας οδού και η περιβαλλοντική μέριμνα καλύπτει την ατμόσφαιρα, το θόρυβο, τη χλωρίδα, την πανίδα, το φυσικό τοπίο, τα οικοσυστήματα και τις χρήσεις γης μιας περιοχής (*Τσώχος 1997*). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, εξετάζονται οι επιπτώσεις που επιφέρει η διάνοιξη ενός οδικού άξονα και, πιο συγκεκριμένα, τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά στην οδική ασφάλεια, στην ανθρώπινη υγεία καθώς και στο ευρύτερο περιβάλλον μιας περιοχής.

1.5.2. Δίκαιο του περιβάλλοντος

Ως δίκαιο του περιβάλλοντος θεσμοθετείται το σύνολο των κανόνων δικαίου, των διατάξεων δηλαδή εκείνων, οι οποίες οριοθετούν την ανθρώπινη δράση, ατομική ή συλλογική και επιδιώκουν την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ του εν ευρεία έννοια περιβάλλοντος, φυσικού και πολιτιστικού και κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Μέσω του δικαίου του περιβάλλοντος επιδιώκεται η αποτροπή υποβάθμισης του περιβάλλοντος, η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων και η διασφάλιση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας, η διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας από διάφορες μορφές υποβάθμισης του περιβάλλοντος καθώς και η αποκατάστασή του (*Παναγόπουλος 2004*).

Οι έντονες και αυξανόμενες επιπτώσεις των κατασκευαστικών έργων και συγκεκριμένα των έργων οδοποιίας στο περιβάλλον μιας περιοχής, φυσικό και ανθρωπογενές, οδήγησαν στην εισαγωγή της περιβαλλοντικής παραμέτρου ως ισότιμου παράγοντα με τον τεχνικό και τον οικονομικό στη μελέτη μιας οδού και η προστασία του περιβάλλοντος κατοχυρώθηκε νομικά από το σύνταγμα πολλών χωρών παγκοσμίως, ήδη από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα (*Παναγόπουλος 2004*). Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι η πρώτη αναφορά σύνδεσης της οδού με το περιβάλλον έγινε στη Βοστώνη το 1893 ενώ μέχρι τότε η οδός αποτελούσε ένα καθαρά τεχνικό θέμα, η λύση του οποίου επιτυγχανόταν με τεχνικά κριτήρια και μόνο περιστασιακά λαμβανόταν υπόψη το περιβάλλον και οι επιπτώσεις σε αυτό (*Τσώχος 1997*).

Η προσβολή του περιβάλλοντος συντελείται με την υποβάθμισή του και την ενδεχόμενη αλλοίωση των στοιχείων του (έδαφος, ατμόσφαιρα, ύδατα, τοπίο κ.λ.π.) που προκαλείται από κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα, και στα πλαίσια της παρούσας εργασίας από την κατασκευή και λειτουργία ενός οδικού άξονα. Το δίκαιο δημιουργεί το πλαίσιο για την αναστροφή της υποβάθμισης που ενδεχομένως συντελείται στο περιβάλλον από κάθε έργο ή δραστηριότητα, σε παγκόσμιο επίπεδο (*Παναγόπουλος 2004*). Σύμφωνα με τον Ν.1650/86 «Για την προστασία του περιβάλλοντος», με τον όρο «ρύπανση» νοείται η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας, σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές, και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης του φαινομένου, οι νομοθετικές δράσεις και οι πολιτικές περιβάλλοντος στοχεύουν στην αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος και σε μείωση της ήδη υπάρχουσας, για την προστασία του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση της ανθρώπινης υγείας.

Το δίκαιο προστασίας του περιβάλλοντος, όπως κάθε άλλος κλάδος δικαίου, περιέχει γενικές αρχές και έννοιες, οι οποίες αποτελούν τα βασικά χαρακτηριστικά του κλάδου. Στην ουσία, πρόκειται για κανόνες που αποτυπώνουν βασικές αξίες και έχουν ένα ευρύ περιεχόμενο ώστε να δίνουν τις κατευθυντήριες γραμμές και να προωθούν περιβαλλοντικές δράσεις (Ζαγκλέ & Ζαμπάρας 2012). Κάθε τέτοια δράση που αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, δεν αποτελεί αποκλειστική υπόθεση ενός μόνο κράτους όπως συμβαίνει με άλλες δραστηριότητες. Το περιβάλλον δεν οριοθετείται και η προστασία του δεν εξαρτάται από τις πρωτοβουλίες μιας χώρας αφού η ρύπανση δε γνωρίζει σύνορα (Αιγινίτη 2009). Οι αρχές εκείνες που διέπουν το δίκαιο του περιβάλλοντος, παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω (Παναγόπουλος 2004). Αξίζει να σημειωθεί πως κομβικό σημείο όλων των παρακάτω αρχών είναι το άρθρο 24 του Συντάγματος, όσον αφορά στην ελληνική νομοθεσία.

- Αρχή της Προλήψεως

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, κύρια επιδίωξη του δικαίου για την προστασία του περιβάλλοντος δεν πρέπει να είναι η εξουδετέρωση τυχόν προσβολών του περιβάλλοντος, αλλά η αποφυγή ή η πρόληψη δυσμενών για το περιβάλλον επιβαρύνσεων. Η αρχή αυτή, λοιπόν, αποτελεί την πρώτη θεμελιακή αρχή μιας οικολογικής πολιτικής ενός σύγχρονου κράτους, όταν αυτό έχει αποφασίσει να προστατεύσει με συνέπεια τον περιβάλλοντα χώρο του. Η αρχή της προλήψεως αποτελεί τη βάση για τον νόμο 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος».

- Αρχή του Ρυπαίνοντος

Ενώ η αρχή της προλήψεως αποβλέπει στην ευθέως προστασία του περιβάλλοντος, η αρχή του ρυπαίνοντος τίθεται σε εφαρμογή σε επόμενο στάδιο, όταν δηλαδή έχει ήδη συντελεσθεί η προσβολή του περιβάλλοντος. Στη περίπτωση αυτή, εκείνος που επιβαρύνει το περιβάλλον υποχρεώνεται, βάσει της κείμενης νομοθεσίας, να αναλάβει το κόστος για την εξουδετέρωση της προσβολής ή ακόμη και για τη μελλοντική αποφυγή της επιβαρύνσεως ή τέλος να καταβάλλει αντισταθμιστικό ποσό για τη βλάβη που προξένησε.

- Αρχή της Συνεργασίας – Επικουρικότητας

Η αρχή της συνεργασίας υπογραμμίζει την ανάγκη κοινής δράσης κράτους και κοινωνίας για την προστασία του περιβάλλοντος. Η συνεργασία αυτή θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσω επιτροπών κοινής συνθέσεως, οι οποίες θα αναλαμβάνουν την επίλυση των δημιουργούμενων προβλημάτων. Οι επιτροπές αυτές έχουν ως ορόσημο τον σεβασμό της αρχής της απαγόρευσης καταχρηστικής άσκησης δικαιώματος. Αντίστοιχα, η αρχή της επικουρικότητας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση της πλήρους υλοποίησης των σκοπών, των στόχων και των μέτρων με τις κατάλληλες εθνικές, περιφερειακές και τοπικές προσπάθειες και πρωτοβουλίες σε περίπτωση κατά την οποία οι τοπικές προσπάθειες αδυνατούν να δράσουν αποτελεσματικά. Κατ' αυτόν τον τρόπο συνδυάζεται η αρχή της επικουρικότητας με την ευρύτερη έννοια της κοινής ευθύνης.

Ωστόσο οι νόμοι και οι αρχές του δικαίου δεν αρκούν για την αποτελεσματική προστασία του περιβάλλοντος. Ούτε σε καμιά περίπτωση μπορεί να επιτευχθεί ο στόχος αυτός μόνο με τη δράση των διοικητικών αρχών. Στον τομέα αυτό η ενεργητική συμμετοχή των πολιτών κρίνεται επιτακτικά αναγκαία. Η συμμετοχή των πολιτών στο πλαίσιο της εφαρμογής της νομοθεσίας για την προστασία του

περιβάλλοντος αναγνωρίζεται από το δίκαιο και έτσι η έννοια της οικολογικής συνείδησης αποκτά και νομική έκφραση (Ζαγκλέ & Ζαμπάρας 2012).

- Αρχή της Δημοσιότητας

Ο κλάδος του δικαίου περιβάλλοντος συνδέεται άμεσα με την αρχή της δημοσιότητας, δηλαδή της φανεράς δράσεως των διοικητικών οργάνων. Οι πολίτες έχουν το δικαίωμα γνώσης των διοικητικών εγγράφων, γεγονός που επιτρέπει και εγγυάται την πληροφόρηση του κοινού για τις διοικητικές δραστηριότητες, ενώ τους δίνει τη δυνατότητα να αμφισβητήσουν το νόμιμο των ενεργειών της Διοικήσεως και επομένως να υπερασπιστούν αποτελεσματικότερα τα γενικότερα συμφέροντά τους, ατομικά ή συλλογικά.

- Αρχή της Βιώσιμης Ανάπτυξης

Σκοπός της αρχής αυτής είναι η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος. Προκειμένου να υλοποιηθούν οι καταβαλλόμενες προσπάθειες για την προστασία του περιβάλλοντος, απαιτούνται παράλληλες προσπάθειες για μείωση των στοιχείων εκείνων που προκαλούν τις περιβαλλοντικές προσβολές.

Στο σημείο αυτό αξίζει να γίνει σύντομη αναφορά στην ιστορική εξέλιξη του δικαίου στην Ελλάδα, όπου ορόσημο στο θέμα προστασίας του περιβάλλοντος υπήρξε το 1975 η ψήφιση του ισχύοντος Συντάγματος, όπως αυτό τροποποιήθηκε το 1986 και το 2001, το οποίο με το άρθρο 24 καθιέρωσε για πρώτη φορά στη συνταγματική ιστορία της χώρας την άμεση συνταγματική προστασία του περιβάλλοντος στην ευρεία του μορφή (Ζαγκλέ & Ζαμπάρας 2012). Σύμφωνα με το άρθρο 24, η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξή του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας.

Πριν το 1975 ωστόσο, και πιο συγκεκριμένα το 1957, συνήλθε στην Αθήνα η Επιτροπή για την προστασία του Εθνικού Τοπίου, η οποία συγκρότησε μόνιμο συλλογικό όργανο με την ονομασία «Κοσμητεία Εθνικού Τοπίου και Πόλεων». Εν συνεχεία, το 1974 η Ακαδημία Αθηνών εξέδωσε Γενική Διακήρυξη για τη ρύπανση και τη μόλυνση του περιβάλλοντος, την αλλοίωση του φυσικού τοπίου και την προστασία των ιστορικών χώρων και των αρχαιοτήτων (Ζαγκλέ & Ζαμπάρας 2012). Σήμερα, ο Ν.1650/86 «Για την προστασία του περιβάλλοντος» αποτελεί το βασικό κείμενο της ελληνικής, εθνικής νομοθεσίας, που εξειδικεύει τις επιταγές του Συντάγματος. Εκεί ορίζονται μεταξύ των στόχων η διασφάλιση της ανανέωσης των φυσικών πόρων και η ορθολογική αξιοποίηση των μη ανανεώσιμων πόρων, όπως και η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων και η διασφάλιση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας. Στο πλαίσιο αυτό περιλαμβάνονται μέτρα για την προστασία της εγχώριας χλωρίδας και πανίδας, αλλά και για τη διαχείριση φυσικών πόρων. Ο Ν. 743/77 για το θαλάσσιο περιβάλλον και ο Ν. 998/79 για την προστασία των δασών, καλύπτουν επίσης θέματα διαχείρισης βιολογικών πόρων (Ζαγκλέ & Ζαμπάρας 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

2.1. Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο, εφόσον έγινε αναφορά στις έννοιες του περιβάλλοντος, της γεωμετρίας της οδού και της ταχύτητας, που αποτελεί το βασικό λειτουργικό χαρακτηριστικό μιας οδού, περιγράφονται εκτενώς οι επιπτώσεις που επιφέρουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού καθώς και της ταχύτητας στην οδική ασφάλεια, που αποτελεί κρίσιμο ζήτημα κάθε κοινωνίας παγκοσμίως.

Η οδική ασφάλεια αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που απασχολούν κάθε χώρα παγκοσμίως καθώς τα οδικά ατυχήματα είναι ο σημαντικότερος παράγων θανάτου στις μεταφορές. Η συνεχής αύξηση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως, φέρνει τα οδικά ατυχήματα στις υψηλότερες θέσεις των αιτιών θανάτου στις σύγχρονες κοινωνίες (*Καπότσης 2002*).

Η ύπαρξη ενός οδικού άξονα σε συνδυασμό με τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά επηρεάζουν σημαντικά την επικινδυνότητα μιας οδού. Μάλιστα, η διερεύνηση της επικινδυνότητας ενός οδικού άξονα σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά αποτελεί μείζον θέμα ασφάλειας και είναι αντικείμενο μεγάλης έρευνας σε συνάρτηση με πολλούς άλλους παράγοντες. Οι παράγοντες που αποτελούν αιτία των τροχαίων ατυχημάτων σχετίζονται με τον παράγοντα άνθρωπο, με την οδό στο σύνολό της και τα ποικίλα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά καθώς και με το όχημα (*Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008*).

Στο στάδιο του σχεδιασμού/χάραξης μιας οδού είναι σημαντικό από την άποψη της ασφάλειας της οδικής κυκλοφορίας να επιτευχθεί αρμονία ανάμεσα στον παράγοντα άνθρωπο και στους άλλους δύο (οδός και όχημα). Μελέτες δείχνουν, ωστόσο, ότι ο ανθρώπινος παράγοντας, είτε με τη μορφή του οδηγού είτε ως επιβάτης είτε ως πεζός, αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα στα τροχαία ατυχήματα. Παρόλα αυτά, ο έλεγχος του οδικού άξονα και των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών αποτελεί πολύ πιο εύκολη προσέγγιση του ζητήματος των τροχαίων ατυχημάτων από τον έλεγχο του απρόβλεπτου ανθρώπινου παράγοντα. Επιπλέον, πραγματοποιώντας έναν γεωμετρικά καλό σχεδιασμό είναι πιθανό να αντισταθμιστούν οι άλλοι παράγοντες και να μειωθεί ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων (*Iyinan et al. 1997, Μπαλαδήμας 2006*). Αναφέρεται στο σημείο αυτό, ότι οι αντιπροσωπευτικότεροι δείκτες ατυχημάτων, τους οποίους η πλειοψηφία των ερευνών που μελετήθηκε εξετάζει, είναι εκείνοι που συσχετίζουν τα ατυχήματα και τα θύματα τους με τα διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα και τα επιβατοχιλιόμετρα. Θεωρείται ότι ο δείκτης του αριθμού των νεκρών ανά οχηματοχιλιόμετρο είναι ο καταλληλότερος και ακριβέστερος δείκτης διότι λαμβάνει υπόψη και το βαθμό χρησιμοποίησης των οχημάτων και επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μικροκλίμακα (κόμβος) (*Μπουρνελάκη 2002, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008*).

2.2. Οδική Ασφάλεια

Το οδικό περιβάλλον έχει χαρακτηριστεί ως η μεγαλύτερη αιτία ατυχημάτων συμβάλλοντας στο 17% έως 34% των ατυχημάτων ενώ ερευνητικές εργασίες στις ΗΠΑ, οι οποίες ανέλυσαν τη συμμετοχή κάθε παράγοντα στην πρόκληση οδικού ατυχήματος, έδειξαν ότι το 75% των τροχαίων ατυχημάτων οφειλόταν στον ανθρώπινο παράγοντα, το 10% στο όχημα και το 15% στην οδό και το περιβάλλον (*O'Conneide, 1998*). Παρόμοιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν 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% (*Μπαλαδήμας 2006*).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τον οδικό άξονα ΠΑΘΕ, όπου εξετάστηκε η επιρροή επιλεγμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού στον δείκτη σχετικής επικινδυνότητας και σε συνάρτηση με την ηλικία του οδηγού με χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης (*Καπότσης 2002*). Η μελέτη αυτή έδειξε τη συσχέτιση του γεωμετρικού σχεδιασμού της οδού και του ανθρώπινου παράγοντα με τη συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων. Τα μοντέλα που προέκυψαν από την εν λόγω μελέτη παρουσιάζονται παρακάτω:

$$FA = 61,959 - 2,6*RT - 0,303*A - 12,169*L - 6,640*DM + 4,299*M$$

όπου:

- FA : Συχνότητα πρόκλησης οδικού ατυχήματος (αριθμός ατυχημάτων)
- RT : Δεξιά στροφή (εύρος τιμών 1-2)
- A : Ηλικία παθόντος οδηγού (εύρος τιμών 18-55)
- L : Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση (εύρος τιμών 1-2)
- DM : Διαγράμμιση κατευθύνσεων στον άξονα της οδού (εύρος τιμών 1-3)

$$FA = 62,716 - 15,015*D - 0,12*A - 8,778*L - 2,770*DM$$

όπου:

- M : Κεντρική νησίδα (εύρος τιμών 1-2)
- FA : Συχνότητα πρόκλησης οδικού ατυχήματος (αριθμός ατυχημάτων)
- D : Συνθήκες κατωφέρειας (εύρος τιμών:1-2)
- A : Ηλικία παθόντος οδηγού (εύρος τιμών 18-55)
- L : Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση (εύρος τιμών 1-2)
- DM : Διαγράμμιση κατευθύνσεων στον άξονα της οδού (εύρος τιμών 1-3)

Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με την επιρροή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας οδού στην οδική ασφάλεια, έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, μελέτησαν τον τρόπο με τον οποίο ο αναμενόμενος αριθμός τροχαίων ατυχημάτων εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού (*Hamerslag et al. 1982*) ενώ σε άλλες έρευνες χρησιμοποιήθηκε γραμμική παλινδρόμηση ώστε να κατασκευαστεί κατάλληλο μοντέλο που μελετά τη σχέση ανάμεσα στο ποσοστό των τροχαίων ατυχημάτων και του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών (*Okamoto & Koshi 1989*).

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι Μίαου et al. (1992), χρησιμοποιώντας ως προσέγγιση την παλινδρόμηση Poisson διατύπωσαν εμπειρικές σχέσεις μεταξύ των ατυχημάτων βαρέων οχημάτων και των βασικών γεωμετρικών στοιχείων του σχεδιασμού μιας οδού και από την έρευνά τους προέκυψε ότι ο μέσος, ετήσιος, καθημερινός φόρτος ανά λωρίδα, η οριζόντια καμπυλότητα και η κατακόρυφη κλίση του οδοστρώματος συσχετίζονταν σε σημαντικό βαθμό με τον αριθμό των ατυχημάτων των βαρέων οχημάτων. Επίσης, μέσω του μαθηματικού προτύπου το οποίο διατύπωσαν, προσδιορίζεται το ποσοστό των ατυχημάτων και η πιθανότητα ατυχήματος:

$$v = 365*(N.L*AADT/LANE)*(P.T/100)*(S.L)$$

όπου:

- v: ποσοστό ατυχημάτων
- N.L : Αριθμός λωρίδων
- AADT: ΕΜΗΚ (Αριθμός οχημάτων ανά λωρίδα)
- S.L : Μήκος ευθυγράμμου τμήματος
- P.T : Ποσοστό φορτηγών

$$\lambda = \exp(-14,683+0,044691*AADT/LANE+0,0172513*H.C+0,162218*V.G+0,038589*D.O.I.S.W V.G)$$

όπου:

- λ: πιθανότητα ατυχήματος
- AADT/LANE : Αριθμός οχημάτων ανά λωρίδα (ανά 1000 οχήματα)
- H.C: οριζοντιογραφικές καμπύλες (βαθμοί/100ft)
- V.G :Κατακόρυφη κλίση
- D.O.I.S.W V.G: απόκλιση από ιδανικό πλάτος ερείσματος

Ο αναμενόμενος αριθμός ατυχημάτων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E(y)=\lambda*v$$

Η πιθανότητα να καταγραφούν y ατυχήματα στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα σε περίοδο ενός έτους είναι:

$$P(y)=\{1,23y \exp(-1,23)\}/y!$$

Επιπλέον, σε πολυάριθμες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, έχουν διερευνηθεί οι επιρροές του πλάτους των λωρίδων και των ακριανών λωρίδων μιας οδού (ΛΕΑ) (Zeeger et al. 1987), των ασφαλτοστρωμένων ακριανών λωρίδων (ΛΕΑ) (Ogden 1997), του πλάτους της διαχωριστικής νησίδας μιας οδού (Knuiman et al. 1993) καθώς επίσης των οριζόντιων καμπυλών (Fink & Krammes 1995, Council & Stewart 2000) στον αριθμό και στην συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων.

Ενδεικτικά αναφέρεται μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε υπεραστικά οδικά τμήματα, δύο λωρίδων κυκλοφορίας συνολικού μήκους 5000 μιλίων στις ΗΠΑ (Zeeger et al. 1986) και η οποία κατέληξε στο παρακάτω μαθηματικό μοντέλο:

$$AO/M/Y=0.0019(ADT)^{0.8824}(0.8786)^w(0.9192)^{PA}(0.9316)^{UP}(1.2365)^H(0.8822)^{TER1}(1.3221)^{TER2}$$

όπου:

- AO/M/Y: τα σχετικά ατυχήματα ανά μίλι ανά έτος
- ADT : ο μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος
- W : το πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας
- PA : το μέσο πλάτος οδοστρωμένου ερείσματος
- UP : το μέσο πλάτος μη οδοστρωμένου ερείσματος
- H : ο βαθμός επικινδυνότητας του παράπλευρου χώρου της οδού, ο οποίος συνδέεται άμεσα με το περιβάλλον της οδού. Ο χρήστης πρέπει να καταχωρήσει μια τιμή σε κλίμακα από 1 έως 7 από μικρότερο σε μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας με βάση την οπτική αποτίμηση του τμήματος
- TER1 : 1 αν το έδαφος είναι ομαλό διαφορετικά 0
- TER2 :1 αν το έδαφος είναι ορεινό διαφορετικά 0

Όπως προκύπτει από μεγάλο αριθμό ερευνών, σημαντικές αλλαγές στις τιμές πολλών γεωμετρικών στοιχείων σχεδιαστικών προτύπων είναι πιθανό να προκαλέσουν μεγάλη αύξηση των ατυχημάτων και συμπεραίνεται ότι οι επίσημες διεθνείς πληροφορίες παρέχουν μια καλή ένδειξη των διαφοροποιήσεων στα ατυχήματα που μπορούν να προκληθούν από αποκλίσεις από τα σχεδιαστικά πρότυπα ή από εναλλακτικές χαράξεις οδών. Οι ποικίλες επιρροές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός οδικού άξονα στην οδική ασφάλεια θα αναλυθούν στη συνέχεια.

2.2.1. Τύπος οδού

Στην υποενότητα αυτή πραγματοποιείται αναφορά των συμπερασμάτων μελετών που έχουν εντοπίσει τη συσχέτιση ανάμεσα στον τύπο ενός οδικού άξονα και στον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται. Ο τύπος μιας οδού, όπως εξετάζεται στην ενότητα αυτή, σχετίζεται με τον αριθμό των λωρίδων από τις οποίες απαρτίζεται καθώς και με το αν χαρακτηρίζεται ή όχι από την ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας, αν πρόκειται, δηλαδή, για διαιρεμένη ή αδιαίρετη οδό. Υπό αυτό το πρίσμα, ο τύπος μιας οδού αποτελεί στοιχείο της γεωμετρίας του και επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την οδική ασφάλεια.

Αριθμός λωρίδων

Ο αριθμός των λωρίδων μιας οδού είναι στοιχείο της γεωμετρίας της και επηρεάζει το βαθμό επικινδυνότητάς της καθώς και τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος της. Εξετάζοντας τα διάφορα χαρακτηριστικά των τροχαίων ατυχημάτων, η συντριπτική πλειοψηφία των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, δείχνει ότι οδοί 2 (δύο) λωρίδων κυκλοφορίας εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά σε τροχαία ατυχήματα από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία, και ότι μεγάλος είναι επίσης ο συνολικός αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων που αφορούν σε αυτές τις κατηγορίες οδών (*Lee & Mannering 1999, Kopelias et al. 2007, Καζαγλή 2009*).

Ακόμη, η αύξηση του αριθμού των λωρίδων ενός οδικού άξονα οδηγεί σε σημαντική μείωση του αριθμού των ατυχημάτων και μάλιστα η μείωση αυτή γίνεται πιο αισθητή σε οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση οι οποίες μετατρέπονται σε οδούς 3 ή και περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση καθώς το πλάτος της οδού έχει αυξηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό, επιτρέποντας πιο εύκολους και αξιόπιστους ελιγμούς των οχημάτων είτε πρόκειται για στάθμευση παραπλεύρως της οδού, είτε για προσπέραση του προπορευόμενου οχήματος (*Brannolte 1993, Miaou 1993, Garber & Ehrhart 2000, Strathman 2001, Καπότσης 2002*). Επίσης, αύξηση στον αριθμό των λωρίδων προσφέρει μεγαλύτερη ορατότητα της κυκλοφορίας από τους οδηγούς και περισσότερο χώρο για ελιγμούς κατά μήκος ενός οδικού άξονα (*Lee & Mannering 1999*).

Αναφέρεται στο σημείο αυτό πως η αύξηση του αριθμού των λωρίδων μπορεί να παίρνει και αρνητικές διαστάσεις σχετικά με την οδική ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα, σε οδούς 2, 3 ή και περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας (αυτοκινητόδρομοι, οδοί ταχείας κυκλοφορίας, εθνικές οδοί), οι οδηγοί τείνουν να αυξάνουν ταχύτητα με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των συγκρούσεων είτε με οχήματα του ίδιου κυκλοφοριακού ρεύματος είτε με οχήματα της αντίθετης κυκλοφορίας. Στη δεύτερη περίπτωση, τα ατυχήματα στην συντριπτική τους πλειοψηφία είναι θανατηφόρα (*Kihlberg & Tharp 1968, Lee & Mannering 1999, Kopelias et al. 2007, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008*).

Ωστόσο, περιορισμένος αριθμός μελετών έχει εξετάσει τη συσχέτιση των τροχαίων ατυχημάτων με κάθε τύπο δρόμου. Ενδεικτικά αναφέρονται τα συμπεράσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε το 1993 στη Γερμανία η οποία εξέτασε διεξοδικά τη σχέση ανάμεσα στον αριθμό των λωρίδων μιας οδού και στα διασταυρούμενα ατυχήματα που σημειώθηκαν για 12 διαφορετικούς τύπους οδού. Ο αριθμός των ατυχημάτων σε οδούς 2, 4 και 6 λωρίδων κυκλοφορίας ήταν πολύ μεγάλος ενώ ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων που σημειώθηκαν σε οδούς 4 λωρίδων κυκλοφορίας δεν διέφερε σημαντικά από τον αντίστοιχο αριθμό που σημειώθηκε για οδούς 6 λωρίδων κυκλοφορίας. Ωστόσο, υπήρχαν σημαντικές διαφορές στα συνολικά ποσοστά των ατυχημάτων (*Brannolte 1993*).

Αναφέρεται στο σημείο αυτό πως, έρευνες έχουν δείξει ότι όσον αφορά στον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας σε οδούς που συμβάλλουν σε κόμβους, τα σοβαρότερα ατυχήματα έχουν σημειωθεί σε κόμβους όπου συμβάλλουν οδοί δύο ή και περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας καθώς οι ταχύτητες που επικρατούν είναι υψηλές (O'Conneide 1998). Οι κόμβοι, ωστόσο, δεν εξετάζονται ως στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού σε συνάρτηση με τα ατυχήματα που σημειώνονται σε αυτούς καθώς όσες έρευνες έχουν μελετήσει τη συσχέτιση των κόμβων με τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων, συμπεραίνουν ότι μοναδικός, καθοριστικός παράγοντας που οδηγεί σε συγκρούσεις οχημάτων σε έναν κόμβο αποτελεί η ορατότητα στο οδικό τμήμα που προηγείται του κόμβου. Η ορατότητα εξετάζεται ξεχωριστά σε άλλη υποενότητα.

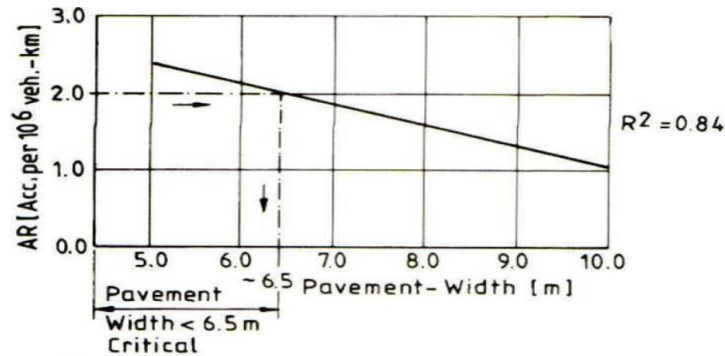
Διαιρεμένες - Αδιαίρετες οδοί

Η διαχωριστική νησίδα σε μια οδό μίας, δύο ή περισσότερων λωρίδων ανά κατεύθυνση αποτελεί το υπερωσμένο ή με άλλους τρόπους οριζόμενο τμήμα της οδού που χωρίζει τις λωρίδες κυκλοφορίας αντίθετης κατεύθυνσης (Ψαριανός κ.α. 2006). Η ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας σε μια οδό μειώνει σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων αυξάνοντας την οδική ασφάλεια. Μεγάλος αριθμός μελετών, συγκλίνει στο συμπέρασμα ότι οι διαιρεμένες οδοί αποτελούν τους ασφαλέστερους οδικούς άξονες (Garner & Deen 1973, Long et al. 1993, Council & Stewart 2000). Μάλιστα σε οδικούς άξονες όπου αναπτύσσονται υψηλές ταχύτητες (αυτοκινητόδρομοι, εθνικές οδοί) η συχνότητα των ατυχημάτων μειώνεται όταν υπάρχει διαχωριστική νησίδα καθώς αποφεύγονται οι μετωπικές συγκρούσεις (Srinivasan 1982, Lee & Mannering 1999). Όπως αναφέρθηκε, οι οδοί δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά σε τροχαία ατυχήματα από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία οδών ενώ ο συνολικός αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων που σημειώνονται σε αυτές τις οδούς είναι μεγάλος. Αξίζει να αναφερθεί ότι η απουσία διαχωριστικής νησίδας από αυτήν την κατηγορία οδών αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων (Καζαγλή 2009).

Επιπλέον, στις υπεραστικές οδούς καταγράφονται σημαντικά υψηλότερα ποσοστά θανατηφόρων ατυχημάτων και ατυχημάτων με σοβαρούς τραυματισμούς σε σχέση με τις απλές συγκρούσεις, κυρίως λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων που αναπτύσσονται (Καπότσης 2002). Σε κατοικημένες περιοχές τα ποσοστά των οδικών ατυχημάτων που σημειώνονται είναι υψηλά και μάλιστα στην Ελλάδα, περίπου το 70% του συνόλου των οδικών ατυχημάτων με παθόντες λαμβάνει χώρα σε κατοικημένες περιοχές ενώ το έτος 2010, περίπου το 30% των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων συνέβησαν σε κατοικημένη περιοχή (Χαρισούδης κ.α. 2012). Ακόμη, στις μεγάλες αστικές οδούς, οι δείκτες του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων, μοιραίων και μη, είναι υψηλότεροι λόγω της συγκέντρωσης πυκνών διασταυρώσεων των κυκλοφοριακών ροών στις αστικές περιοχές (Καπότσης 2002).

2.2.2. Πλάτος λωρίδας

Το πλάτος της λωρίδας αποτελεί στοιχείο της διατομής ενός οδικού άξονα που επηρεάζει την οδική ασφάλεια και τον αριθμό των ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση του πλάτους της λωρίδας μιας οδού, μειώνει σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων καθώς αυξάνεται το πεδίο δράσης ενός οχήματος και η δυνατότητα ελιγμών από το χρήστη της οδού (διάγραμμα 1) (Foody 1974, Μιαου 1993, Iyinat et al. 1997, Garber & Ehrhart 2000, Kopelias et al. 2007, Labi 2006, Μπολαδήμας 2006, Σταματιάδης & Ψαριανός 2011).



Διάγραμμα 1: Αριθμός ατυχημάτων σε συνάρτηση με το πλάτος της λωρίδας μιας οδού
Πηγή: Iyinat et al. 1997

Οι περισσότερες μελέτες περιορίζονται σε δρόμους διπλής κατευθύνσεως και από τα αποτελέσματά τους προκύπτει ότι τα ποσοστά των ατυχημάτων μειώνονται με την αύξηση του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας. Αναφέροντας πιο συγκεκριμένα αποτελέσματα ερευνών, πολλές είναι εκείνες που συμπεραίνουν σημαντική μείωση του αριθμού των ατυχημάτων όταν το πλάτος της λωρίδας μιας οδού αυξηθεί από 4 σε 7 μέτρα (Hedman 1990). Ακόμη, οι Yager και Van Aerde (1983) βρήκαν ότι η διέλευση ενός οχήματος απαιτεί ένα ελάχιστο όριο πλάτους λωρίδας και ότι οποιαδήποτε επιπρόσθετη αύξηση του πλάτους πέραν του ελαχίστου αυτού ορίου επιτρέπει στον οδηγό γρηγορότερη οδήγηση καθώς και μεγαλύτερη εκτίμηση και αντίληψη της ασφάλειας.

Επιπλέον από έρευνες που έχουν γίνει σε οδικά δίκτυα της Δανίας, προέκυψε ότι όσο αυξάνεται το πλάτος της λωρίδας τόσο η συχνότητα των σχετικών ατυχημάτων μειώνεται και μάλιστα για δρόμους πλάτους κάτω των 6 μέτρων σημειώθηκε αύξηση του κινδύνου τόσο για τα τροχαία ατυχήματα που οδηγούν σε σοβαρούς τραυματισμούς, όσο και για τα θανατηφόρα ατυχήματα (The Roads Directorate 1981). Το ίδιο υποστηρίχθηκε και από τις μελέτες του Srinivasan (1982), ο οποίος ανέφερε ότι το ποσοστό των ατυχημάτων για έναν δρόμο πλάτους 5 μέτρων, ήταν μεγαλύτερο κατά περίπου 1.7 φορές από ότι για ένα δρόμο πλάτους 7.5 μέτρων ενώ άλλη έρευνα έδειξε ότι η αύξηση του πλάτους των λωρίδων από 2.7 σε 3.7 μέτρα θα μείωνε τα ατυχήματα κατά 32% (Transportation Research Board 1978).

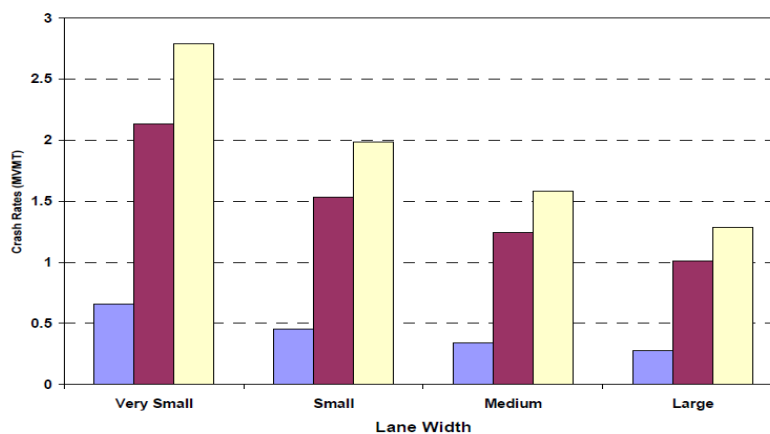
Επιπλέον, διεξοδική Σουηδική μελέτη ανέφερε ότι για δρόμους με όριο ταχύτητας 90 km/h και με παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, αυξήσεις στο πλάτος των αυτοκινητόδρομων, συμπεριλαμβανομένων και των ακριανών λωρίδων κυκλοφορίας (Λωρίδα Εκτάκτου Ανάγκης), πάνω από 13 μέτρα, έδωσαν σημαντικές μειώσεις στα ποσοστά των ατυχημάτων (Brude et al. 1980). Άλλες έρευνες έχουν αποδείξει ότι αυξάνοντας το πλάτος της λωρίδας κατά 1 μέτρο μειώνεται ο αριθμός των ατυχημάτων κατά 40% (Labi 2006). Αξίζει να αναφερθεί ακόμα μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Garber και

Ehrhart (2000) σχετικά με τα ποσοστά ατυχημάτων στα οποία εμπλέκονται φορτηγά και τον τρόπο που αυτά συσχετίζονται με το πλάτος λωρίδας, η οποία υπέδειξε μεγαλύτερα ποσοστά ατυχημάτων σε οδούς με πλάτος λωρίδας από 3.1 έως 3.2 μέτρα συγκριτικά με οδούς όπου το πλάτος λωρίδας κυμαίνεται μεταξύ 3.4 και 3.7 μέτρα. Ωστόσο, η πλειοψηφία των μελετών συγκλίνει στο συμπέρασμα ότι αύξηση του πλάτους της λωρίδας μια οδού πάνω από 7 μέτρα οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων, καθώς από αυτό το σημείο και μετά τα οχήματα παρασύρονται και τείνουν να αυξάνουν σημαντικά την ταχύτητα με αποτέλεσμα να σημειώνονται σοβαρά ατυχήματα (Hearne 1976, Srinivasan 1982, Hedman 1990, Fishburn & Jordan 2001).

Στο *διάγραμμα 2*, φαίνεται ο δείκτης των ατυχημάτων που σημειώθηκαν σε οδικό άξονα της Ιντιάνα στην Αμερική σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2006. Όπως φαίνεται, υπάρχουν τρεις στήλες από τις οποίες η γαλάζια αντιπροσωπεύει το δείκτη των σοβαρών τραυματισμών και των θανατηφόρων ατυχημάτων που σημειώθηκαν, η μωβ αντιπροσωπεύει τον δείκτη ατυχημάτων όπου σημειώθηκαν μόνο υλικές καταστροφές και η λευκή το δείκτη του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων. Παρατηρείται ότι αύξηση του πλάτους της λωρίδας οδηγεί σε σημαντική μείωση των δεικτών όλων των ειδών των τροχαίων ατυχημάτων. Επίσης, στον *πίνακα 1* της ίδιας έρευνας, παρατίθεται η ποσοτική μείωση του αριθμού των ατυχημάτων με κάθε αύξηση του πλάτους της λωρίδας μιας οδού κατά περίπου 0.3 μέτρα (1 πόδι (foot)). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι διεύρυνση μιας λωρίδας κατά 1 μέτρο (περίπου 3 πόδια), βρέθηκε ότι οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων σε ποσοστό 40% (Labi 2006).

Amount of Lane Widening (ft)	% Reduction in Crashes
1	12
2	23
3	32
4	40

Πίνακας 1: Ποσοστιαία μείωση των ατυχημάτων σε συνάρτηση με αύξηση του πλάτους της λωρίδας μιας οδού
Πηγή: Labi 2006



Διάγραμμα 2: Δείκτης θανατηφόρων ατυχημάτων, υλικών ζημιών και συνολικού αριθμού ατυχημάτων σε συνάρτηση με το πλάτος της λωρίδας μιας οδού
Πηγή: Labi 2006

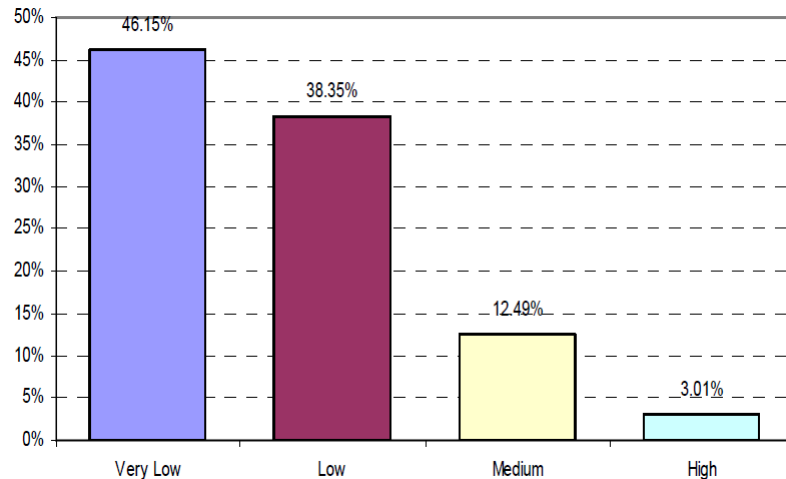
2.2.3. Επιφάνεια του οδοστρώματος

Η επιφάνεια του οδοστρώματος αποτελεί με την ευρεία έννοια στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού και επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τον αριθμό και τη συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Αρχικά, αναφέρεται η τριβή ως σημαντικό στοιχείο της κατάστασης του οδοστρώματος μιας οδού, η συμβολή της οποίας στα τροχαία ατυχήματα κρίνεται καθοριστική. Πιο συγκεκριμένα, μεγαλύτερος συντελεστής τριβής στην επιφάνεια του οδοστρώματος ενός οδικού άξονα συμβάλλει σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων καθώς η τριβή συμβάλλει σε πιο γρήγορη επιβράδυνση του οχήματος με αποτέλεσμα την αποφυγή ατυχημάτων (O'Conneide 1998, Karlaftis & Golias 2001). Η μειωμένη τριβή κατά μήκος ενός οδικού άξονα σημαίνει έντονη ολισθηρότητα της οδού, η οποία συνδέεται με την αδυναμία ανάπτυξης επαπτομενικών δυνάμεων τριβής στην επιφάνεια επαφής των ελαστικών του οχήματος και του οδοστρώματος με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται ο έλεγχος του οχήματος κατά μήκος του οδικού άξονα και ιδιαίτερα στα καμπύλα τμήματά του καθώς και ο έλεγχος του μήκους πέδησης (Gaudry & Vernier 2002, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008).

Μάλιστα, μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε υπεραστική οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας στην πολιτεία της Ιντιάνα στην Αμερική έδειξε ότι σε τμήματα της οδού όπου ο συντελεστής τριβής ήταν αυξημένος, ο αριθμός των ατυχημάτων σημείωσε μεγάλη μείωση (Labi 2006). Οι συντελεστές τριβής είχαν ομαδοποιηθεί σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους και ο διαχωρισμός αυτός παρατίθεται στον πίνακα 2. Τα αποτελέσματα της μελέτης (διάγραμμα 3) έδειξαν ότι σε τμήματα της οδού όπου η επιφάνεια του οδοστρώματος χαρακτηριζόταν από πολύ χαμηλό συντελεστή τριβής, το ποσοστό των ατυχημάτων ήταν πολύ υψηλό και άγγιζε το 46%, ενώ σε τμήματα που ο συντελεστής τριβής του οδοστρώματος ήταν πολύ υψηλός (> 12), ο αριθμός των ατυχημάτων παρουσίαζε ραγδαία μείωση και το ποσοστό έφτανε μόλις στο 3%. Αυτό συνέβαινε επειδή στα τμήματα εκείνα, ο υψηλός συντελεστής τριβής αύξανε σημαντικά τις πιθανότητες έγκαιρης επιβράδυνσης ή και πλήρους ακινητοποίησης του οχήματος, μειώνοντας τις πιθανότητες εμπλοκής σε κάποιο σοβαρό ατύχημα (Labi 2006).

Χαρακτηρισμός	Συντελεστής Τριβής (Friction)
Πολύ Χαμηλός	(0 - 4]
Χαμηλός	(0 - 8]
Ικανοποιητικός	(0 - 12]
Πολύ καλός	> 12

Πίνακας 2: Ομαδοποίηση συντελεστών τριβής σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας στην Ιντιάνα
Πηγή: Labi 2006



Διάγραμμα 3: Ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων σε οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας στην Ιντιάνα σε συνάρτηση με την τριβή του οδοστρώματος
Πηγή: Labi 2006

Εκτός από το συντελεστή τριβής του οδοστρώματος βασικό στοιχείο της κατάστασής του αποτελεί και η ύπαρξη ρηγματώσεων, βυθίσεων και άλλων αλλοιώσεων της επιφάνειάς του. Μέτρο της κατάστασης της επιφάνειας του οδοστρώματος αποτελεί ο δείκτης PSI (Present Serviceability Index) ο οποίος εκφράζει και τον βαθμό εξυπηρετικότητάς του. Ο δείκτης αυτός προκύπτει από μετρήσεις της ομαλότητας και των φθορών του οδοστρώματος (π.χ. ρηγματώσεις, μπαλώματα, τροχοαυλακώσεις) σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος. Η κλίμακα του δείκτη PSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 5, με την τιμή 5 να αντιπροσωπεύει την βέλτιστη κατάσταση του οδοστρώματος και κατ' επέκταση το μέγιστο βαθμό εξυπηρετικότητάς του (Gaudry & Vernier 2002, Labi 2006, Kopelias et al. 2007, Λοΐζος 2011).

Η κατάσταση του οδοστρώματος επηρεάζει σημαντικά τη συχνότητα και τον αριθμό των ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των ατυχημάτων αυξάνεται σε οδούς που χαρακτηρίζονται από καλή κατάσταση οδοστρώματος, δηλαδή υψηλές τιμές του δείκτη PSI (4 ή 5), ενώ μειώνεται σημαντικά σε οδούς των οποίων το οδόστρωμα σε πολλά τμήματά του χαρακτηρίζεται από λακκούβες και αυλακώσεις. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως σε οδικούς άξονες που βρίσκονται υπό κατασκευή η συχνότητα των ατυχημάτων είναι σχεδόν μηδενική. Αυτό συμβαίνει καθώς σε οδούς που το οδόστρωμα είναι σε καλή κατάσταση οι οδηγοί παρουσιάζουν την τάση να αυξάνουν ταχύτητα με αποτέλεσμα να σημειώνονται περισσότερες συγκρούσεις (Labi 2006, Kopelias et al. 2007).

Αντίθετα, οι οδοί που χαρακτηρίζονται από αυλακώσεις και μπαλώματα, δηλαδή παρουσιάζουν χαμηλό δείκτη PSI, αναγκάζουν τους οδηγούς να διατηρούν χαμηλές ταχύτητες προκειμένου να τις αποφύγουν, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται χαμηλότερα ποσοστά ατυχημάτων (Tighe et al. 2000, Labi 2006). Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι οι οδοί που χαρακτηρίζονται από τροχοαυλακώσεις, υπάρχει περίπτωση να οδηγήσουν σε αύξηση των ατυχημάτων κυρίως όταν πρόκειται για συνθήκες υγρού οδοστρώματος (μετά από βροχή, λιώσιμο πάγων στο οδόστρωμα κ.λ.π.). Η συγκέντρωση νερού στην αυλάκωση είναι δυνατόν να επιφέρει μείωση έως και ολική εξαφάνιση της πρόσφυσης μεταξύ ελαστικών και επιφάνειας του οδοστρώματος. Μάλιστα, το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικό κατά την πέδηση ενός οχήματος κινούμενου με υψηλή ταχύτητα με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η πιθανότητα

ατυχήματος (*Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008*). Επιπλέον, σε περιπτώσεις όπου οι οδοί χαρακτηρίζονται από κακή κατάσταση οδοστρώματος, υπάρχει περίπτωση να σημειωθούν ατυχήματα καθώς οι οδηγοί στην προσπάθειά τους να αποφύγουν τις αλλοιώσεις του οδοστρώματος ίσως εισέλθουν επικίνδυνα σε διπλανή λωρίδα χωρίς προειδοποίηση ή ενδεχομένως και να βγουν εκτός πορείας, με κίνδυνο εμπλοκής σε σοβαρό ατύχημα (*Labi 2006*).

Αν και η κακή επιφανειακή κατάσταση του οδοστρώματος επιδρά άμεσα στην αύξηση των ατυχημάτων σε επαρχιακές αρτηρίες, ωστόσο φαίνεται να μην έχει ιδιαίτερη συσχέτιση με τη συχνότητα εμφάνισης ατυχημάτων σε δευτερεύουσες επαρχιακές οδούς (*Labi 2006*). Το γεγονός αυτό εύκολα εξηγείται από τις συγκριτικά μικρότερες ταχύτητες που επικρατούν σε χαμηλότερες τάξεις επαρχιακών οδών. Στις περιπτώσεις τέτοιων οδών, ιδιαίτερα σαφής και ισχυρή αποδείχθηκε ότι είναι η συσχέτιση της τριβής του οδοστρώματος με τη συχνότητα ατυχημάτων. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη η τριβή στο οδόστρωμα τόσο λιγότερα και τα ατυχήματα που καταγράφονται (*Labi 2006*).

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως η ύπαρξη οριζόντιας καμπύλης ανεξαρτήτου ακτίνας σε συνδυασμό με οδόστρωμα του οποίου η επιφάνεια βρίσκεται σε κακή κατάσταση (μειωμένη τριβή, ύπαρξη αλλοιώσεων), υπαγορεύει την αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων, με ισοδύναμη εφαρμογή σε αστικές και επαρχιακές οδούς (*Kopelias et al. 2007*). Ειδικότερα, το φθαρμένο και βρεγμένο οδόστρωμα δημιουργεί προϋποθέσεις εκτροπής των οχημάτων. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται μείωση της ταχύτητας διέλευσης των οχημάτων από τα εν λόγω καμπύλα τμήματα των οδών. Τονίζεται πως τα βαρέα οχήματα ολισθαίνουν και εκτρέπονται ευκολότερα από τα επιβατηγά, για την ίδια ταχύτητα και κατάσταση οδοστρώματος (*Ψαριανός κ.α. 2006*).

2.2.4. Λωρίδες αναρρίχησης

Οι λωρίδες αναρρίχησης αποτελούν επιπλέον λωρίδες κυκλοφορίας που παρέχουν κίνηση σε ανηφορικές κλίσεις κυρίως για αργά κινούμενα οχήματα (εικόνα 1). Οι λωρίδες αναρρίχησης συμβάλλουν στη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος μιας οδού καθώς εκτονώνουν την κυκλοφορία και παρέχουν τη δυνατότητα στα βαρέα οχήματα να κινούνται χωρίς να εμποδίζουν την κυκλοφορία. Μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας στη Σουηδία συμπεράνανε ότι οι λωρίδες αναρρίχησης μείωσαν το συνολικό ποσοστό των ατυχημάτων κατά μέσο όρο 25% και πιο συγκεκριμένα από 10% έως 20% για μέτριες ανωφέρειες (κλίσεις 3% έως 4%) και από 20% έως 40% για απότομες κλίσεις. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι επιπρόσθετη μείωση των ατυχημάτων μπορεί να επιτευχθεί σε μία απόσταση περίπου 1 χλμ. πέρα από τη λωρίδα αναρρίχησης (Headman 1990). Επίσης, αριθμός μελετών που πραγματοποιήθηκαν σε οδικούς άξονες της Αμερικής συμπεράναν ότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην πρακτική των ατυχημάτων που να οφείλεται στην παροχή λωρίδας αναρρίχησης (Jorgensen 1966) ενώ μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στη Μεγάλη Βρετανία παρατήρησαν μείωση των ατυχημάτων κατά 13% (Martin & Voorhees 1978).



Εικόνα 1: Λωρίδα αναρρίχησης σε οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση
Πηγή: http://www.roadstothefuture.com/168_MD.html

2.2.5. Λωρίδα Εκτάκτου Ανάγκης (ΛΕΑ)

Η ΛΕΑ αποτελεί βασικό στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού και λωρίδα εκατέρωθεν των κύριων λωρίδων κυκλοφορίας που σκοπό έχει να εξυπηρετήσει κινήσεις έκτακτης ανάγκης, χωρίς να παρεμποδίζεται η κυρίως κυκλοφορία μιας οδού (*Ψαριανός 2006*). Η ΛΕΑ αναφέρεται ως ξεχωριστή περίπτωση σε σχέση με τις λωρίδες κύριας κυκλοφορίας, η συμβολή του πλάτους των οποίων στην οδική ασφάλεια αναλύθηκε προηγουμένως. Αρχικά, το πλάτος της ΛΕΑ παίζει σημαντικό ρόλο στον αριθμό και στη συχνότητα των ατυχημάτων. Αύξηση του πλάτους της, συνεπάγεται σημαντική μείωση των ατυχημάτων καθώς ο οδηγός έχει περισσότερο χώρο να πραγματοποιήσει ελιγμούς και να ανακτήσει τον έλεγχο του οχήματος σε περίπτωση που αυτό ξεφύγει από τις κύριες λωρίδες της κυκλοφορίας (*Iyinan 1997, Lee & Mannering 1999, Garber & Ehrhart 2000*).

Υπάρχουν αρκετές μελέτες που έχουν ερευνήσει τη σχέση του πλάτους της ΛΕΑ και του ποσοστού των ατυχημάτων. Η πλειοψηφία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι για αυτοκινητόδρομους πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας διαιρεμένους και μη, οι ακριανές λωρίδες (ΛΕΑ) με μεγάλο πλάτος μειώνουν σημαντικά το ποσοστό των ατυχημάτων (*O'Conneide 1998*). Αξίζει να αναφερθεί το σημείο αυτό, ωστόσο, πως τα ποσοστά των ατυχημάτων μειώνονται με την αύξηση του πλάτους τόσο των κύριων λωρίδων κυκλοφορίας όσο και των ακριανών λωρίδων (ΛΕΑ) αλλά η πλάτυνση των κύριων λωρίδων κυκλοφορίας παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια απ' ό,τι η αύξηση του πλάτους των ακριανών λωρίδων (*O'Conneide 1998*).

Αναφέροντας συγκεκριμένα αποτελέσματα μελετών, αύξηση του πλάτους της ΛΕΑ κατά 2 μέτρα, οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων σε ποσοστό 35% ενώ αύξηση του πλάτους της ΛΕΑ σε συνδυασμό με την επένδυσή της με άσφαλτο, επιφέρει ακόμη μεγαλύτερη μείωση στον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται (*Labi 2006*). Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ωστόσο, πως έρευνες έχουν δείξει ότι διεύρυνση του πλάτους της ΛΕΑ πέρα των 3.3 μέτρων, στην ουσία δεν επιφέρει αποτελέσματα (*Καπότσης 2002*).

Ενδεικτικά, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας (*πίνακας 3*) όπου φαίνεται η ποσοστιαία μείωση του αριθμού των ατυχημάτων για κάθε αύξηση του πλάτους της ΛΕΑ, σε οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, τόσο στην περίπτωση που έχει επενδυθεί με άσφαλτο, όσο και στην περίπτωση που δεν είναι ασφαλτοστρωμένη. Η διαπλάτυνση της ΛΕΑ έχει μετρηθεί σε πόδια και έχει μελετηθεί η ποσοστιαία μείωση του αριθμού των ατυχημάτων για αύξηση κάθε φορά του πλάτους της ΛΕΑ κατά 2 πόδια (περίπου 0.6 μέτρα). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως διαπλάτυνση της ΛΕΑ κατά περίπου 1.8 μέτρα (6 πόδια) οδηγεί σε μείωση των ατυχημάτων σε ποσοστό 49% σε οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση όπου η ΛΕΑ έχει ασφαλτοστρωθεί και αντίστοιχα σε ποσοστό 43% σε περίπτωση που η ΛΕΑ δεν έχει επενδυθεί με άσφαλτο (*Zeeger et al. 1981*).

Amount of Lane Widening (ft)	% Reduction in Crashes	
	Paved	Unpaved
2	16	13
4	29	25
6	40	35
8	49	43

Πίνακας 3: Ποσοστιαία μείωση αριθμού τροχαίων ατυχημάτων σε συνάρτηση με διαπλάτυνση της ΛΕΑ, ασφαλτοστρωμένης και μη, για οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση
Πηγή: Zeeger et al. 1981

Πρέπει να αναφερθεί, ωστόσο, στο σημείο αυτό πως η ΛΕΑ σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων όχι λόγω της γεωμετρικής της κατασκευής αλλά λόγω λανθασμένης χρήσης της. Πολλές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο δείχνουν ότι η συχνή στάθμευση των οχημάτων κατά μήκος της ΛΕΑ οδηγεί σε αύξηση των συγκρούσεων μεταξύ των σταματημένων και των κινούμενων οχημάτων με αποτέλεσμα τα ατυχήματα σε πολλές περιπτώσεις να είναι θανατηφόρα (Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί, επίσης, και η οδική απόσταση ανάκαμψης (ή απόσταση ανάκτησης ελέγχου). Η οδική απόσταση ανάκαμψης αποτελεί την απόσταση από το εξωτερικό άκρο της κύριας λωρίδας κυκλοφορίας μιας οδού έως το πλησιέστερο εμπόδιο που συναντάται (δέντρο, κεραία κ.λ.π.) και όπου προσφέρεται η δυνατότητα στο όχημα να επανέλθει φυσιολογικά στην κυκλοφορία ύστερα από κάποιο χειρισμό που οδήγησε αρχικά στην εκτροπή του από την κύρια λωρίδα κυκλοφορίας (Zeeger 1987). Η οδική απόσταση ανάκαμψης αποτελεί βασικό γεωμετρικό χαρακτηριστικό μιας οδού που συμβάλλει στην οδική ασφάλεια, όπως και η ΛΕΑ. Πιο συγκεκριμένα, αυξάνοντας την απόσταση αυτή, δηλαδή το πλάτος της λωρίδας επαναφοράς του οχήματος στην κυκλοφορία, μειώνεται σημαντικά ο αριθμός των ατυχημάτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι το ποσοστό των ατυχημάτων μειώνεται ακόμα περισσότερο αν στην περιοχή οδικής ανάκαμψης εξαλειφθούν παράγοντες που εμποδίζουν την ορατότητα όπως δέντρα, κεραίες κ.λ.π. (Labi 2006). Παρατίθεται πίνακας (πίνακας 4) με τα ποσοστά μείωσης των οχημάτων για κάθε αύξηση της απόστασης οδικής ανάκαμψης, σε οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Παρατηρείται ότι όταν η απόσταση αυτή είναι 1.5 μέτρο (περίπου 5 πόδια) η ποσοστιαία μείωση των ατυχημάτων είναι 13% ενώ όταν η απόσταση φτάσει τα 6 μέτρα τα ατυχήματα μειώνονται κατά 44%.

Amount of Increased Roadside Recovery Distance (ft)	% Reduction in "Related" Crash Types
5	13
8	21
10	25
12	29
15	35
20	44

Πίνακας 4: Ποσοστιαία μείωση αριθμού τροχαίων ατυχημάτων σε συνάρτηση με την απόσταση οδικής ανάκαμψης
Πηγή: Zeeger et al. 1981

2.2.6. Διαγράμμιση

Η διαγράμμιση λωρίδων ή περιοχών ενός οδικού άξονα αποτελεί με την ευρεία έννοια στοιχείο της γεωμετρίας της οδού που επηρεάζει τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται στις περιοχές αυτές. Μπορεί να πρόκειται για χρωματική διαγράμμιση, παράλληλων, λευκών λωρίδων στο οδόστρωμα, ή για ανάγλυφες διαγραμμίσεις που παρέχουν στον οδηγό ηχητική προειδοποίηση ότι πλησιάζει κάποια επερχόμενη αλλαγή στο οδόστρωμα όπως, μια επικίνδυνη οριζόντια καμπύλη, ή ότι το όχημά του έχει ξεφύγει από την κανονική του πορεία και είτε έχει εισέλθει στο αντίθετο ρεύμα αριστερά, είτε έχει ξεφύγει δεξιά πάνω στη ΛΕΑ κινδυνεύοντας να φύγει από τα όρια του οδοστρώματος (Labi 2006, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008). Πιο συγκεκριμένα, διαγράμμιση συναντάται κατά μήκος ενός οδικού άξονα, σε ορισμένες περιπτώσεις στις Λωρίδες Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ), και πιο συχνά σε τμήματα πλέξης, σε ράμπες εισόδου και εξόδου από ένα οδικό τμήμα καθώς και ανάμεσα από τις δύο λωρίδες αντίθετης κυκλοφορίας (εικόνα 2). Η διαγράμμιση συμβάλλει στην καλύτερη όραση των ακραίων λωρίδων (ΛΕΑ) και των τμημάτων πλέξης από τον οδηγό, γι αυτό και στις περιοχές που έχουν διαγραμμιστεί, ο αριθμός των ατυχημάτων μειώνεται σημαντικά (Καπότσης 2002, Kopelias et al. 2007). Μάλιστα, μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί δείχνουν ότι διαγράμμιση των ακραίων λωρίδων (ΛΕΑ) σε πολλούς οδικούς άξονες της Αμερικής, έχουν οδηγήσει σε μείωση του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων σε ποσοστό 14% και σε μείωση του αριθμού των σοβαρών τραυματισμών σε ποσοστό 15%. Επιπλέον, διαγράμμιση του οδοστρώματος ανάμεσα στις λωρίδες αντίθετης κυκλοφορίας οδήγησε σε μείωση του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων σε ποσοστό 21% και σε μείωση του αριθμού των σοβαρών τραυματισμών σε ποσοστό 25% (Retting 2003).



Εικόνα 2: Ανάγλυφη διαγράμμιση στο οδόστρωμα

Πηγή: http://www.salem-news.com/articles/august092006/rumble_strips_8906.php

2.2.7. Απόσταση από πλευρικά εμπόδια και αντικείμενα

Κατά μήκος ενός οδικού άξονα, και πιο συγκεκριμένα, εκατέρωθεν αυτού συναντώνται πολλά αντικείμενα όπως είναι το στηθαίο ασφαλείας, διάφορες προειδοποιητικές πινακίδες, κολώνες φωτισμού, ποικίλες κεραίες ρεύματος ή σήματος, μεγάλες βραχώδεις μάζες καθώς και συστάδες δέντρων και άλλων ειδών βλάστησης που επηρεάζουν σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται. Η απόσταση των κύριων λωρίδων κυκλοφορίας από τα αντικείμενα αυτά, αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα που ρυθμίζει τη συχνότητα και τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται σε ένα τμήμα ενός οδικού άξονα και αποτελεί σημαντικό στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού.

Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση της κύριας λωρίδας κυκλοφορίας από τα αντικείμενα αυτά τόσο μειώνεται η πιθανότητα σύγκρουσης κάποιου οχήματος μαζί τους και άρα κάποιου θανατηφόρου ατυχήματος. Η απόσταση από το στηθαίο ασφαλείας, τις συστάδες δέντρων και θάμνων, τις κεραίες σήματος κ.λ.π. καθορίζεται, προφανώς, και από το πλάτος της ΛΕΑ το οποίο, όπως έχει αναφερθεί, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των ατυχημάτων όταν είναι αρκετά μεγάλο ώστε να προσφέρει τη δυνατότητα στον οδηγό να ανακτήσει τον έλεγχο του αυτοκινήτου και να το επαναφέρει ασφαλώς στην κύρια λωρίδα κυκλοφορίας, όταν για διάφορους λόγους έχει ξεφύγει από την κανονική του πορεία (*Gattis et al. 1993, Faller et al. 1998*).

Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό πως οι συστάδες δέντρων κατά μήκος ενός οδικού άξονα, αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες πρόκλησης ατυχημάτων καθώς είναι ψηλές και συνοδεύονται από πυκνή βλάστηση γεγονός που δυσχεραίνει σε μεγάλο βαθμό την ορατότητα και συμβάλλει σε σοβαρά ατυχήματα (*Labi 2006*). Ακόμη, σε περίπτωση που κάποιο όχημα ξεφύγει από την κανονική του πορεία και διασχίζοντας το όριο του οδοστρώματος συγκρουστεί με κάποιο δέντρο, η πιθανότητα το ατύχημα να είναι θανατηφόρο είναι πολύ μεγάλη (*Gattis et al. 1993, Faller et al. 1998*).

Επίσης, το στηθαίο ασφαλείας το οποίο τοποθετείται δεξιά της ΛΕΑ, συμβάλλει στη μείωση των ατυχημάτων μόνο στις περιπτώσεις που το πλάτος της ΛΕΑ είναι αρκετά μεγάλο ώστε ο οδηγός να έχει τον απαιτούμενο χώρο για να επιβραδύνει το όχημα και να σταματήσει επιτυχώς πριν το στηθαίο. Σε αντίθετη περίπτωση, το πλάτος της ΛΕΑ είναι ανεπαρκές με αποτέλεσμα το όχημα να συγκρουστεί με το στηθαίο και να σημειωθεί θανατηφόρο ατύχημα. Μάλιστα έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε οδικούς άξονες των ΗΠΑ της Αμερικής, απέδειξαν ότι το στηθαίο ασφαλείας ευθύνεται για το 15.3% των συνολικών ατυχημάτων που σημειώνονται σε μια οδό (*Lee & Mannering 1997*). Αξίζει να σημειωθεί το σημείο αυτό ότι αποτελέσματα πολλών ερευνών έχουν δείξει ότι τα δέντρα εκατέρωθεν μιας οδού ευθύνονται σε ποσοστό 68% για σοβαρούς τραυματισμούς ενώ σε ποσοστό 7.2% αποτελούν αιτία θανατηφόρων ατυχημάτων. Ακόμη, οι τάφροι που βρίσκονται εκατέρωθεν, κατά μήκος ενός οδικού άξονα ευθύνονται σε ποσοστό 62.3% για σοβαρούς τραυματισμούς και σε ποσοστό 6.1% για θανατηφόρα ατυχήματα (*Labi 2006*).

Increase in Distance between Obstacle and Roadway (ft)	% Reduction in Crashes			
	Trees	Culverts & Signs	Guardrails	Fences/Gates
3	22	14	36	20
5	34	23	53	30
8	49	34	70	44
10	57	40	78	52
13	66	N.F.	N.F.	N.F.
16	71	N.F.	N.F.	N.F.

Πίνακας 5: Ποσοστιαία μείωση αριθμού τροχαίων ατυχημάτων σε συνάρτηση με την απόσταση από αντικείμενα εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα (δέντρα, οχετοί και πινακίδες, στηθαίο ασφαλείας και φράχτης αντίστοιχα)
Πηγή: Labi 2006

Στον πίνακα που παρουσιάζεται παραπάνω (πίνακας 5) φαίνεται η ποσοστιαία μείωση στον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνεται με αύξηση της απόστασης των δέντρων, των οχετών και των προειδοποιητικών πινακίδων, του στηθαίου ασφαλείας καθώς και άλλων ειδών περιφραξής από το οδόστρωμα και συγκεκριμένα από τις κύριες λωρίδες κυκλοφορίας, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε οδικούς άξονες της Ιντιάνα στην Αμερική (Labi 2006). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως αύξηση της εγκάρσιας απόστασης της οδού από συστάδες δέντρων, οχετούς, στηθαίο ασφαλείας και φράχτη κατά περίπου 3 μέτρα (10 πόδια) οδηγεί σε μείωση του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται, σε ποσοστό 57%, 40%, 78% και 52 % αντίστοιχα ενώ όταν συστάδες δέντρων βρίσκονται σε απόσταση 4 μέτρων από το οδόστρωμα (13 πόδια) τότε τα ατυχήματα μειώνονται σε ποσοστό 71%. Η σήμανση «N.F.» που φαίνεται στον πίνακα για τα υπόλοιπα αντικείμενα και αποστάσεις άνω των 4 μέτρων δηλώνουν ότι στις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορους οδικούς άξονες της Ιντιάνα στην Αμερική, δεν ήταν εφικτός ο εντοπισμός αυτών των αντικειμένων σε τέτοιες αποστάσεις από το οδόστρωμα (Labi 2006).

2.2.8. Διαχωριστική νησίδα

Σε προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκε η επιρροή του τύπου μιας οδού στον αριθμό των ατυχημάτων και πραγματοποιήθηκε ιδιαίτερη αναφορά στους διαιρεμένους και αδιαίρετους τύπους οδού. Στην ενότητα αυτή εξετάζεται ξεχωριστά η διαχωριστική νησίδα σε μια οδό ως στοιχείο της γεωμετρίας της. Αναφέρεται ενδεικτικά από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί ότι μια αύξηση στο πλάτος της διαχωριστικής νησίδας της τάξης του 10% έχει ως αποτέλεσμα μείωση της τάξης του 2% στη συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων. Θα πρέπει, ωστόσο, να αναφερθεί ότι στη περίπτωση που συναντάται αλλαγή διατομής στο υπεραστικό δίκτυο με κρασπεδωμένη νησίδα, η οποία δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις της οδικής ασφάλειας, η συχνότητα εμπλοκής, ακόμα και για οδούς με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση, αυξάνεται σημαντικά (Καπότσης 2002).

Επιπλέον, μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε οδικούς άξονες της Αμερικής και συγκεκριμένα στη Γιούτα και στο Ιλινόις, απέδειξαν ότι μείωση του πλάτους υπάρχουσας διαχωριστικής νησίδας από 19.5 μέτρα σε 12.2, δηλαδή κατά περίπου 7 μέτρα, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των ατυχημάτων κατά 23% (Knuiiman et al. 1993). Επιπλέον, μικρή μείωση στον αριθμό των ατυχημάτων σημειώνεται για

διαχωριστικές νησίδες που έχουν πλάτος μικρότερο των 7.6 μέτρων ενώ σημαντική μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων σημειώνεται για εύρος πλάτους νησίδας μεταξύ 7 και 9 μέτρων (*Knuiiman et al. 1993*). Διαχωριστικές νησίδες διαιρεμένων οδών μίας, δύο ή και περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας, που έχουν μεγάλο πλάτος εμποδίζουν τα οχήματα να περάσουν στο αντίθετο ρεύμα σε περίπτωση απώλειας ελέγχου του οχήματος, συμβάλλοντας έτσι στην αποφυγή των μετωπικών συγκρούσεων που στο συντριπτικό τους ποσοστό οδηγούν σε θανατηφόρα ατυχήματα (*Lee & Mannering 1999*).

Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε οδικούς άξονες της Δανίας, δείχνουν ότι οι νησίδες που έχουν ενισχυθεί με προστατευτικές μπάρες ασφαλείας μειώνουν σημαντικά τόσο τον αριθμό όσο και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων ενώ αναφέρουν ότι νησίδες με πλάτος άνω των 3 μέτρων παρέχουν μικρά επιπλέον οφέλη (*The Roads Directorate 1981*). Σε αντίθεση, οι αμερικάνικες μελέτες δείχνουν συνεχόμενη μείωση στον αριθμό των συγκρούσεων που οδηγούν σε σοβαρούς τραυματισμούς καθώς και των θανατηφόρων ατυχημάτων για πλάτη νησίδας έως 12 μέτρα ή και περισσότερο (*Hughes 1995*). Σημειώνεται, ακόμη, ότι εκτός από το πλάτος της νησίδας ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έχει και η διατομή της. Αυξημένη ασφάλεια επιτυγχάνεται με κοίλη διατομή και επικλίσεις που κυμαίνονται από 6:1 μέχρι 10:1 (*Garner & Deen 1973*). Για την αύξηση της οδικής ασφάλειας ενδείκνυται, επίσης, η εγκατάσταση στηθαίων ασφαλείας κατά μήκος της διαχωριστικής νησίδας ανάλογα με το πλάτος της νησίδας και την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΕΜΗΚ) (*Mitchie 1971*).

Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό, πως η σχετική επικινδυνότητα υπεραστικών οδικών τμημάτων μειώνεται αισθητά στην περίπτωση παρουσίας κεντρικής νησίδας. Συγκεκριμένα, σε μελέτη που διεξήχθη σε οδικά τμήματα του οδικού άξονα Πάτρα – Αθήνα – Θεσσαλονίκη – Εύζωνοι (ΠΑΘΕ), το 2002, διαπιστώθηκε η θετική επιρροή της ύπαρξης κεντρικής νησίδας στην οδική ασφάλεια των υπεραστικών αυτών οδικών τμημάτων, καθότι προέκυψε ότι οι πιθανότητες να συμβεί κάποιο ατύχημα για μια ορισμένη τιμή του κυκλοφοριακού φόρτου και απουσία κεντρικής νησίδας, είναι αυξημένες. Η σχέση που προέκυψε από τη μελέτη αυτή παρουσιάζεται παρακάτω:

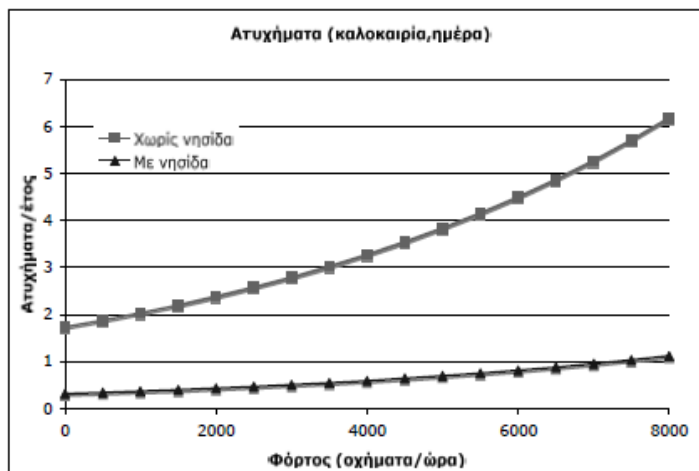
$$g(\mu_i) = \text{intercept} * 1 + b_{med} * median_i + b_{dark} * dark_i + b_{rain} * rain_i + b_{flow} * flow_i$$

όπου:

- Intercept: σταθερά
- median: ύπαρξη ή μη διαχωριστικής νησίδας (εύρος τιμών 1 – 2)
- dark: συνθήκες φωτισμού (εύρος τιμών 1 – 2)
- rain: καιρικές συνθήκες, ύπαρξη βροχής (εύρος τιμών 1 – 2)
- flow: κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα)

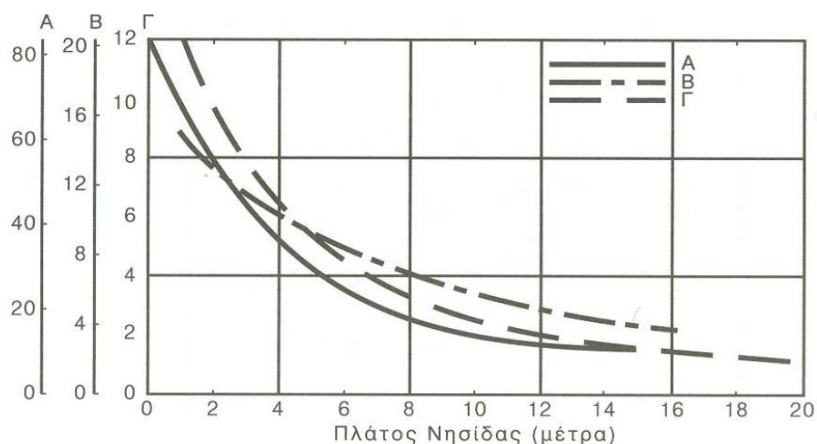
Παράλληλα, ένα ακόμα σημαντικό συμπέρασμα της εν λόγω έρευνας ήταν ότι μια ενδεχόμενη αύξηση του φόρτου σε υπεραστική οδό που δεν διαθέτει κεντρική νησίδα αυξάνει δραματικά τις πιθανότητες ατυχήματος (*Μπουρνελάκη 2002*). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής παρατίθενται στο διάγραμμα 4 όπου, μέσω χρήσης της κατανομής quasi-Poisson, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του αριθμού των ατυχημάτων που αναμένεται να συμβούν σε επίπεδα και ευθεία οδικά τμήματα του άξονα ΠΑΘΕ, κατά τη διάρκεια της ημέρας και υπό κανονικές, καιρικές συνθήκες, σε συνάρτηση με την ΕΜΗΚ. Από την εφαρμογή αυτή προέκυψε ότι ο δείκτης σχετικής επικινδυνότητας αυξάνει σημαντικά όταν δεν υπάρχει νησίδα για το ίδιο επίπεδο κυκλοφοριακού φόρτου. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η αρνητική επίπτωση της

έλλειψης κεντρικής νησίδας στην οδική ασφάλεια εντείνεται σημαντικά με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου με αποτέλεσμα ενώ για χαμηλούς φόρτους η επικινδυνότητα είναι μόνο λίγες φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την ύπαρξη νησίδας, όταν αυξηθεί ο κυκλοφοριακός φόρτος η διαφορά διευρύνεται σημαντικά (Μπουρνελάκη 2002).



Διάγραμμα 4: Αριθμός ατυχημάτων σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο
Πηγή: Μπουρνελάκη 2002

Παρακάτω, παρατίθεται ακόμη ένα διάγραμμα (διάγραμμα 5) που δείχνει το ποσοστό των ατυχημάτων των οχημάτων που διέσχισαν τη διαχωριστική νησίδα και ενεπλάκησαν σε ατύχημα με τα αντίθετως κινούμενα οχήματα (Α), τον αριθμό των ατυχημάτων των οχημάτων που διέσχισαν τη νησίδα αλλά δεν ενεπλάκησαν σε ατύχημα με τα αντίθετως διερχόμενα οχήματα (σε εκατομμύρια οχήματα) (Β) και το ποσοστό των ατυχημάτων με μετωπική σύγκρουση των οχημάτων (Γ). Παρατηρείται ότι για πλάτος νησίδας 12 μέτρα μόνο το 15% όλων των οχημάτων που εισήλθαν στη νησίδα εισήλθαν και στο αντίθετο ρεύμα (Φραντζεσκάκης & Γκόλιας 1994).

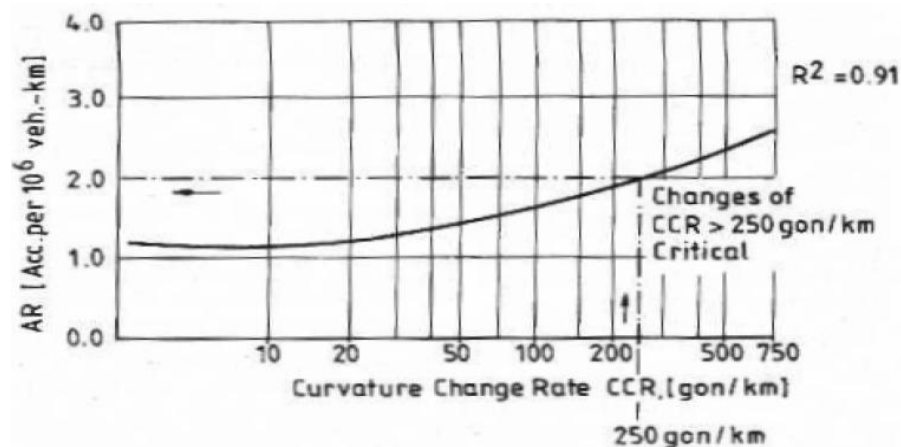


Διάγραμμα 5: Αριθμός και ποσοστό ατυχημάτων σε συνάρτηση με το πλάτος της διαχωριστικής νησίδας
Πηγή: Φραντζεσκάκης & Γκόλιας 1994

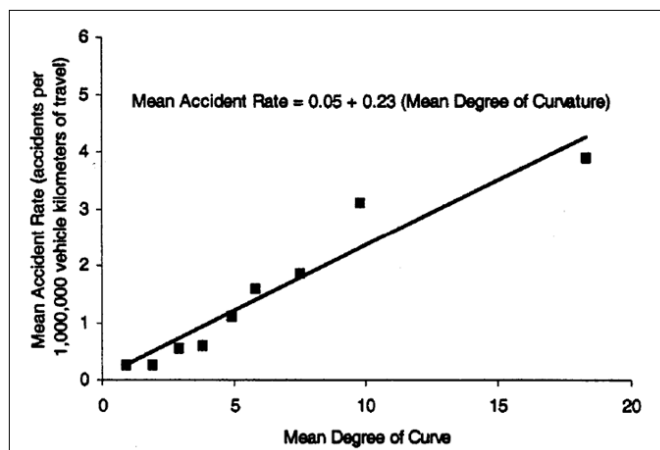
2.2.9. Οριζόντιες καμπύλες

Η ύπαρξη οριζόντιων σε έναν οδικό άξονα αυξάνει τις πιθανότητες ατυχημάτων ειδικά όταν συνδυάζεται με χαμηλής ποιότητας οδόστρωμα καθώς οι συνθήκες ορατότητας σε αυτές δεν είναι ικανοποιητικές και οι φυγόκεντρες δυνάμεις που δημιουργούνται αυξάνουν σημαντικά τις πιθανότητες εκτροχιασμού του οχήματος (Lee & Mannering 1999, Abdel & Abdalla 2004, Kopelias et al. 2007, Turner 2009). Μελέτες έχουν δείξει ότι οι δείκτες ατυχημάτων στα καμπύλα τμήματα μιας οδού μπορεί να είναι 1.5 με 4 φορές υψηλότεροι σε σχέση με τα ευθύγραμμα οδικά τμήματα (Αναγνώστου & Ξαγοράκη, 2008), ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το 30% των θανατηφόρων, τροχαίων ατυχημάτων συμβαίνουν στα καμπύλα τμήματα ενός οδικού άξονα (Καζαγλή 2009). Μεγάλος αριθμός μελετών υποστηρίζει, επίσης, ότι ο βαθμός επικινδυνότητας είναι αυξημένος στα καμπύλα τμήματα σε σχέση με τα ευθύγραμμα και πως η πιθανότητα ατυχήματος σε καμπύλο τμήμα αυξάνεται σημαντικά λόγω της δυναμικής των οχημάτων και της επιπρόσθετης προσπάθειας που απαιτείται να καταβάλει ο οδηγός προκειμένου να ελέγξει την ευστάθεια του οχήματος (Καπότσης 2002).

Αναφέροντας πιο συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μια οριζόντιας καμπύλης, η καμπυλότητά της αποτελεί παράγοντα που συμβάλλει σημαντικά στον αριθμό των ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός καμπυλότητας μιας καμπύλης μετρείται σε ακτίνια ανά χιλιόμετρο (radians/km) και όσο αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων κατά μήκος ενός οδικού άξονα (διαγράμματα 6 και 7). Δηλαδή, όσο πιο απότομη γίνεται μια οριζόντια καμπύλη τόσο αυξάνονται οι πιθανότητες να συμβεί κάποιο θανατηφόρο ατύχημα (Μιαου 1993, Voigt & Krammes 1994, Lamm et al. 1998, Kopelias et al. 2007, Turner 2009, Καζαγλή 2009, Findley et al. 2011). Άλλες έρευνες δείχνουν, επίσης, 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 είναι ίδιος με αυτόν στην ευθυγραμμία του εξεταζόμενου τμήματος (Μπαλαδήμας 2006).



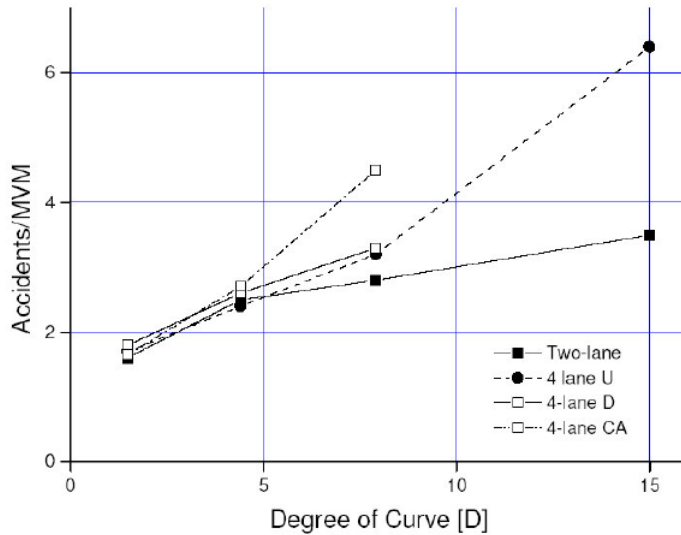
Διάγραμμα 6: Αριθμός ατυχημάτων σε συνάρτηση με την καμπυλότητα οριζόντιας καμπύλης
Πηγή: Iyinat et al. 1997



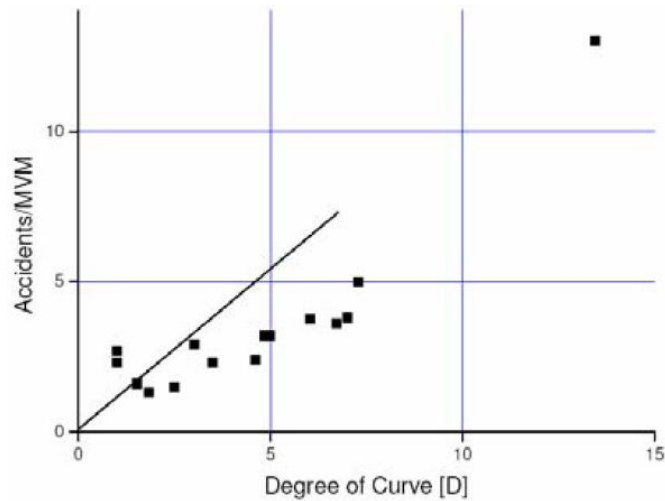
*Διάγραμμα 7: Μέσος ρυθμός ατυχημάτων σε συνάρτηση με το μέσο βαθμό καμπυλότητας οριζόντιας καμπύλης
Πηγή: Fink & Krammes 1995*

Στο *διάγραμμα 8* παρατίθενται τα αποτελέσματα έρευνας που εξέτασε τα χαρακτηριστικά υπεραστικών οδών, χρησιμοποιώντας δεδομένα από περίπου 5000 μίλια (περίπου 8 χιλιόμετρα) αυτοκινητοδρόμου σε 15 πολιτείες των ΗΠΑ. Η σχέση μεταξύ του αριθμού των ατυχημάτων και του βαθμού καμπυλότητας για τρεις τύπου δρόμων της κατηγορίας των υπεραστικών οδών, ήταν γραμμική και, όπως φαίνεται από στο *διάγραμμα*, το (U) αφορά σε αδιαίρετους αυτοκινητόδρομους τεσσάρων λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, το (D) αφορά σε διαιρεμένους αυτοκινητόδρομους τεσσάρων λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και το (CA) αφορά σε αυτοκινητόδρομους τεσσάρων λωρίδων ανά κατεύθυνση με έλεγχο προσπέλασης ενώ φαίνεται και το *διάγραμμα* που αφορά σε οδούς δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση (*Μπαλαδήμας 2006, Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008*).

Επιπλέον, το *διάγραμμα 9* απεικονίζει τη σχέση μεταξύ του αριθμού των ατυχημάτων ανά μίλι (περίπου 1.6 χιλιόμετρα) σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας όπως προέκυψε από την έρευνα του Leisch και των συνεργατών του το 1971, η οποία βασίστηκε στην επέκταση στοιχείων παλαιότερων μελετών. Από το *διάγραμμα* είναι προφανές ότι μείωση της καμπυλότητας μιας οριζόντιας καμπύλης από 10 στους 9 βαθμούς επιφέρει περίπου το ίδιο ευεργετικό αποτέλεσμα στον αριθμό των ατυχημάτων με τη μείωση από τους 3 στους 2 βαθμούς.

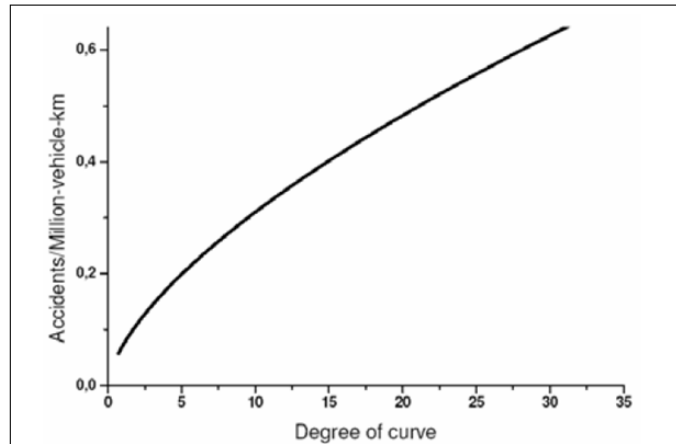


Διάγραμμα 8: Αριθμός ατυχημάτων ανά μίλι (ανά περίπου 1.6 χιλιόμετρα) σε συνάρτηση με το μέσο βαθμό καμπυλότητας οριζόντιας καμπύλης
Πηγή: Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008



Διάγραμμα 9: Αριθμός ατυχημάτων ανά μίλι (ανά περίπου 1.6 χιλιόμετρα) σε συνάρτηση με το μέσο βαθμό καμπυλότητας οριζόντιας καμπύλης από την έρευνα του Leisch
Πηγή: Leisch et al. 1971

Αξίζει να παρατεθεί και το διάγραμμα της έρευνας των Matthews και Barnes (1988) που πραγματοποιήθηκε σε οδικούς άξονες της Νέας Ζηλανδίας, οι οποίοι συμπέραναν από τα αποτελέσματα των ερευνών τους ότι ο αριθμός των ατυχημάτων αυξάνεται σημαντικά σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας μιας οριζόντιας καμπύλης. Τα δεδομένα προέρχονταν από 4666 καμπύλες αυτοκινητοδρόμων και από 5 έτη ατυχημάτων, δηλαδή συνολικά 1.082 ατυχήματα. Η συνάρτηση είναι λογαριθμικής μορφής όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 10).



Διάγραμμα 10: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας οριζόντιας καμπύλης
Πηγή: Matthews & Barnes 1988

Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ακόμα μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2008 στην Ελλάδα και εξετάστηκαν τμήματα ελληνικών οδικών αξόνων με το χαρακτηρισμό της εθνικής οδού. Πιο συγκεκριμένα, τα τμήματα αυτά ήταν (Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008):

- Νέα Εθνική οδός Αθήνα – Κόρινθος – Πάτρα: Τμήμα από Κόρινθο μέχρι Πάτρα (μήκος 108 χλμ.)
- Εθνική οδός Αντιρρίου – Μεσολογγίου – Άρτας: Τμήμα από Αντίρριο μέχρι Αμφιλοχία (μήκος 119 χλμ.)

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδωσαν τις παρακάτω σχέσεις:

- Για το οδικό τμήμα Κορίνθου – Πατρών

$$AR = 0,48 + 3,10 \times e^{\frac{R-350}{25}}$$

$$AR = 0,3 + 0,0002 \times e^{2,39 \times D}$$

όπου:

- AR: Δείκτης ατυχημάτων ή συμμετοχών ανά εκατομμύριο οχηματοχιλιόμετρα
- D: Βαθμός καμπυλότητας ενός κυκλικού τόξου (°/100ft)
- R: ακτίνα του κυκλικού τόξου (m)

Ο συντελεστής συσχέτισης και για τις δύο εξισώσεις είναι $R^2 = 0,82$.

- Για το οδικό τμήμα Αντίρριο – Αμφιλοχία

$$AR = 0,24 + 1,62 \times e^{\frac{R-100}{50}}$$

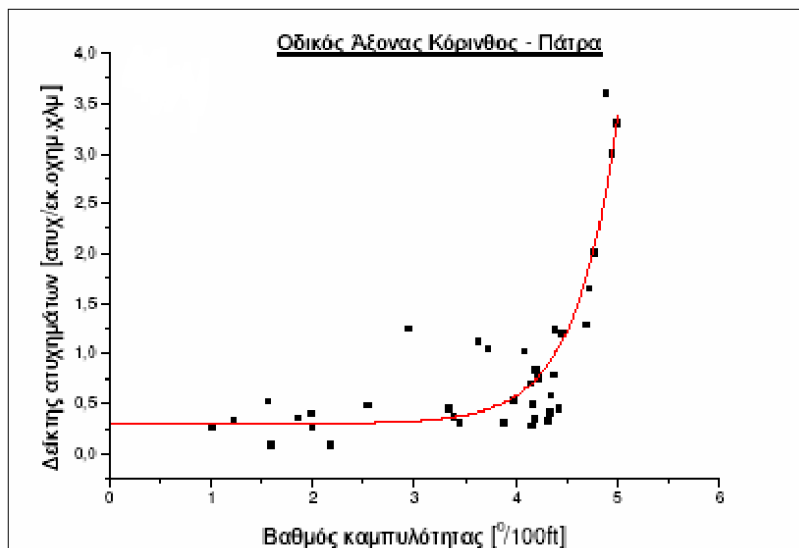
$$AR = 0,14 + 0,055 \times e^{0,21 \times D}$$

όπου:

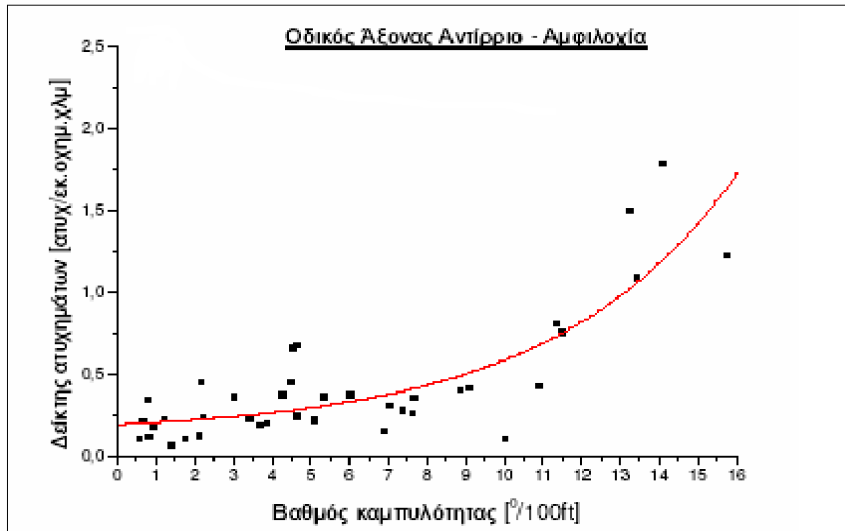
- AR: Δείκτης ατυχημάτων ή συμμετοχών ανά εκατομμύριο οχηματοχιλιόμετρα
- D: Βαθμός καμπυλότητας ενός κυκλικού τόξου ($^{\circ}/100\text{ft}$)
- R: ακτίνα του κυκλικού τόξου (m)

Ο συντελεστής συσχέτισης και για τις δύο εξισώσεις είναι $R^2 = 0,72$.

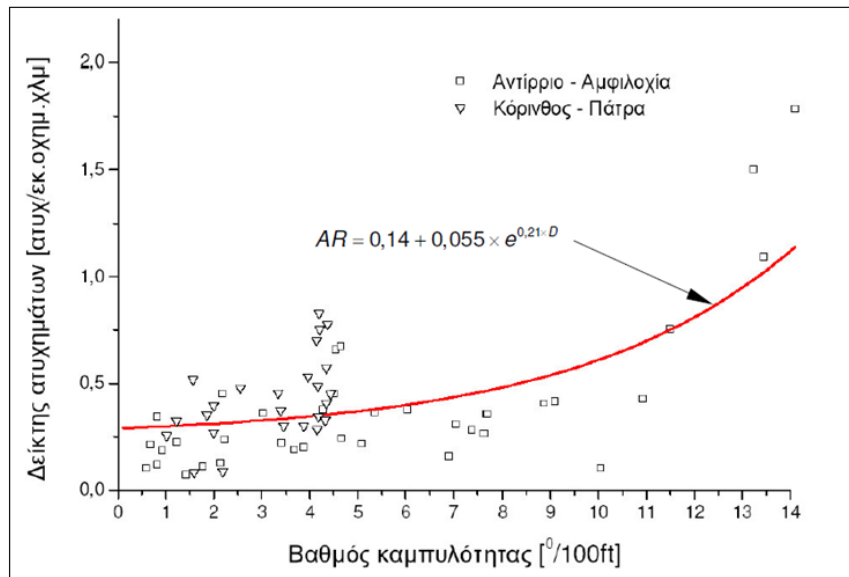
Τα αποτελέσματα σχετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων σε συνάρτηση με την καμπυλότητα των οριζόντιων καμπυλών που συναντήθηκαν κατά μήκος των εξεταζόμενων τμημάτων των παραπάνω οδικών αξόνων παρατίθενται στα παρακάτω διαγράμματα (διαγράμματα 11 και 12). Το διάγραμμα 13 συγκεντρώνει τα αποτελέσματα της μελέτης και για τα δύο οδικά τμήματα που εξετάστηκαν μαζί με την εκθετική σχέση που συνδέει το δείκτη των ατυχημάτων (AR) με το βαθμό καμπυλότητας της οριζόντιας καμπύλης (D).



Διάγραμμα 11: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας οριζόντιας καμπύλης για τον οδικό άξονα Κόρινθος - Πάτρα
Πηγή: Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008



Διάγραμμα 12: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας οριζόντιας καμπύλης για τον οδικό άξονα Αντίρριο – Αμφιλοχία
Πηγή: Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008



Διάγραμμα 13: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με το βαθμό καμπυλότητας οριζόντιας καμπύλης για τον οδικό άξονα Κόρινθος – Πάτρα και Αντίρριο - Αμφιλοχία
Πηγή: Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008

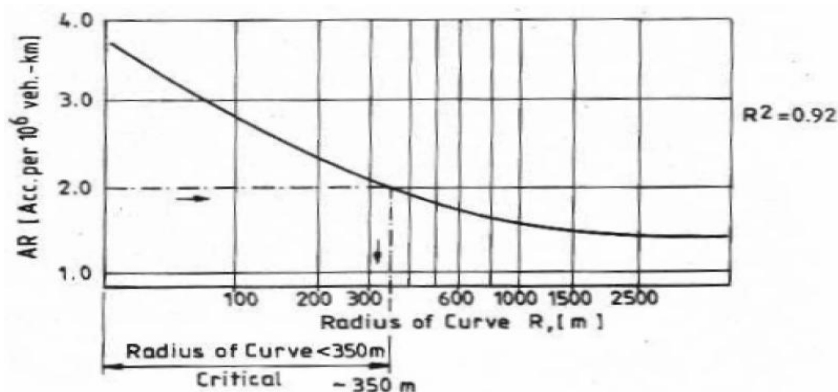
Η **ακτίνα** μιας οριζόντιας καμπύλης μετρείται σε ακτίνια (radians) και επηρεάζει τον αριθμό των ατυχημάτων που συμβαίνουν κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Πιο συγκεκριμένα, μεγάλοι αριθμοί μελετών συγκλίνει στο συμπέρασμα ότι η μείωση της τιμής της ακτίνας οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων που λαμβάνουν χώρα σε μια οδό. Μάλιστα, η μείωση της ακτίνας μιας οριζόντιας καμπύλης έχει ως συνέπεια να μη γίνεται εύκολα ορατή από τον οδηγό με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα απώλειας του ελέγχου του οχήματος και άρα κάποιου σοβαρού ίσως και θανατηφόρου ατυχήματος

(πίνακας 6). Η περίπτωση αυτή συναντάται συχνά σε περιοχές με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο όπου επικρατούν μεγάλες υψομετρικές διαφορές, με αποτέλεσμα η ορατότητα στις οριζόντιες καμπύλες να δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο και να απαιτούνται δύσκολοι ελιγμοί προκειμένου να διατηρηθεί ο έλεγχος του οχήματος (Lee & Mannering 1999, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008). Υπάρχουν, όμως, και μελέτες που υποστηρίζουν πως η επιρροή της ακτίνας μιας οριζόντιας καμπύλης στον αριθμό των ατυχημάτων δεν είναι σημαντική (Iyinat 1997, Korpelias et al. 2007).

Ακτίνα Καμπύλης (μέτρα)	Ατυχήματα ανά 10 ⁶ οχηματοχιλιόμετρα για Οδό :		
	2 Λωρίδων	4 Λωρίδων	
		Χωρίς Νησίδα	Με Νησίδα
>600	1.0	1.2	1.1
300 – 600	1.6	1.6	1.5
170 – 300	1.8	2.1	1.9
<170	2.2	4.5	4.2

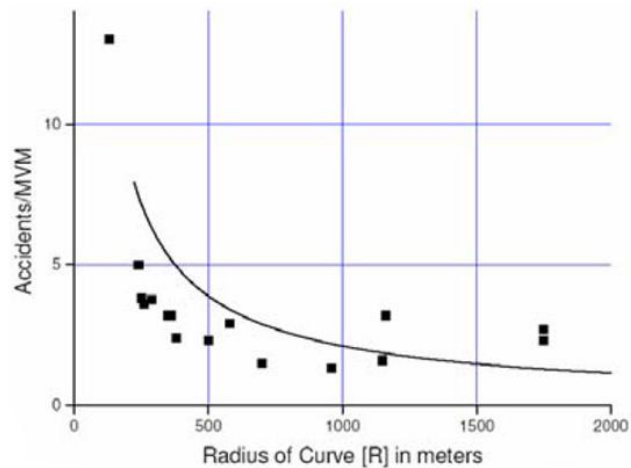
Πίνακας 6: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης για διάφορα είδη οδών
Πηγή: Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008

Ωστόσο, η πλειοψηφία των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει μελετήσει τη στατιστική συσχέτιση μεταξύ της οδικής ασφάλειας και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των οριζόντιων καμπυλών, συγκλίνει στο συμπέρασμα ότι η αλλαγή της ακτίνας μιας οριζόντιας καμπύλης είναι ανάλογη της μεταβολής του αριθμού των ατυχημάτων (Korpelias et al. 2007). Αυξημένη πιθανότητα ατυχήματος εμφανίζεται ιδιαίτερα σε κλειστές καμπύλες όταν αυτές ακολουθούν μεγάλες ευθυγραμμίες, καθώς επίσης και σε αλληλουχία καμπυλών που επιβάλλουν αλλαγή στην ταχύτητα κίνησης των οχημάτων (Καζαγλή 2009). Καθίσταται, συνεπώς, σαφές το γεγονός πως όσο μεγαλύτερος ο μέσος όρος της ακτίνας σε οριζόντιες καμπύλες τόσο πιο έντονα διασφαλίζεται η ανθρώπινη ασφάλεια και ακεραιότητα (Labi 2006). Στο διάγραμμα που παρατίθεται παρακάτω (διάγραμμα 14), φαίνεται η σχέση του δείκτη των ατυχημάτων και της ακτίνας μιας οριζόντιας καμπύλης που προέκυψε από μελέτη οδικού άξονα στην Τουρκία (Iyinat et al. 1997). Επιπλέον, στον πίνακα 6 παρατίθεται ο δείκτης ατυχημάτων συναρτήσει διαφόρων τιμών της ακτίνας οριζόντιας καμπύλης για οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση καθώς και 4 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση διαιρεμένες και αδιαίρετες (Φραντζεσκάκης & Γκόλιας 1997, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008).

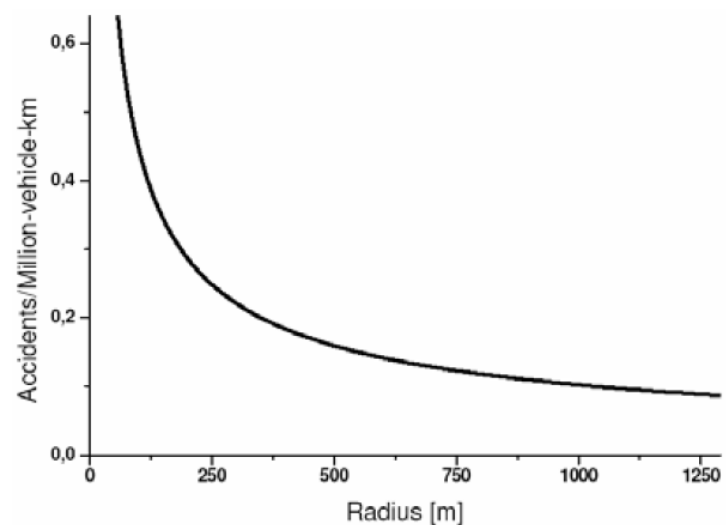


Διάγραμμα 14: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης
Πηγή: Iyinat et al. 1997

Αναφέρεται στο σημείο αυτό και η έρευνα του Leisch και των συνεργατών του (1971), οι οποίοι εκτός από τη σχέση της καμπυλότητας μιας οριζόντιας καμπύλης με το δείκτη των τροχαίων ατυχημάτων είχαν μελετήσει και τη σχέση των ατυχημάτων με την ακτίνα μιας οριζόντιας καμπύλης. Η εκθετική αυτή σχέση παρατίθεται στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 15) όπου φαίνεται πως αύξηση της ακτίνας οριζόντιας καμπύλης οδηγεί σε σημαντική μείωση του δείκτη των τροχαίων ατυχημάτων κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Ακόμη, φαίνεται ότι όταν αυξάνει η ακτίνα από 200 μέτρα στα 300 μέτρα, επιφέρεται σημαντικά μεγαλύτερη μείωση στον αριθμό ατυχημάτων από μια αύξηση της ακτίνας από τα 900 στα 1.000μέτρα. Στο *διάγραμμα 16*, παρατίθεται το αντίστοιχο αποτέλεσμα της έρευνας των Matthews και Barnes (1988) σχετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων και την ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης.



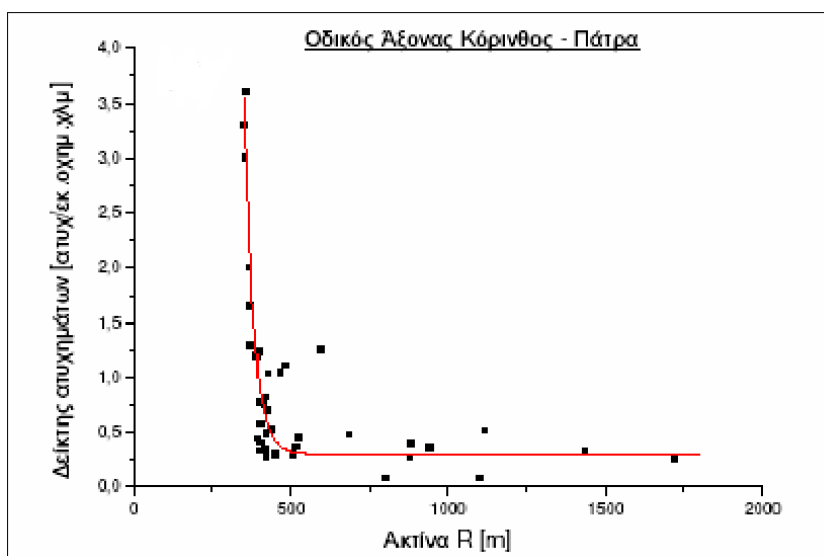
Διάγραμμα 15: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης
Πηγή: Leisch et al. 1971



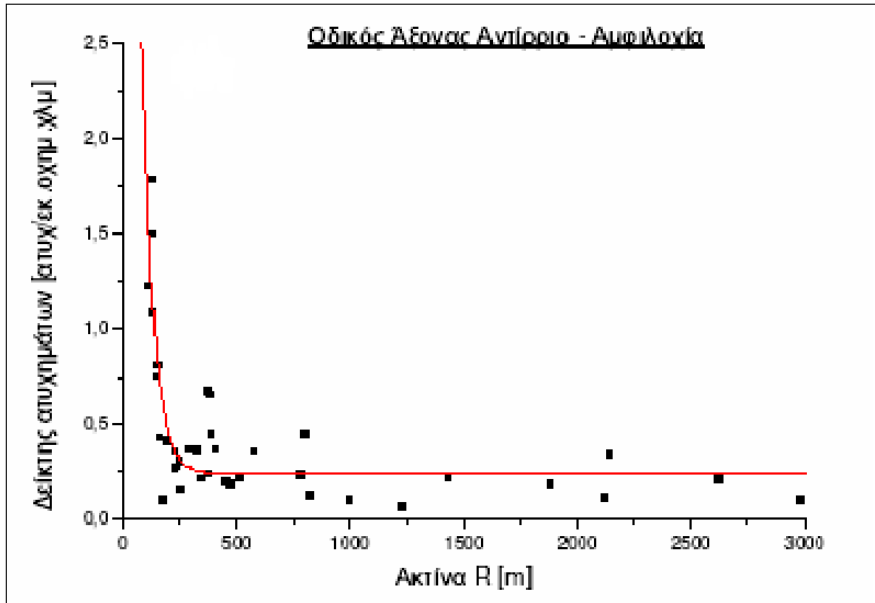
Διάγραμμα 16: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης
Πηγή: Matthews & Barnes 1988

Παρακάτω παρατίθενται και τα διαγράμματα (17, 18 και 19) της ακτίνας οριζόντιας καμπύλης και δείκτη ατυχημάτων, της μελέτης των Ματσούκης και Μπαλαδήμα (2008) σχετικά με τους οδικούς άξονες Κορίνθου - Πάτρας και Αντιρρίου - Αμφιλοχίας. Για το τμήμα Κόρινθος - Πάτρα εξετάστηκαν 37 καμπύλες ενώ η ακτίνα των καμπυλών κυμαίνεται μεταξύ 350 και 1720 μέτρων. Για το τμήμα Αντίρριο - Αμφιλοχία εξετάστηκαν 38 καμπύλες ενώ η ακτίνα των καμπυλών κυμαίνεται μεταξύ 110 και 3000 μέτρων. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής πραγματοποιήθηκε προσπάθεια προσαρμογής διάφορων μορφών συναρτήσεων (γραμμικής, εκθετικής, κ.λπ.) για τα ζεύγη ακτίνας (R) - δείκτη ατυχημάτων (Rs). Στο *διάγραμμα 19* παρατίθεται η σχέση ακτίνας οριζόντιας καμπύλης και αριθμού των ατυχημάτων για το σύνολο των δεδομένων και για τους δύο οδικούς άξονες.

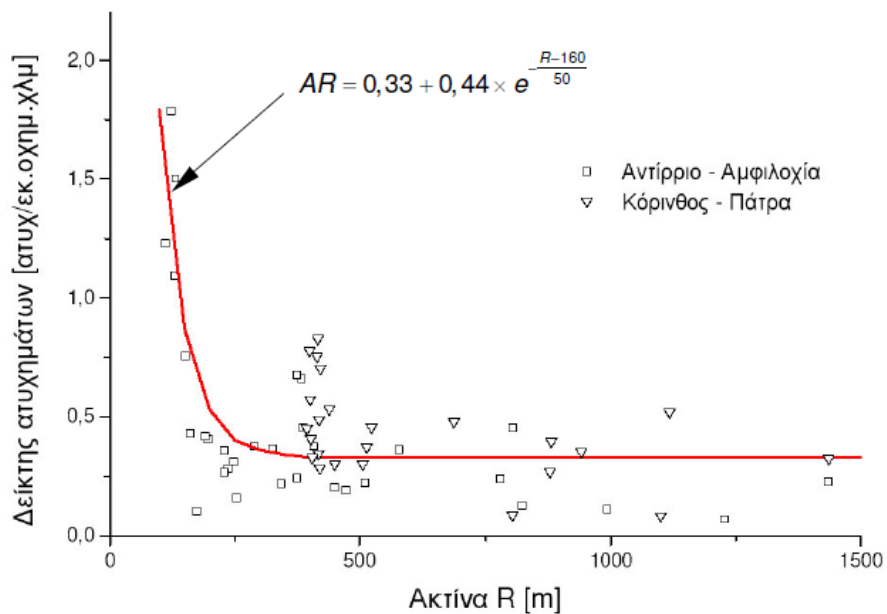
Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως μεγάλος αριθμός μελετών κατέδειξε δραματική αύξηση των ατυχημάτων σε περιπτώσεις όπου οι καμπύλες ήταν πιο απότομες σε συνδυασμό με επιπλέον γεωμετρικές δυσαρμονίες, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις που το πλάτος της οριζόντιας καμπύλης ήταν μικρό, όπου διαπιστώθηκε ανεπαρκής επίκλιση καθώς και έλλειψη τόξων συναρμογής (Zegeer *et al.* 1987, Καπότσης 2002). Επιπλέον, όσον αφορά στα φορτηγά, συγκριτικά με τα επιβατηγά οχήματα, είναι πιο επιρρεπή σε ατυχήματα που λαμβάνουν χώρα σε καμπύλα τμήματα εξαιτίας του υψηλότερου κέντρου βάρους τους. Τα βαρέα οχήματα που είναι φορτωμένα με εμπόρευμα, ανατρέπονται πιο εύκολα από τα επιβατηγά, ακόμα και σε στεγνό οδόστρωμα καλής ποιότητας. Τα ατυχήματα αυτά όμως είναι σοβαρά και καταλήγουν μοιραία στο 30% των περιπτώσεων (Ψαριανός κ.α. 2006). Καθίσταται, συνεπώς, σαφές πως τα βαρέα οχήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία στο να διασχίσουν απότομα καμπύλα τμήματα λόγω αυξημένης πιθανότητας εκτροχιασμού τους (Καζαγλή 2009).



Διάγραμμα 17: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης για τον οδικό άξονα Κόρινθος - Πάτρα
Πηγή: Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008



Διάγραμμα 18: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης για τον οδικό άξονα Αντίρριο – Αμφιλοχία
Πηγή: Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008



Διάγραμμα 19: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης για τον οδικό άξονα Κόρινθος – Πάτρα και Αντίρριο - Αμφιλοχία
Πηγή: Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008

Η συχνότητα των οριζόντιων καμπυλών κατά μήκος ενός οδικού άξονα συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων λόγω αυξημένης πιθανότητας εκτροπής του ατυχήματος στην καμπύλη. Προκειμένου να μειωθεί ο δείκτης των ατυχημάτων λόγω των οριζόντιων και κατακόρυφων καμπυλών κατά μήκος μιας οδού θα πρέπει να υπάρχει προειδοποιητική σήμανση πριν από επικείμενη καμπύλη καθώς και ικανοποιητική απόσταση ορατότητας ώστε ο οδηγός να μπορεί να προσαρμόσει κατάλληλα την ταχύτητα του οχήματος και να αντισταθμίσει τις φυγόκεντρες δυνάμεις που δημιουργούνται ώστε να αποφευχθεί η εκτροπή του οχήματος (Καπότσης 2002, Καζαγλή 2009).

Παρατίθεται πίνακας (πίνακας 7) με τον δείκτη των ατυχημάτων σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης και τη συχνότητα με την οποία οι καμπύλες συναντώνται κατά μήκος μιας οδού (Φραντζεσκάκης & Γκόλιας 1997, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008). Στο σημείο αυτό αναφέρεται και το μήκος της οριζόντιας καμπύλης ως παράγοντας που επηρεάζει τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος ενός οδικού άξονα (Findley et al. 2011). Αυξημένο μήκος οριζόντιας καμπύλης συνεπάγεται μεγαλύτερη απόσταση που πρέπει να διανύσει το όχημα πάνω στην καμπύλη, γεγονός που απαιτεί δύσκολους χειρισμούς από τον οδηγό και αυξάνει τις πιθανότητες εκτροπής του οχήματος (Miaou 1993, Abdel-Aty & Abdalla 2004, Kopelias et al. 2007, Findley et al. 2011).

Αριθμός Καμπύλων ανά γλμ.	Ατυχήματα ανά 10 ⁶ οχηματοχιλιόμετρα για Ακτίνα Καμπύλης (μέτρα)			
	>600	300 - 600	170 - 130	<170
0 – 0.6	0.9	1.7	1.3	2.7
0.6 – 1.8	0.9	1.3	1.6	1.6
1.8 – 3.1	1.2	1.6	1.8	2.1
3.1 – 4.4	1.9	1.8	1.7	2.4

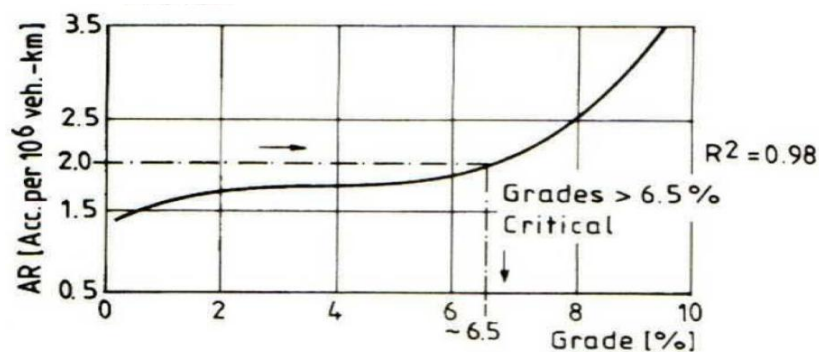
Πίνακας 7: Αριθμός ατυχημάτων σε συνάρτηση με τη συχνότητα των οριζόντιων καμπυλών για διάφορες τιμές της ακτίνας
Πηγή: Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008

Στο σημείο αυτό αναφέρεται πως η παρουσία τόξων συναρμογής κατά μήκος μιας οδού μειώνει σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται (Καπότσης 2002, Zegeer et al. 1987, Ψαριανός 2001). Τα τόξα συναρμογής παρεμβάλλονται μεταξύ ευθυγράμμων και κυκλικών τόξων ή μεταξύ ομόρροπων (ωσειδής καμπύλη) ή αντίρροπων (σιγμοειδής καμπύλη) κυκλικών τόξων και αποσκοπούν στην ύπαρξη των απαιτούμενων μηκών συναρμογής της επίκλισης, στην άνεση και στην ασφάλεια των οδηγών λόγω σταδιακής μεταβολής της φυγόκεντρης δύναμης και στη διευκόλυνση εισόδου των οχημάτων στα καμπύλα τμήματα εντός του προβλεπόμενου κυκλοφοριακού χώρου (Ψαριανός 2001). Κρίνεται σημαντική, συνεπώς, η ύπαρξή τους κατά μήκος ενός οδικού άξονα.

2.2.10. Κατακόρυφες καμπύλες

Η ύπαρξη κατακόρυφων καμπυλών κατά μήκος ενός οδικού άξονα, όπως και στην περίπτωση των οριζόντιων καμπυλών που εξετάστηκαν παραπάνω, αυξάνει τις πιθανότητες τροχαίου ατυχήματος, λόγω δύσκολου χειρισμού του οχήματος κατά μήκος αυτών (Lee & Mannering 1999, Labi 2006). Καταρχάς, θα πραγματοποιηθεί αναφορά στην **κλίση** τους, βασικό χαρακτηριστικό της γεωμετρίας κάθε κατακόρυφης καμπύλης, που από την πλειοψηφία των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως, επιδρά σημαντικά στην αύξηση του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Πιο συγκεκριμένα, η κλίση της κατακόρυφης καμπύλης μιας οδού συμβάλλει σημαντικά στην επικινδυνότητά της, αυξάνοντας τον αριθμό των ατυχημάτων της. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, δείχνουν ότι αύξηση της κλίσης μιας κατακόρυφης καμπύλης κατά μήκος μιας οδού αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων, ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως σχετικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορους οδικούς άξονες της Γερμανίας το 1957, έδειξαν απότομη αύξηση του δείκτη ατυχημάτων σε τμήματα με κατά μήκος κλίση μεγαλύτερη του 4% (Bitzel 1957).

Η αύξηση της κατά μήκος κλίσης μιας οδού συνεπάγεται αύξηση της επικινδυνότητάς της, ιδιαίτερα μετά την τιμή του 4% (Καπότσης 2002, Ψαριανός κ.α. 2006). Επιπλέον, μεγάλος αριθμός ερευνών δείχνει ότι ο αριθμός των ατυχημάτων στην κατωφέρεια είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον που σημειώνεται στην ανωφέρεια (Καπότσης 2002). Μάλιστα, έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Brinkman και Perchonok (1979) απέδειξε ότι, διατηρώντας σταθερά όλα τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού, ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων στην κατωφέρεια είναι κατά 63% μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στην ανωφέρεια. Ακόμα, σε απότομες κατωφέρειες (κλίση > 4%), βαρέα οχήματα προσπαθώντας να διατηρήσουν τον έλεγχο δημιουργούν σοβαρά ατυχήματα ενώ οι μετωπικές συγκρούσεις των επιβατηγών οχημάτων για κατωφέρειες κλίσης 4% που συναντώνται σε ποσοστό 175%, εκτοξεύονται σε ποσοστό 250% για κατωφέρειες κλίσης 8% (Labi 2006). Τα ατυχήματα στις ανωφέρειες οφείλονται κυρίως στα προσπεράσματα προπορευόμενων οχημάτων που στην περίπτωση αδιαίρετης οδού μίας λωρίδας κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, η ανωφέρεια δυσχεραίνει την ορατότητα με συνέπεια να σημειώνονται μετωπικές συγκρούσεις. Στην κατωφέρεια, σημειώνονται σοβαρά ατυχήματα λόγω δυσκολίας επιβράδυνσης του οχήματος με αποτέλεσμα να σημειώνονται είτε μετωπικές συγκρούσεις είτε εκτροπή του οχήματος από τα όρια της οδού (Καζαγλή 2009). Στο διάγραμμα που παρατίθεται παρακάτω (διάγραμμα 20) φαίνεται η συσχέτιση δείκτη ατυχημάτων και κατακόρυφης κλίσης που προέκυψε από μελέτη οδικού άξονα στην Τουρκία.



Διάγραμμα 20: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την κατακόρυφη κλίση οδικού άξονα
Πηγή: Iyınam et al. 1997

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν, επίσης, τα αποτελέσματα ερευνών που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 8) και δείχνουν το δείκτη των ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης και την κατά μήκος κλίση. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, όσο αυξάνεται η κλίση του οδοστρώματος και μειώνεται η ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης, τόσο αυξάνεται και ο δείκτης των ατυχημάτων.

Ακτίνα Οριζόντιας Καμπύλης (μέτρα)	Κατά Μήκος Κλίση			
	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8
500 – 1000	0.74	1.07	1.93	2.34
1000 – 2000	0.51	0.71	1.86	2.01
2000 – 3000	0.40	0.20	1.51	1.71
3000 – 3500	0.43	0.25	1.31	1.56
> 3500	0.28	0.30	1.06	1.33

Πίνακας 8: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την ακτίνα οριζόντιας καμπύλης και την κατά μήκος κλίση της οδού
Πηγή: Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008

Παραθέτοντας, ενδεικτικά, και άλλες μελέτες που έχουν ασχοληθεί με τη κλίση μιας οδού και τον αριθμό των ατυχημάτων, αναφέρεται ότι ο Hedman (1990) σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε οδικούς άξονες της Σουηδίας, δηλώνει ότι βαθμοί κλίσης της τάξεως των 2.5% και 4% αυξάνουν τα ατυχήματα κατά 10% και 20% αντίστοιχα συγκρινόμενοι με τους δρόμους των μηδενικών κατά μήκος κλίσεων. Ο Glennon και οι συνεργάτες του (1987), αφού εξέτασαν τα αποτελέσματα ενός αριθμού μελετών στις ΗΠΑ, συμπέραναν ότι τα τμήματα του δρόμου με κλίση έχουν μεγαλύτερα ποσοστά ατυχημάτων από ότι τα επίπεδα τμήματα, οι απότομες κλίσεις έχουν μεγαλύτερα ποσοστά ατυχημάτων από ότι οι ήπιες κλίσεις και οι κατηγορικές κλίσεις έχουν μεγαλύτερα ποσοστά ατυχημάτων από ότι οι ανηφορικές κλίσεις. Τέλος, οι Simpson και Kerman (1982) παρατήρησαν ότι οι συνολικές επιπτώσεις των απότομων κλίσεων στα τροχαία ατυχήματα δεν είναι τόσο σοβαρές όσο εμφανίστηκαν στην αρχή, εφόσον οι απότομες κλίσεις έχουν μικρότερο μήκος.

Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό πως η σχέση της κλίσης μιας οδού και της συχνότητας των ατυχημάτων κατά μήκος της είναι δύσκολο να προσδιοριστεί τις περισσότερες φορές. Η δυσκολία αυτή της συσχέτισης οφείλεται στο γεγονός των πολλών και διαφορετικών συνδυασμών ταχυτήτων που δύναται να υπάρξουν σε κεκλιμένο έδαφος με αποτέλεσμα να ποικίλλει απόσταση που θα έχει στη διάθεσή του ο οδηγός για να φρενάρει, και τελικά η πιθανότητα εξέλιξης μιας κατάστασης σε ατύχημα (Kopelias et al. 2007). Για αυτό το λόγο οι έρευνες που έχουν μελετήσει τη συσχέτιση της κλίσης μιας οδού με τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται πραγματοποιούν μελέτες για συγκεκριμένες τιμές ταχυτήτων και διατηρώντας σταθερά τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού (O'Conneide 1998).

Ένας επιπλέον παράγοντας που αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα σοβαρού, τροχαίου ατυχήματος είναι το ενδεχόμενο ύπαρξης οριζόντιας καμπύλης που να προϋπάρχει ή να ακολουθεί κατακόρυφης καμπύλης. Ειδικότερα στην περίπτωση που μία απότομη οριζόντια καμπύλη ακολουθεί κατακόρυφης, τα ατυχήματα αυξάνονται σε σημαντικό βαθμό ενώ σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει το μήκος ορατότητας που θα αναφερθεί παρακάτω (Kopelias et al. 2007).

Ο **βαθμός της καμπυλότητας** μιας κατακόρυφης καμπύλης αποτελεί σημαντικό στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την οδική της ασφάλεια. Συγκεκριμένα, αποτελέσματα μελετών συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι στις κυρτές και κοίλες καμπύλες συσσωρεύεται σημαντικός αριθμός

ατυχημάτων κυρίως λόγω ανεπαρκούς μήκους ορατότητας. Μάλιστα ο δείκτης ατυχημάτων που σημειώνεται στις κοίλες καμπύλες είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο που σημειώνεται στις κυρτές ενώ η τιμή του δείκτη είναι αυξημένη κατά την είσοδο στις καμπύλες (Mullins & Kesse 1961, O'Conneide 1998, Καπότσης 2002, Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008). Ακόμη, τα μεγαλύτερα ποσοστά ατυχημάτων σε κατακόρυφες καμπύλες έχουν σημειωθεί κυρίως σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση (Καπότσης 2002).

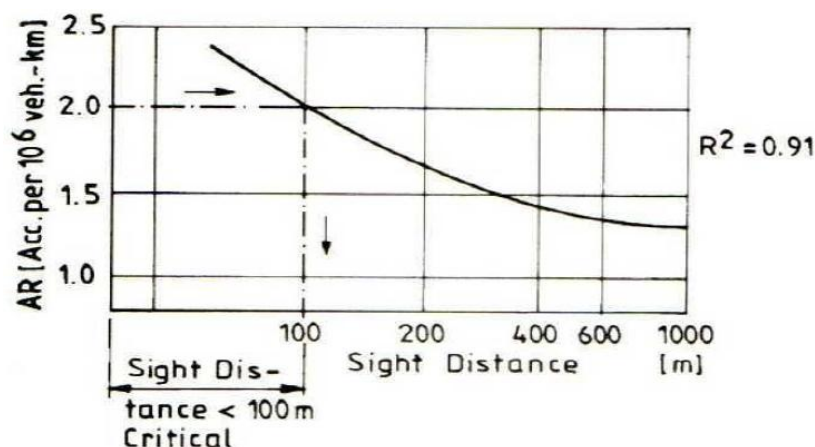
Ένα ακόμα στοιχείο των κατακόρυφων καμπυλών που παίζει βασικό ρόλο στη συχνότητα των ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος μιας οδού είναι η συχνότητά τους. Όπως έχει αναφερθεί, στις κατακόρυφες καμπύλες απαιτείται από τον οδηγό η ικανότητα κατάλληλου χειρισμού της ταχύτητας του οχήματος σε συνδυασμό με την απόσταση από την επικείμενη κατακόρυφη καμπύλη, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον έλεγχο του οχήματος αυξάνοντας την πιθανότητα να βρεθεί εκτός πορείας. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός πως η ύπαρξη προειδοποιητικής πινακίδας για πορεία σε κατακόρυφη καμπύλη μειώνει σε σημαντικό βαθμό τον αριθμό των ατυχημάτων (Lee & Mannering 1999). Το μήκος της κατακόρυφης καμπύλης, επίσης, αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος ενός οδικού άξονα καθώς αυξάνεται η απόσταση που το όχημα θα πρέπει να διατηρήσει την ομαλή του πορεία σε συνθήκες κατακόρυφης καμπύλης γεγονός που απαιτεί δύσκολους χειρισμούς από τον οδηγό (Μιαου 1993, Lee & Mannering 1999, Turner 2009).

Πρέπει να αναφερθεί, ακόμη, πως τόσο στην περίπτωση των οριζόντιων όσο και στην περίπτωση των κατακόρυφων καμπυλών, το πλάτος των λωρίδων και της ΛΕΑ παίζει σημαντικό ρόλο καθώς όσο μεγαλύτερο είναι τόσο προσφέρεται ο απαραίτητος χώρος στον οδηγό να διατηρήσει τον έλεγχο του οχήματός του, όταν κινείται κατά μήκος της καμπύλης, και να μπορέσει να το επαναφέρει στην κανονική του πορεία στην περίπτωση που αυτό εκτραπεί (Turner 2009, Καζαγλή 2009, Findley et al. 2011). Πρακτικά ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο του πλάτους της λωρίδας και τη σχέση του με τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων ενώ αναφέρεται ότι στην περίπτωση των οριζόντιων και κατακόρυφων καμπυλών το πλάτος των λωρίδων παίζει καθοριστικό ρόλο.

Επιπλέον, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζει σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων κατά μήκος μιας οδού είναι το μήκος ορατότητας (Μαυρομάτης κ.α. 2012). Το μήκος ορατότητας ορίζεται από το τμήμα της οδού που εκτίθεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού κάθε χρονική στιγμή. Όσο μικρότερο είναι το μήκος αυτό τόσο λιγότερη πληροφορία είναι διαθέσιμη για αξιολόγηση με αποτέλεσμα ένας οδηγός να χρειάζεται πιο συχνά να ανανεώνει τις προβλέψεις του (Μπαλαδήμας 2006). Όταν ορισμένα χαρακτηριστικά της μηκοτομής (κατά μήκος κλίσεις), διακόπτουν την οριακή οπτική ακτίνα που ξεκινάει από τον οφθαλμό του οδηγού και κατευθύνεται προς τον δρόμο ευθεία, τότε παρατηρείται το πολύ επικίνδυνο φαινόμενο της απόκρυψης των ενδεχόμενων εμποδίων ή καμπυλών τμημάτων που έπονται (Μαυρομάτης κ.α. 2012). Το γεγονός αυτό θεωρείται ιδιαίτερα βασικό από άποψη οδικής ασφάλειας καθώς η απώλεια αντίληψης της οδού από τον χρήστη της αυξάνει την πιθανότητα τροχαίου ατυχήματος.

Μάλιστα, το μήκος ορατότητας πριν από ενδεχόμενη οριζόντια ή κατακόρυφη καμπύλη είναι σημαντικό, καθώς προσφέρει τον απαιτούμενο χρόνο και χώρο στον οδηγό να προσαρμόσει την ταχύτητα του οχήματός του ώστε να διέλθει με ασφάλεια στην επικείμενη καμπύλη (Lee & Mannering 1997, Fishburn et al. 2001, Ψαριανός 2009). Μάλιστα από μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε οδικούς άξονες δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση στις ΗΠΑ, προέκυψε ότι η συχνότητα ατυχημάτων σε περιοχές με ανεπαρκή

ορατότητα ήταν κατά 52% υψηλότερη σε σχέση με περιοχές όπου η ορατότητα ήταν ικανοποιητική (O’Cinneide 1998). Επιπλέον, μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία απέδειξε ότι το ποσοστό των ατυχημάτων μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του μέσου ορίου ορατότητας κατά μήκος ενός οδικού άξονα, ειδικά σε περιπτώσεις χαμηλού φωτισμού (βραδινές ώρες) (O’Cinneide 1998). Στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 21) παρατίθεται η σχέση δείκτη ατυχημάτων και μήκους ορατότητας από μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε οδικό άξονα της Τουρκίας, μήκους 150 χιλιομέτρων, δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση.



Διάγραμμα 21: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με το μήκος ορατότητας
Πηγή: Iyınam et al. 1997

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί η απόσταση πέδησης ως σημαντικό γεωμετρικό χαρακτηριστικό μιας οδού που παίζει σημαντικό ρόλο στην οδική ασφάλεια. Η απόσταση πέδησης είναι η απόσταση που απαιτείται από τον οδηγό προκειμένου να σταματήσει με ασφάλεια το όχημά του ώστε να αποφύγει τη σύγκρουση με αντικείμενο επί του οδοστρώματος. Αποτελεί την ελάχιστη απόσταση πέδησης που απαιτείται και συνιστά έναν από τους μεγαλύτερους παράγοντες ελέγχου του κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το σχεδιασμό των δρόμων εφόσον η πρόβλεψή του επηρεάζει το μέγεθος πολλών άλλων στοιχείων σχεδιασμού.

Μεγάλος αριθμός μελετών έχει αποδείξει ότι μικρές αποστάσεις πέδησης είναι επικίνδυνες και συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων (Zeeger et al. 1981, Lee & Mannering 1997, O’Cinneide 1998). Μάλιστα, μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε οδικούς άξονες της Μεγάλης Βρετανίας απέδειξε ότι τα ποσοστά ατυχημάτων αυξήθηκαν απότομα και σε μεγάλο βαθμό για αποστάσεις πέδησης μικρότερες από 100 μέτρα ενώ για αποστάσεις πέδησης μεγαλύτερες των 500 μέτρων δεν σημειώθηκαν σημαντικές μεταβολές στον αριθμό των ατυχημάτων (O’Cinneide 1998).

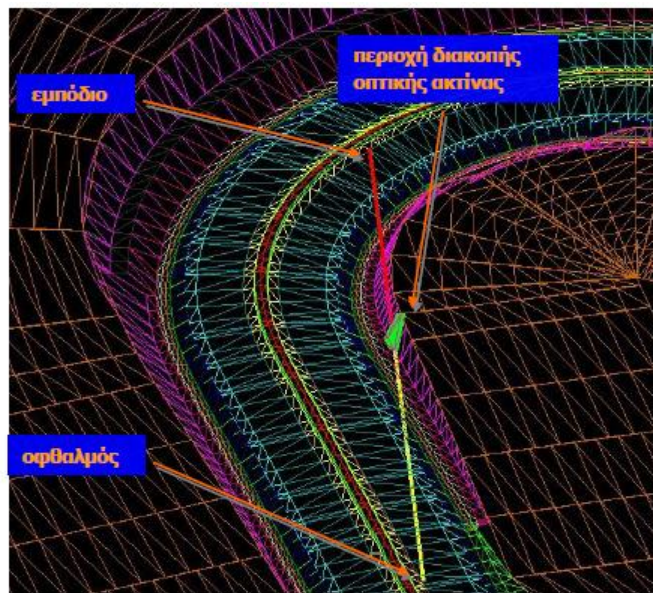
2.2.11. Μήκος Ορατότητας

Καθοριστικής σημασίας παράγοντα για την οδική ασφάλεια και την απρόσκοπτη κυκλοφοριακή ροή σε έναν οδικό άξονα αποτελεί η ύπαρξη επαρκών μηκών ορατότητας. Η είσοδος σε καμπύλο τμήμα μια οδού καθίσταται ιδιαίτερα επικίνδυνη υπόθεση στην περίπτωση που το εν λόγω καμπύλο τμήμα συγκεντρώνει πληθώρα προβληματικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών, γεγονός που καθιστά αδύνατη την έγκαιρη οπτική αντίληψη εκ μέρους του οδηγού. Ειδικότερα σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, η λανθασμένη θεώρηση του οδικού περιβάλλοντος εκ μέρους του οδηγού και οι απότομες μεταβολές της ταχύτητας κίνησης του οχήματος σε μία προσπάθεια αποφυγής ενδεχόμενου εμποδίου, αυξάνουν την πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος (Μαυρομάτης κ.α. 2012).

Με άλλα λόγια, η διασφάλιση της ορατότητας του οδηγού κάθε στιγμή κατά τη διάρκεια της οδήγησης, είναι υψίστης σημασίας τόσο για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής όσο και για την αποφυγή συγκρούσεων των οχημάτων με άγρια ζώα, των οποίων οι βιότοποι είναι σε πολύ κοντινές αποστάσεις από τους οδικούς άξονες, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με την Εγνατία Οδό στην Ελλάδα. Σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, γίνεται αναφορά στο μήκος ορατότητας ως την κρισιμότερη παράμετρο σε θέματα ασφαλούς και αποτελεσματικής ολοκλήρωσης αιφνίδιων ελιγμών (Μαυρομάτης κ.α. 2012).

Το ελάχιστο μήκος ορατότητας καλείται μήκος ορατότητας για στάση και είναι η παράμετρος εκείνη που αποτελεί τη βάση για την επιλογή κρίσιμων γεωμετρικών παραμέτρων σε περιπτώσεις καμπύλων τμημάτων. Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση είναι το άθροισμα δύο επιμέρους μηκών (Ψαριανός 2001, Μαυρομάτης κ.α. 2012) :

- του διαστήματος που διανύει το όχημα κατά το χρόνο αντίληψης αντίδρασης του οδηγού έως τη στιγμή που αρχίζει η διαδικασία πέδησης με ακινητοποιημένους τροχούς και
- της απόστασης που διανύει το όχημα έως την πλήρη στάση του



Εικόνα 3: Παράδειγμα διακοπής της γραμμής ορατότητας σε δεξιόστροφη καμπύλη
Πηγή: Μαυρομάτης κ.α. 2012

Η τιμή που προκύπτει θα πρέπει να αναδεικνύει ένα επαρκές μήκος ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο της οδού ώστε όχημα κινούμενο με την λειτουργική ταχύτητα να είναι δυνατό να ακινητοποιηθεί πριν προσκρούσει σε απροσδόκητο σταθερό εμπόδιο (*Μαυρομάτης κ.α. 2012*). Η τιμή αυτή περιγράφεται σχεδιαστικά με τη βοήθεια της οριακής οπτικής ακτίνας μεταξύ οφθαλμού οδηγού και εμποδίου που περιγράφεται στην (*εικόνα 3*). Σε περίπτωση διακοπής της εν λόγω οπτικής ακτίνας, όπως συνηθέστερα συμβαίνει σε στροφές, ο οδηγός δεν διαθέτει τον απαραίτητο χώρο και χρόνο να αντιδράσει αποτελεσματικά. Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, πως το μήκος ορατότητας για στάση επηρεάζεται τόσο από την οριζοντιογραφία όσο και από τη μηκοτομή του δρόμου. Η μελέτη της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής πρέπει να εξασφαλίζει τα μήκη ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος του δρόμου (*Ψαριανός 2001*).

Στο σημείο αυτό αναφέρεται μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας της πολιτείας του Texas στην Αμερική, η οποία έδειξε συσσώρευση ατυχημάτων κατά μήκος κυρτών και κοίλων καμπυλών που οφείλονταν κυρίως σε ανεπαρκές μήκος ορατότητας. Μάλιστα, όπως προέκυψε από την έρευνα, ο δείκτης ατυχημάτων κατά την είσοδο στις καμπύλες ήταν μεγαλύτερος ενώ ήταν, επίσης συνολικά μεγαλύτερος στις κοίλες από ότι στις κυρτές καμπύλες (*Mullins et al. 1961*). Το μοντέλο που προέκυψε από την έρευνα αυτή και συσχέτιζε τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονταν κατά μήκος των κυρτών και κοίλων καμπυλών με το διαθέσιμο μήκος ορατότητας παρουσιάζεται παρακάτω:

$$N = AR_h(L)(V) + AR_h(Lr)(V)(Far)$$

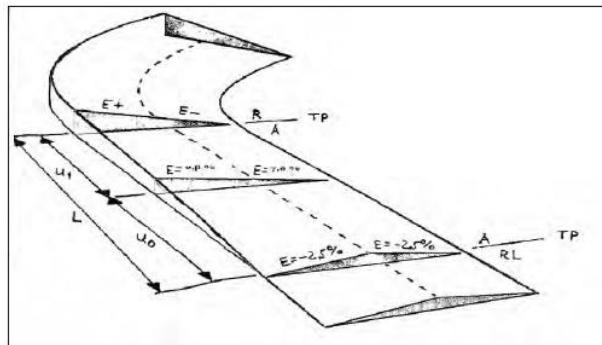
όπου:

- N: ο αριθμός ατυχημάτων σε τμήμα υπεραστικής οδού, στο οποίο τμήμα υπάρχει κυρτή καμπύλη
- AR_h: ο μέσος δείκτης ατυχημάτων στη συγκεκριμένη υπεραστική οδό, σε ατυχήματα ανά εκατομμύρια οχηματοχιλιόμετρα
- L: το μήκος του οδικού τμήματος σε μίλια
- V: ο κυκλοφοριακός φόρτος σε εκατομμύρια οχήματα
- L_r: τα μήκη περιορισμένου μήκους ορατότητας
- Far: υποθετικός συντελεστής δείκτη ατυχημάτων, ο οποίος ποικίλει ανάλογα με τη σοβαρότητα της περιορισμένης ορατότητας και τη φύση του κινδύνου

2.2.12. Επίκλιση

Η εγκάρσια κλίση κατά μήκος μιας οδού ονομάζεται επίκλιση και αποτελεί βασικό γεωμετρικό χαρακτηριστικό ενός οδικού άξονα. Η επίκλιση μιας οδού είναι αναγκαία, προκειμένου να αντισταθμίζεται εν μέρει η φυγόκεντρος δύναμη στα καμπύλα τμήματα, αλλά και να απορρέουν τα όμβρια που καταλήγουν στο οδόστρωμα (Ψαριανός κ.α. 2006). Σε συνδυασμό με την τριβή του οδοστρώματος, η επίκλιση συμβάλλει στην εξισορρόπηση της φυγόκεντρης κίνησης και στη διατήρηση της κανονικής πορείας του οχήματος κατά μήκος μιας καμπύλης (Labi 2006). Αναφορικά με τα στοιχεία των επικλίσεων σε οριζόντιες καμπύλες, διαπιστώθηκε ότι όσο μικρότερες είναι τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να συμβεί κάποιο ατύχημα εξαιτίας της μη ικανοποιητικής αποστράγγισης των υδάτων, καθώς επίσης και της μεγάλης προσπάθειας που απαιτείται εκ μέρους του οδηγού προκειμένου να διατηρηθεί το όχημα στην προδιαγεγραμμένη γι' αυτό πορεία (Καπότσης 2002).

Η τυπική διαμόρφωση μιας επίκλισης στην ευθυγραμμία γίνεται ως αμφικλινές οδόστρωμα, στο καμπύλο τμήμα γίνεται ως μονοκλινές οδόστρωμα ενώ η ένωση των δύο τμημάτων ακολουθεί ορισμένο τρόπο συναρμογής, όπως φαίνεται και στην εικόνες 4 και 5. Η συναρμογή αυτή γίνεται κατά κανόνα κατά μήκος του τόξου συναρμογής. Σημειώνεται πως αυτή η διαμόρφωση της επίκλισης επιβάλλει τη μέτρησή της σε σημεία πύκνωσης κατά μήκος όλου του οδικού τμήματος εντός του οποίου έλαβε χώρα ένα ατύχημα και μάλιστα και στις δύο κατευθύνσεις ή σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας, εάν πρόκειται για οδό δύο λωρίδων (Ψαριανός κ.α 2006).

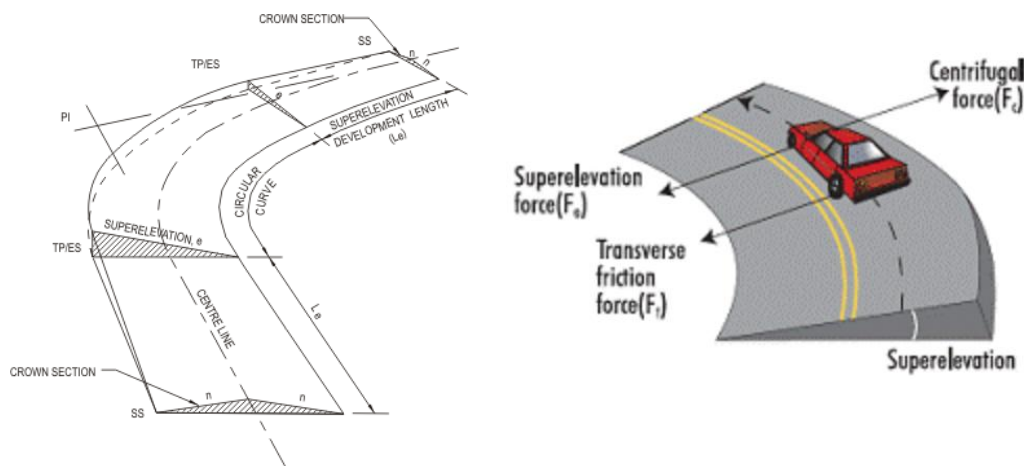


Εικόνα 4: Τυπική διαμόρφωση των επικλίσεων σε μια οδό
Πηγή: Ψαριανός κ.α 2006

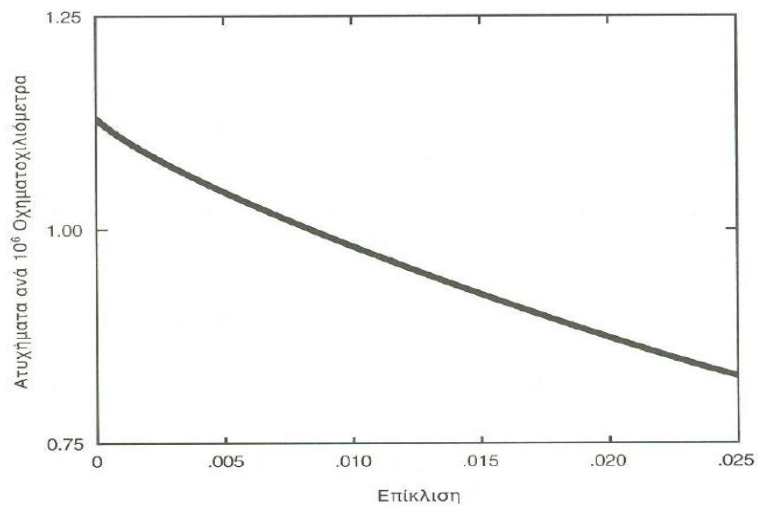
Η ελάχιστη τιμή της επίκλισης στα ευθύγραμμα τμήματα είναι 2.5%, ενώ στα καμπύλα τμήματα η επίκλιση προκύπτει ως συνάρτηση της ακτίνας της καμπύλης και της ταχύτητας, την οποία δεν υπερβαίνει το 85% των οδηγών. Η σωστή τιμή της επίκλισης στα καμπύλα τμήματα είναι υψίστης σημασίας, καθότι συμβάλλει κυρίως στη μείωση των εκτροπών των οχημάτων. Η εσφαλμένη επιλογή της τιμής για την επίκλιση στα καμπύλα τμήματα μπορεί να επιφέρει αύξηση του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων έως και 10% (Ψαριανός κ.α. 2006).

Όσον αφορά στη σχέση της επίκλισης με την οδική ασφάλεια, μελέτες έχουν δείξει ότι σε οριζόντιες καμπύλες οδικών αξόνων που παρουσιάζουν ελλείψεις σε επίκλιση σημειώνεται μεγάλος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων λόγω αδυναμίας υπερνίκησης της φυγόκεντρης κίνησης με συνέπεια την απώλεια ελέγχου του οχήματος και την εκτροπή του από τα όρια του οδικού άξονα ενώ οριζόντιες καμπύλες όπου σημειώνουν επάρκεια επίκλισης σημειώνουν σημαντικά μειωμένο αριθμό ατυχημάτων και

μάλιστα θανατηφόρων (Zador et al. 1985, Voigt & Krammes 1994). Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι αυξάνοντας την τιμή της επίκλισης σε μια καμπύλη από 0% σε 0.2%, μειώνεται ο αριθμός των ατυχημάτων κατά 6% σε αυτό το τμήμα ενός οδικού άξονα (Labi 2006). Ικανοποιητική τιμή επίκλισης διασφαλίζει την ευστάθεια της κίνησης του οχήματος στα καμπύλα τμήματα ενός οδικού άξονα και προσδιορίζεται σε σχέση με την ταχύτητα του οχήματος και την ακτίνα συναρμογής. Σε περίπτωση που η τιμή της επίκλισης δεν είναι επαρκής, όχι μόνο μειώνονται οι πιθανότητες υπερνίκησης της φυγοκέντρου δύναμης αλλά αυξάνεται η πιθανότητα συγκέντρωσης υδάτων στο οδόστρωμα και άρα ατυχήματος λόγω υδρολίσθησης (Αναγνώστου & Ξαγοράκη 2008). Στο διάγραμμα 22 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ επίκλισης και δείκτη ατυχημάτων κατά μήκος μιας οδού από στοιχεία ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε οδικούς άξονες της Ελλάδας, της Γερμανίας, των ΗΠΑ και του Λιβάνου.



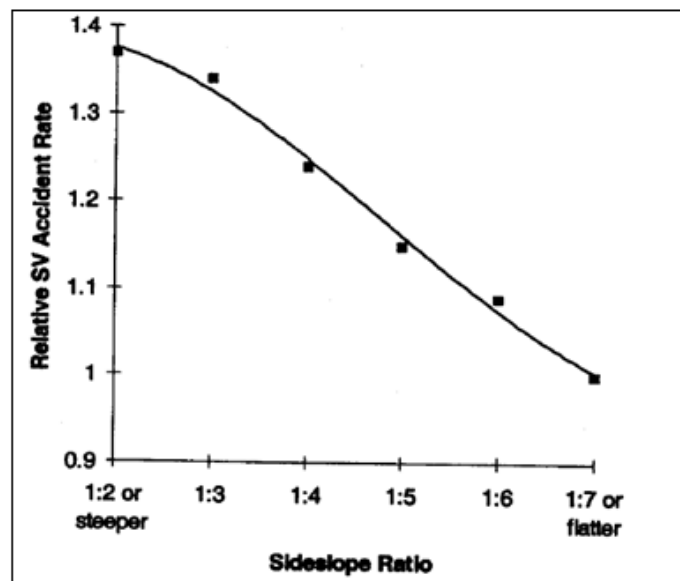
Εικόνα 5: Επίκλιση κατά μήκος μιας οδού
Πηγή: Ψαριανός 2006



Διάγραμμα 22: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την επίκλιση κατά μήκος μιας οδού
Πηγή: Ψαριανός κ.α. 1998

2.2.13. Πρανή

Τα πρανή, που δημιουργούνται εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα, αποτελούν στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού και επηρεάζουν την οδική ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των κλίσεων των πρανών τόσο σε ευθυγραμμία, όσο και στις οριζόντιες καμπύλες ενός οδικού άξονα, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος εξαιτίας της μεγάλης προσπάθειας που απαιτείται προκειμένου να διατηρηθεί το όχημα στην λωρίδα κυκλοφορίας (O'Conneide 1998, Καπότσης 2002). Όσο πιο μικρή είναι η κλίση των πρανών, τόσο ομαλότερα είναι και επιτρέπουν τον έλεγχο του οχήματος στην περίπτωση που αυτό ξεφύγει από την κανονική του πορεία στην κύρια λωρίδα κυκλοφορίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα πρανή εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα ευθύνονται σε ποσοστό 57.6% για σοβαρούς τραυματισμούς και σε ποσοστό 4.4% οδηγούν σε θανατηφόρα ατυχήματα (Labi 2006). Στο *διάγραμμα 23* παρουσιάζεται ο δείκτης των ατυχημάτων σε συνάρτηση με την κλίση των πρανών εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα στην Αμερική. Παρατηρείται σημαντική μείωση στο δείκτη των ατυχημάτων καθώς η κλίση μειώνεται από 1:2 σε 1:7.

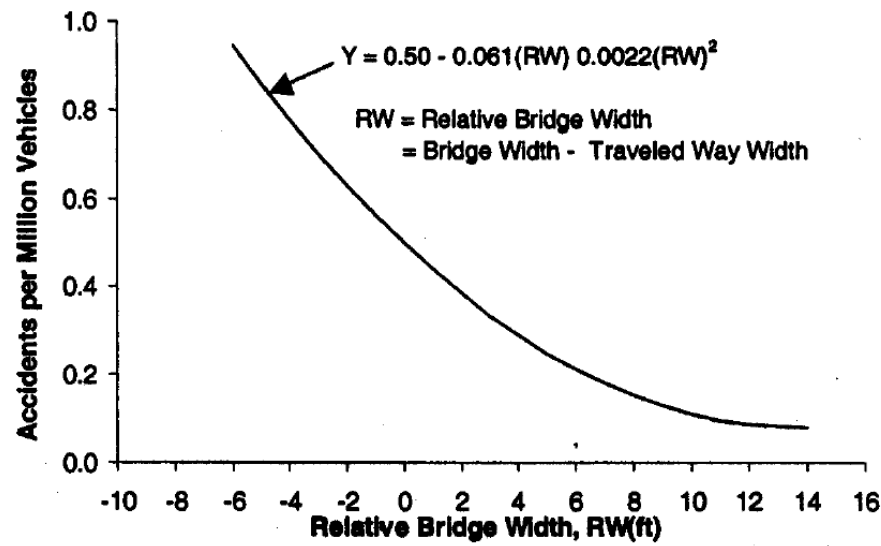


Διάγραμμα 23: Δείκτης ατυχημάτων σε συνάρτηση με την κλίση των πρανών εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα από έρευνα σε οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας στην Αμερική
Πηγή: Labi 2006

2.2.14. Γέφυρα

Η παρουσία μιας γέφυρας κατά μήκος ενός οδικού άξονα αυξάνει σημαντικά τόσο τον αριθμό των ατυχημάτων που οδηγούν σε σοβαρούς τραυματισμούς όσο και των θανατηφόρων ατυχημάτων καθώς τα περισσότερα οχήματα βγαίνουν εκτός πορείας πάνω σε μια γέφυρα τόσο λόγω έλλειψης ορατότητας πριν από αυτήν όσο και σε πολλές περιπτώσεις, λόγω του μικρού πλάτους της, που δεν αφήνει περιθώρια για ελιγμούς και έλεγχο του οχήματος. Μάλιστα, η πιθανότητα να βγει ένα όχημα εκτός πορείας με αποτέλεσμα κάποιο σοβαρό, θανατηφόρο ατύχημα είναι τριπλάσια στην περίπτωση που κατά μήκος ενός οδικού άξονα υπάρχει γέφυρα σε σχέση με μια οδό όπου η γέφυρα απουσιάζει (Ogden 1989, Lee & Mannering 1997). Μάλιστα έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί δείχνουν ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων σε μια γέφυρα είναι το πλάτος της καθώς και το πλάτος του οδικού άξονα στην περιοχή πριν και μετά τη διέλευση της γέφυρας.

Πιο συγκεκριμένα, αύξηση του πλάτους τόσο της γέφυρας όσο και της οδού στην περιοχή προσέγγισης της γέφυρας, οδηγεί σε σημαντική μείωση του αριθμού των ατυχημάτων καθώς ο οδηγός αντιλαμβανόμενος την επικείμενη γέφυρα έχει το χώρο να πραγματοποιήσει ελιγμούς προκειμένου να τη διασχίσει επιτυχώς και να μην χάσει τον έλεγχο του οχήματος (διάγραμμα 24) (Turner 1984, Ogden 1989, Lee & Mannering 1997). Είναι προφανές, ακόμη, το γεγονός πως σε γέφυρες όπου απουσιάζουν τα προστατευτικά στηθαία εκατέρωθεν αυτής ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων αυξάνεται ραγδαία (Lee & Mannering 1997). Επίσης, άλλες έρευνες έχουν δείξει ότι αύξηση του πλάτους της γέφυρας από μισό μέτρο σε 1.5 οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων κατά 62%. Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό πως η ύπαρξη γεφυρών κατά μήκος ενός οδικού άξονα συμβάλλει σε ποσοστό 75% σε ατυχήματα που έχουν ως αποτέλεσμα σοβαρούς τραυματισμούς και σε ποσοστό 15.9% σε θανατηφόρα ατυχήματα (Labi 2006).



Διάγραμμα 24: Αριθμός ατυχημάτων σε συνάρτηση με το πλάτος της γέφυρας
Πηγή: Turner 1984

2.3. Γεωμετρική διάρθρωση της οδού και Ταχύτητα

Στις προηγούμενες υποενότητες εξετάστηκαν οι επιπτώσεις που επιφέρει η γεωμετρία της οδού στην οδική ασφάλεια. Η γεωμετρία μιας οδού, ωστόσο, καθορίζει έμμεσα και την ταχύτητα, που αποτελεί το πιο βασικό λειτουργικό χαρακτηριστικό ενός οδικού άξονα, με την οποία κινούνται τα οχήματα κατά μήκος του επηρεάζοντας και με αυτόν τον τρόπο την οδική ασφάλεια. Στην παρούσα υποενότητα εξετάζεται η άμεση επιρροή της ταχύτητας στην οδική ασφάλεια που κρίνεται σημαντική και καθοριστική. Η πλειοψηφία των μελετών που έχουν διεξαχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο δείχνει ότι μαζί με τη γεωμετρία της οδού, η ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα που επηρεάζει άμεσα τις πιθανότητες ατυχήματος σε μια οδό ανεξάρτητα από το είδος της. Η τιμή που λαμβάνει σε κρίσιμες χρονικές στιγμές, όπως για παράδειγμα κατά την είσοδο ενός οχήματος σε καμπύλο τμήμα, είναι καθοριστική για τη μετέπειτα έκβαση της περίπτωσης σε ατύχημα ή σε αποφυγή αυτού (*Καπότσης 2002, Tate & Turner 2007*).

Η ταχύτητα που υιοθετείται κάθε φορά από τους οδηγούς είναι συνάρτηση ορισμένων παραγόντων, όπως η υποχρεωτική φύση του ορίου ταχύτητας και η επιβολή χρηματικού προστίμου για την παράβασή του, λόγοι οδικής ασφάλειας καθώς και στοιχεία της γεωμετρίας της οδού και τα χαρακτηριστικά του οχήματος (*SWOV 2010a*). Από τους παράγοντες αυτούς, άλλοι επιδρούν περισσότερο και άλλοι λιγότερο στις επιλογές του οδηγού, υπαγορεύοντας την προσαρμογή σε αυτούς.

Μελέτες υποστηρίζουν πως η γεωμετρία μιας οδού είναι ένα αντικείμενο ψυχολογίας και έχει ιδιαίτερη σημασία στη συμπεριφορά κατά την οδήγηση (*Καπότσης 2002*). Η πλειοψηφία των μελετών έχει οδηγηθεί στο συμπέρασμα πως αν ο δρόμος είναι συνεπής από άποψη γεωμετρίας και χάραξης τότε οι προσδοκίες ταχύτητας των οδηγών δε αντικρούονται και άρα οι οδηγοί ελέγχουν καλύτερα το όχημά τους (*Καπότσης 2002, Tate & Turner 2007*). Για παράδειγμα, ένας οδηγός που κινείται κατά μήκος μιας ευθείας μεγάλου μήκους δεν θα περιμένει να συναντήσει άμεσα κάποια απότομη καμπύλη, ενώ ένας οδηγός που κινείται σε δρόμο με συχνές εναλλαγές καμπυλών μικρής ακτίνας το πιθανότερο είναι ότι αναμένει να συναντήσει και άλλες (*Tate & Turner 2007*). Κατά συνέπεια, οι επιλογές τιμών ταχύτητας στη δεύτερη περίπτωση είναι πιο σωστές ενώ η πιθανότητα κάποιου ατυχήματος στην πρώτη περίπτωση είναι μεγαλύτερες.

Είναι σαφές πως τα οδικά στοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με τους άλλους παράγοντες που σχετίζονται με τον οδηγό, το όχημα, την κυκλοφορία και το περιβάλλον για να επηρεάσουν κατά μοναδικό τρόπο κάθε φορά τη συχνότητα, τη σοβαρότητα και τον τύπο των ατυχημάτων (*Καπότσης 2002*). Κοινός παρονομαστής όλων είναι η ταχύτητα κίνησης του οχήματος και οι μεταβολές της τιμής της πριν το ατύχημα. Στη βάση αυτού του σκεπτικού, η υποτίμηση της ταχύτητας κίνησης από τους οδηγούς αποτελεί ένα εξαιρετικά επικίνδυνο φαινόμενο που αποτελεί την αιτία πολλών ατυχημάτων σε οδικούς άξονες παγκοσμίως.

Έπειτα από έρευνες, κατέστη δυνατό να προσδιοριστούν οι βασικότεροι λόγοι που ένας οδηγός σταδιακά υποτιμάει την ταχύτητα κίνησης του οχήματος, με αποτέλεσμα αυτή να αυξάνεται σημαντικά οδηγώντας σε σοβαρά, τροχαία ατυχήματα. Συγκεκριμένα (*SWOV 2010a*):

- Εάν ένας οδηγός βρίσκεται σε κίνηση με υψηλή ταχύτητα για μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως συμβαίνει συνήθως σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους, σταδιακά χάνει την αίσθηση της ταχύτητας κίνησης και άρα οδηγεί όλο και πιο γρήγορα χωρίς να το αντιλαμβάνεται.

- Όταν η θέση του οδηγού βρίσκεται σημαντικά υψηλότερα από την επιφάνεια του οδοστρώματος, όπως συμβαίνει με τα σύγχρονα αυτοκίνητα (τζιπ), συχνά υποτιμάται η ταχύτητα κίνησης του οχήματος.
- Όταν η γεωμετρία της οδού και τα στοιχεία εκατέρωθεν αυτής υποδεικνύουν ανοικτό ορίζοντα, ο οδηγός χάνει την αίσθηση της ταχύτητας και άρα κινείται πιο γρήγορα.

Ειδικότερα στην τρίτη περίπτωση, το πρόβλημα ανακύπτει όταν η γεωμετρία της οδού δεν βοηθάει τον χρήστη να συνειδητοποιήσει την ανάγκη σημαντικής μείωσης της ταχύτητας κίνησης, και μάλιστα άμεσα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της εισόδου σε καμπύλο τμήμα μετά από συνεχή κίνηση σε ευθυγραμμία, οπότε και ο οδηγός θα πρέπει υποχρεωτικά να ελαττώσει κατά πολύ την ταχύτητα του οχήματος. Συχνά λόγω γεωμετρίας της οδού η εκτίμηση του οδηγού για τη νέα ταχύτητα που πρέπει να υιοθετήσει είναι εσφαλμένη (SWOV 2010a).

Εν γένει, έχει παρατηρηθεί, πως στοιχεία της διατομής μιας οδού όπως περισσότερες λωρίδες, μεγαλύτερο πλάτος οδού, παρουσία ΛΕΑ μεγάλου πλάτους, καλή επιφανειακή κατάσταση οδοστρώματος και εμφανής διαγράμμιση, αυξάνουν κατά πολύ την ταχύτητα κίνησης. Επιπρόσθετα, η απουσία καμπύλων τμημάτων και η απουσία ή περιορισμένη παρουσία ψηλών κτηρίων και βλάστησης εκατέρωθεν του δρόμου επιδρά ομοίως στην ταχύτητα κίνησης στην οδό (SWOV 2010a). Ένας γενικός κανόνας είναι πως η ταχύτητα κίνησης μικραίνει αν τα κάθετα, περιβαλλοντικά στοιχεία (δέντρα ή κτήρια), έχουν ύψος μεγαλύτερο από το συνολικό πλάτος του δρόμου (SWOV 2010a).

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθεί η σχέση του είδους της οδού με την ταχύτητα που αναπτύσσεται. Ένας από τους βασικότερους χαρακτηρισμούς που καθορίζει μια οδό από άποψη γεωμετρίας, είναι το είδος της. Το είδος μιας οδού προκύπτει με βάση διάφορα κριτήρια, όμως το βασικότερο από όλα είναι ο αριθμός των λωρίδων που διαθέτει ανά κατεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό η οδός κατατάσσεται σε μια ορισμένη κατηγορία, σύμφωνα με την οποία καθορίζονται άλλες σημαντικές παράμετροι, όπως η ασφαλής ταχύτητα κίνησης που υποδεικνύεται από τη δυναμική της οδού, η επιτρεπόμενη ταχύτητα κίνησης που αναγράφεται στις σημάνσεις για τα όρια ταχύτητας, η διαμόρφωση της οδού με την ύπαρξη αναγκαίων γεωμετρικών στοιχείων κ.α.

Στην προσπάθεια ανεύρεσης των αιτιών για τη συχνότητα και τη σοβαρότητα των τροχαίων ατυχημάτων, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές και ποικίλες έρευνες που στοχεύουν στην ανεύρεση βελτιωτικών μέτρων ώστε να διασφαλιστεί η ακεραιότητα της ανθρώπινης ζωής. Αρχικά όμως, είναι υψίστης σημασίας να γίνει πλήρως κατανοητή η συσχέτιση του μεταβαλλόμενου ποσοστού των οδικών ατυχημάτων με ποικίλους άλλους παράγοντες που κατέχουν καίρια θέση σε θέματα οδικής ασφάλειας. Ειδικότερα, γίνεται λόγος για τη σχέση του ποσοστού ατυχημάτων με την μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων, με την τυπική απόκλιση της λειτουργικής ταχύτητας (V_{85}) από τη μέση ταχύτητα και με την κυκλοφοριακή ροή της οδού.

Αξίζει στο σημείο αυτό να γίνει αναφορά στην έρευνα των Garber και Ehrhart (2000) που αποδεικνύει πρωτίστως την ύπαρξη της συσχέτισης αυτής και εν συνεχεία προτείνει μαθηματικούς τύπους για συγκεκριμένα είδη οδών, αναδεικνύοντας ως αποτελεσματικότερο για το σκοπό αυτό το μαθηματικό μοντέλο της πολυπαραγοντικής αναλογίας των πολυωνύμων (multivariable ratio of polynomials type of model). Τονίζεται ότι η εν λόγω έρευνα περιορίζεται σε αστικές οδούς μίας, δύο και τριών λωρίδων ανά κυκλοφορία.

Η μελέτη που διεξήγαγαν οι Garber και Ehrhart οδήγησε στη μοντελοποίηση της μεταβολής της πιθανότητας εμφάνισης ατυχήματος συναρτήσει της μέσης ταχύτητας κίνησης σε οδό τριών λωρίδων ανά κυκλοφορία, δηλαδή σε αυτοκινητόδρομο με όριο ταχύτητας 105 km/h. Όσο αυξάνεται η μέση ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος, η πιθανότητα ατυχήματος ξεκινάει από κάποια μικρή τιμή και μειώνεται ελάχιστα έως ότου η τιμή της ταχύτητας γίνει σχεδόν ίση με την τιμή του αναγραφόμενου ορίου. Από εκείνο το σημείο και ύστερα η πιθανότητα ατυχήματος αυξάνεται και μάλιστα εκθετικά. Με άλλα λόγια, μια μικρή αύξηση της ταχύτητας κίνησης πέρα από το όριο ταχύτητας της οδού προκαλεί δραματική αύξηση της πιθανότητας πρόκλησης κάποιου ατυχήματος (Garber & Ehrhart 2000).

Επιπρόσθετα, έχει μοντελοποιηθεί για το ίδιο είδος οδού η μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης ατυχήματος συναρτήσει της τυπικής απόκλισης της λειτουργικής ταχύτητας από τη μέση ταχύτητα. Η σχέση είναι γραμμική, γεγονός που υποδεικνύει ότι όσο μεγαλύτερη η απόκλιση, με ανάλογο ρυθμό αυξάνονται και οι πιθανότητες ατυχήματος (Garber & Ehrhart 2000). Επίσης, παρουσιάζεται η συνδυασμένη επίδραση που έχουν η μέση ταχύτητα κίνησης και η τυπική απόκλιση στις πιθανότητες να συμβεί κάποιο ατύχημα στον αυτοκινητόδρομο που εξετάζεται. Όσο μεγαλώνει η μέση ταχύτητα κίνησης του οχήματος και ταυτόχρονα η τιμή της απόκλισης από την τιμή της μέσης ταχύτητας ξεπερνάει την τιμή των 9 km/h, τόσο μεγαλώνει και το ποσοστό των ατυχημάτων στην οδό (Garber & Ehrhart, 2000).

Η ίδια έρευνα όσον αφορά σε οδούς τριών λωρίδων ανά κατεύθυνση, αυτή τη φορά με μικρότερο όριο ταχύτητας, έδωσε διαφορετικά αποτελέσματα. Ειδικότερα, σε αυτοκινητόδρομο με όριο ταχύτητας 90 km/h, η πιθανότητα ατυχήματος έχει μια σχετικά υψηλή τιμή. Όταν η μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων αυξάνεται, οι πιθανότητες ατυχήματος μειώνονται και όταν η τιμή της ταχύτητας γίνει ίση με το αναγραφόμενο όριο, παρατηρείται μια ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων να συμβεί κάποιο ατύχημα. Η ελάχιστη αυτή τιμή στις πιθανότητες ατυχήματος διατηρείται έως ότου η τιμή της μέσης ταχύτητας να φτάσει λίγο πιο πάνω από την τιμή του ορίου ταχύτητας, δηλαδή κοντά στα 93 km/h. Από εκείνο το σημείο και ύστερα παρατηρείται μια ανοδική εκθετική πορεία στις πιθανότητες ατυχήματος (Garber & Ehrhart 2000).

Για την ίδια περίπτωση οδού, διαπιστώθηκε ότι οι πιθανότητες ατυχήματος επηρεάζονται πολύ περισσότερο από την κυκλοφοριακή ροή στην οδό, παρά από την απόκλιση της λειτουργικής ταχύτητας από τη μέση ταχύτητα κίνησης. Συγκεκριμένα, για μικρές τιμές κυκλοφοριακής ροής, όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση πέρα από την τιμή των 9.6 km/h, τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες ατυχήματος, και μάλιστα εκθετικά. Αντιθέτως, για υψηλές τιμές κυκλοφοριακής ροής στην οδό παρατηρείται μια σχεδόν γραμμική μείωση των πιθανοτήτων ατυχήματος ακόμα και αν παρατηρείται ταυτόχρονη αύξηση της απόκλισης μέχρι και την τιμή των 11 km/h. Αξίζει να σημειωθεί πως από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, αυτή είναι η μοναδική περίπτωση στην οποία η κυκλοφοριακή ροή καθόρισε σημαντικά τις πιθανότητες ατυχήματος (Garber & Ehrhart 2000).

Μια οδός δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση με το ίδιο όριο ταχύτητας των 90 km/h, όπως παραπάνω, παρουσιάζει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως οι πιθανότητες ατυχήματος μειώνονται όσο αυξάνεται η μέση ταχύτητα κίνησης (Garber & Ehrhart 2000). Εάν σημειώνεται ταυτόχρονη αύξηση της τυπικής απόκλισης της λειτουργικής ταχύτητας από τη μέση, πέρα από την τιμή των 11km/h, τότε παρατηρείται αύξηση των πιθανοτήτων ατυχήματος, ενώ για μικρότερες τιμές της τυπικής απόκλισης δεν παρατηρείται καμία επίδραση στις πιθανότητες ατυχήματος (Garber & Ehrhart 2000). Τέλος, μία οδός που διαθέτει μία μόνο λωρίδα ανά κατεύθυνση και όριο ταχύτητας 90

km/h, παρουσιάζει δραματική άνοδο στις πιθανότητες ατυχήματος μόνο στην περίπτωση παράλληλης αύξησης της απόκλισης της λειτουργικής ταχύτητας από τη μέση, πέρα από την τιμή των 11km/h. Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις τα επίπεδα επικινδυνότητας είναι χαμηλά (*Garber & Ehrhart 2000*).

Από τα παραπάνω είναι σαφές πως οι μεταβολές στα ποσοστά ατυχημάτων δεν προκαλούνται απαραίτητα από έναν μόνο παράγοντα αλλά η συνδυασμένη επίδραση ορισμένων ανεξάρτητων μεταξύ τους παραμέτρων είναι που κάνει τη διαφορά στα ποσοστά των ατυχημάτων (*Garber & Ehrhart 2000*). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί πως οι μαθηματικές σχέσεις που πρότειναν οι Garber και Ehrhart στην έρευνά τους δεν μπορούν και δεν θα πρέπει να γενικευθούν για τον μαθηματικό υπολογισμό των πιθανοτήτων των ατυχημάτων σε οδούς που δεν ανταποκρίνονται πλήρως στα δεδομένα των οδών που μελετήθηκαν. Ωστόσο, οι σχέσεις αυτές αποτελούν μια απτή απόδειξη για τη γενικότερη σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των πιθανοτήτων να συμβεί κάποιο ατύχημα και των παραμέτρων «μέση ταχύτητα», «τυπική απόκλιση της λειτουργικής ταχύτητας από τη μέση ταχύτητα κίνησης» και «κυκλοφοριακή ροή οδού».

2.4. Ταχύτητα κίνησης και Οδική ασφάλεια

Η ταχύτητα οδήγησης αποτελεί βασικό παράγοντα της οδικής ασφάλειας. Μεγάλος αριθμός μελετών που έχει πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο συμπεραίνει την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας και του ποσοστού των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Στη συγκεκριμένη ενότητα πραγματοποιείται μια εκτενής ανάλυση της άμεσης συσχέτισης που υπάρχει μεταξύ της ταχύτητας οδήγησης και των καταγεγραμμένων ποσοστών οδικών ατυχημάτων σε ποικίλες κατηγορίες οδικών αξόνων από τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί.

Μάλιστα, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της ταχύτητας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα να συμβεί κάποιο ατύχημα και στις περισσότερες περιπτώσεις θανατηφόρο (*SWOV 2010a*). Επίσης, πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση της ταχύτητας κίνησης κατέχουν οι αποφάσεις του οδηγού και κατ' επέκταση παίζουν σημαντικό ρόλο στην οδική ασφάλεια (*Τσώχος κ.α. 2005*). Ακόμη, βασικό ρόλο στην επιλογή ταχύτητας διατηρούν οδικοί παράγοντες της οδού στην οποία πραγματοποιείται η μετακίνηση, όπως η γεωμετρική της διάρθρωση της οδού και η αξιόπιστη σήμανση (*SWOV 2010d*).

Η διερεύνηση της επιρροής του οδικού περιβάλλοντος στην οδική ασφάλεια μέσω της άμεσης επιρροής στην ταχύτητα κίνησης των οχημάτων, έχει αποτελέσει εκτεταμένο αντικείμενο ερευνών σε αρκετές, ανεπτυγμένες χώρες, όπου το πρόβλημα της οδικής ασφάλειας αντιμετωπίζεται με μεγάλη σοβαρότητα. Σε πολλές περιπτώσεις, μάλιστα, τονίζεται η ισχυρή θετική συσχέτιση που παρουσιάζει η μεταβολή της μέσης ταχύτητας κίνησης με τη συχνότητα εμφάνισης ατυχημάτων σε γενικό επίπεδο. Για την ακρίβεια, εάν μέσα σε διάστημα ενός τετάρτου της ώρας παρατηρηθεί 10% αύξηση της μέσης ταχύτητας σε ορισμένο τμήμα μιας οδού, το γεγονός αυτό αυξάνει πολύ την πιθανότητα ατυχήματος και μάλιστα, θανατηφόρου (*Kopelias et al. 2007*).

2.4.1. Όρια ταχύτητας

Το όριο ταχύτητας μιας οδού επηρεάζει σαφώς τη συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων. Μελέτες έχουν δείξει ότι αύξηση στο όριο ταχύτητας, οδηγεί σε αύξηση της πραγματικής ταχύτητας και σε σημαντική αύξηση του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται (*Kopelias et al. 2007*). Επιπλέον, περαιτέρω έρευνες επιβεβαιώνουν την άποψη πως όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση της ταχύτητας κίνησης ενός οχήματος από το όριο ταχύτητας της οδού στην οποία κινείται, τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες το όχημα αυτό να εμπλακεί σε κάποιο ατύχημα (*Garber & Ehrhart 2000*). Μεγάλος αριθμός ερευνών υποστηρίζει, ωστόσο, πως δεν αρκεί να μειωθεί το όριο ταχύτητας μιας οδού για να γίνει αυτή ασφαλέστερη και να μειωθεί ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων. Μια ενδεχόμενη μεταβολή του ορίου ταχύτητας που αποτυγχάνει στο να διασφαλίσει μια ομοιογένεια στην ταχύτητα κίνησης στην εν λόγω οδό, αναπόφευκτα θα επιφέρει πολύ μικρή, θετική επίδραση στην οδική ασφάλεια (*Garber & Ehrhart 2000, Ξενάκης 2008*).

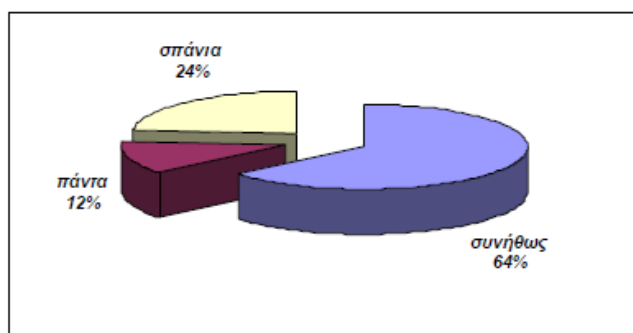
Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό μια ιδιαίτερη συσχέτιση του ορίου ταχύτητας και της συχνότητας των ατυχημάτων που έχει παρατηρηθεί σε πολλές επαρχιακές οδούς μικρής κατηγορίας, παγκοσμίως. Μελέτες δείχνουν πως αν και η σήμανση των επιτρεπόμενων ορίων ταχύτητας είναι επαρκής σε όλο το μήκος τους, εντούτοις οι καταγραφές για ατυχήματα είναι αρκετά συχνές (*Labi 2006*). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η σήμανση των εν λόγω οδών υποδεικνύει ένα όριο ταχύτητας μεγαλύτερο από το ασφαλές που επιτρέπει η εκάστοτε γεωμετρία της οδού. Ανεξάρτητα λοιπόν από την τιμή της αναγραφόμενης ταχύτητας, η συχνότητα των ατυχημάτων είναι αυξημένη σε περιπτώσεις που έχει πραγματοποιηθεί λανθασμένη εκτίμηση των ορίων ταχύτητας κατά μήκος ενός οδικού άξονα (*Garber & Ehrhart 2000, Labi 2006*).

Τα όρια ταχύτητας κατά μήκος ενός οδικού άξονα θα πρέπει να υποστηρίζονται όχι μόνο από την γεωμετρία και τη δυναμική της οδού αλλά παράλληλα θα πρέπει να ανταποκρίνονται στην επιθυμητή ταχύτητα του οδηγού, η οποία προκύπτει σύμφωνα με την κρίση του κατά την κίνηση κατά μήκος μιας οδού. Στην περίπτωση αυτή γίνεται λόγος για αξιοπιστία των ορίων ταχύτητας μιας οδού, γεγονός που επιδρά θετικά στη γενικότερη αξιοπιστία του οδικού δικτύου μιας χώρας και κατ' επέκταση στην οδική ασφάλεια (*SWOV 2010b*).

Ένα αξιόπιστο όριο ταχύτητας δεν είναι απαραίτητα και το ασφαλές όριο, όπως αυτό έχει προσδιοριστεί στη φάση σχεδιασμού της οδού. Η έρευνα που διεξήγαγαν οι Tate και Turner (2007) απέδωσε το σαφές συμπέρασμα ότι τα λάθη των οδηγών και τα επακόλουθα ατυχήματα είναι πολύ πιο πιθανό να συμβούν εάν υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ της άποψης των οδηγών για την ασφαλή ταχύτητα οδήγησης που πρέπει να υιοθετήσουν και την ταχύτητα στην οποία ο ανθρώπινος παράγοντας έχει τον απαιτούμενο χρόνο να αντιδράσει προς έγκαιρη αποφυγή του ατυχήματος. Στη βάση της θεώρησης αυτής, τα όρια ταχύτητας, θεωρητικά, πρέπει να υποδεικνύουν την ασφαλή μέγιστη ταχύτητα κίνησης, όπως αυτή προκύπτει από τη γεωμετρία της οδού και την κυκλοφορία σε αυτήν (*SWOV 2010c*). Όσο περισσότερο συγκλίνουν στην πράξη οι δύο αυτές τιμές και ταυτόχρονα υποστηρίζονται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες σύγκλισης με την προσδόκιμη ταχύτητα του οδηγού και άρα διασφαλίζεται κατά κάποιο τρόπο η αβίαστη υπακοή του στο όριο ταχύτητας (*SWOV 2010b*).

Στην περίπτωση που παρατηρηθεί ασυνέπεια του αναγραφόμενου ορίου ταχύτητας με την προσδόκιμη ταχύτητα του οδηγού υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα ο οδηγός να επιλέξει μια δική του ταχύτητα κίνησης

συχνά παραβαίνοντας το αναγραφόμενο όριο και αυξάνοντας τις πιθανότητες να εμπλακεί σε κάποιο ατύχημα (SWOV 2010b). Το παραπάνω συμπέρασμα ανταποκρίνεται πλήρως στην ελληνική πραγματικότητα, όπου έχει διαπιστωθεί πως ένα μεγάλο ποσοστό των οδηγών, συγκεκριμένα το 58% του συνόλου των Ελλήνων οδηγών, θεωρούν ότι τα όρια ταχύτητας είναι χαμηλά και δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Για το λόγο αυτό, το ποσοστό πλήρους τήρησης των ορίων ταχύτητας είναι εξαιρετικά μικρό (εικόνα 6) (Τσώχος κ.α. 2005).



Εικόνα 6: Η τήρηση των ορίων ταχύτητας για τα ελληνικά δεδομένα
Πηγή: Τσώχος κ.α. 2005

Καθίσταται, συνεπώς, αρκετά σαφές πως το όριο ταχύτητας αποτελεί το βασικό στοιχείο για τη διαχείριση της ταχύτητας κίνησης σε μία οδό (SWOV 2010c). Απαραίτητη προϋπόθεση, όμως, αποτελεί το γεγονός οι χρήστες της οδού να καθίστανται συχνά κατά μήκος της οδού ενήμεροι σχετικά με τα όρια ταχύτητας με τα οποία οφείλουν να συμμορφωθούν. Αυτό γίνεται εφικτό με τοπικά μέτρα υποδομής, όπως ταμπέλες σε εμφανείς θέσεις και με μεγάλη συχνότητα κατά μήκος ενός οδικού άξονα και μάλιστα σε σημεία της οδού όπου μεταβάλλεται η ζώνη ταχύτητας, όπως συμβαίνει για παράδειγμα κατά την είσοδο του οδηγού σε αστική περιοχή, επιβάλλεται να υπάρχει εμφανής σήμανση (SWOV 2010c). Με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά η ακούσια παράβαση των αναγραφόμενων ορίων ταχύτητας και κατ' επέκταση ο αριθμός των θανατηφόρων, τροχαίων ατυχημάτων.

2.4.2. Οδηγική Συμπεριφορά

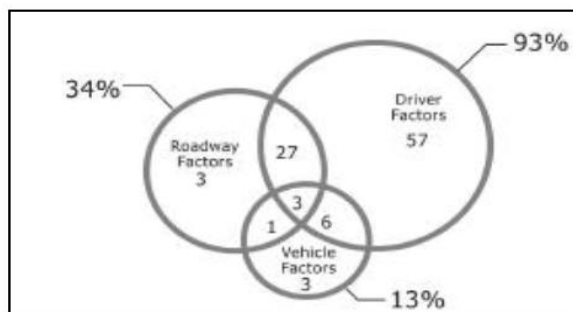
Η οδηγική συμπεριφορά, όπως έχει αναφερθεί, παίζει καθοριστικό ρόλο στην οδική ασφάλεια. Ειδικότερα για την Ελλάδα, τα οδικά ατυχήματα είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, γεγονός που την κατατάσσει στις τελευταίες θέσεις της Ευρώπης, από πλευράς οδικής ασφάλειας (Ευσταθιάδης & Ανδρουλιδάκης 2012). Παρά τις συνεχείς έρευνες και προσπάθειες βελτίωσης των υποδομών, τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα και σε κάθε περίπτωση το επίπεδο ασφάλειας στο ελληνικό, οδικό δίκτυο απέχει σημαντικά από το να χαρακτηριστεί ως ικανοποιητικό (Τσώχος κ.α. 2005).

Η εκτενής έρευνα σε σχετικές αναφορές που διενεργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, ανέδειξε ότι παράγοντες όπως η γεωμετρία της οδού καθώς και οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή ενός οδικού άξονα εξηγούν μόλις το 5% με 10% των ατυχημάτων και της σοβαρότητάς τους. Κατά ένα πολύ μεγαλύτερο ποσοστό, τα ατυχήματα είναι αποτέλεσμα εσφαλμένων χειρισμών και αποφάσεων

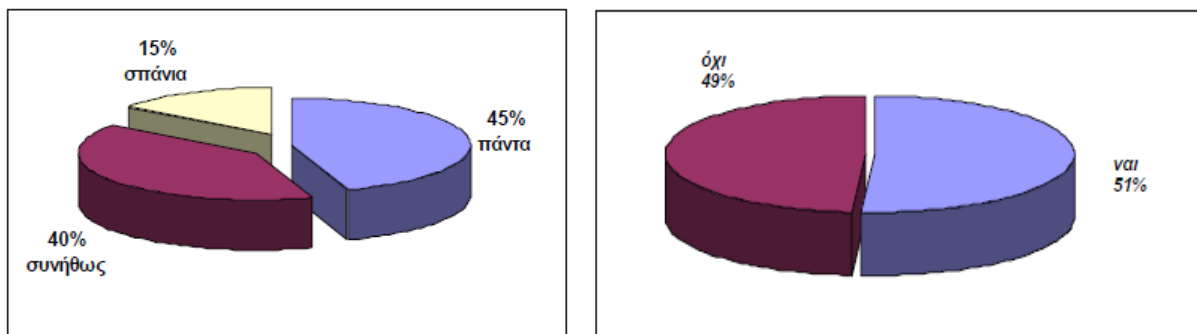
καθώς και οδήγησης υπό την επήρεια μέθης, τοξικών ουσιών και υπνηλίας (Kopelias et al. 2007, Χαρισούδης κ.α. 2012).

Εξίσου υπαίτια είναι η κατ' εξακολούθηση ανάρμοστη οδηγική συμπεριφορά, η οποία μεταφράζεται ως η μη συμμόρφωση προς τις υποδείξεις του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ), όπως η τήρηση των ορίων ταχύτητας και της σηματοδότησης, καθώς επίσης και η αδιαφορία για την τήρηση στοιχειωδών κανόνων ασφαλείας, όπως η χρήση ζώνης ασφαλείας (Τσώχος κ.α. 2005). Από τα παραπάνω, εύκολα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ταχύτητα κίνησης του οχήματος, όπως αυτή επιλέγεται από τον οδηγό, διατηρεί καθοριστικό ρόλο στην τελική έκβαση ενός οδικού συμβάντος είτε σε ατύχημα είτε σε έγκαιρη αποφυγή του (SWOV 2010a). Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, πως σε ορισμένες περιπτώσεις ατυχήματα προκαλούνται από λειτουργική βλάβη του οχήματος. Οι υπεύθυνοι παράγοντες τροχαίων ατυχημάτων συνοψίζονται στην εικόνα 32 που παρατίθεται παρακάτω, ενώ στις εικόνες 7 και 8 φαίνεται η συχνότητα χρήσης της ζώνης ασφαλείας και τα ποσοστά παραβίασης του ερυθρού σηματοδότη.

Σε παρόμοια βάση κινούνται τα αποτελέσματα ερευνών σχετικά με την τήρηση των ορίων ταχύτητας. Οι πιο πρόσφατες έρευνες έχουν αναδείξει ένα ποσοστό ανυπακοής στα όρια ταχύτητας που κυμαίνεται στο 50% του παγκόσμιου συνόλου των οδηγών (SWOV 2010a). Συνεπώς, η υψηλή ταχύτητα είναι υπεύθυνη για το 1/3 των μοιραίων ατυχημάτων παγκοσμίως (SWOV 2010a) ενώ έχει διαπιστωθεί πως 30% λιγότεροι άνθρωποι θα τραυματίζονταν από οδικά ατυχήματα εάν όλοι οι οδηγοί ακολουθούσαν τα αναγραφόμενα όρια ταχύτητας των οδών (SWOV 2010a, SWOV 2010c).



Εικόνα 7: Οι κρίσιμοι παράγοντες που αποτελούν αιτία των τροχαίων ατυχημάτων.
Πηγή: Χαρισούδης κ.α. 2012



Εικόνα 8: Η συχνότητα χρήσης της ζώνης ασφαλείας στην Ελλάδα (αριστερά) και τα ποσοστά παραβίασης του ερυθρού σηματοδότη (δεξιά)
Πηγή: Τσώχος κ.α. 2005

2.4.3. Κίνηση σε οριζόντια καμπύλη

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση στην προσαρμογή της ταχύτητας κίνησης κατά την είσοδο του οχήματος σε οριζόντια καμπύλη (εικόνα 9). Είναι σαφές, πως όταν ένα όχημα εισέρχεται σε ένα καμπύλο τμήμα ακολουθεί μία νέα τροχιά που δεν συμπίπτει με τον άξονα της οδού. Η επιλογή της νέας αυτής τροχιάς, καθώς επίσης και της ταχύτητας που θα τη συνοδεύσει, επαφίεται αποκλειστικά στον οδηγό (Ψαριανός κ.α. 2006). Έρευνες έχουν τονίσει πως οι επιλογές ταχύτητας των οδηγών λίγο πριν εισέλθουν σε μία οριζόντια καμπύλη παρουσιάζουν μεγαλύτερη συσχέτιση με την ακτίνα της καμπύλης παρά με την ταχύτητα σχεδιασμού που έχει προσδιοριστεί γι' αυτές (Tate & Turner 2007).

Κατά τη διάρκεια της κίνησης επιβατηγών οχημάτων σε καμπύλα τμήματα, μια από τις κυριότερες αιτίες θανατηφόρων ατυχημάτων, είναι η εκτροπή. Ένα μεγάλο ποσοστό των εκτροπών των οχημάτων σε καμπύλες οφείλεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα των οχημάτων είναι μεγαλύτερη από αυτή που επιτρέπει η ακτίνα της καμπύλης και ο τύπος ή η κατάσταση του οδοστρώματος της οδού (Ψαριανός κ.α. 2006). Στη βάση αυτού, οι Tate και Turner (2007) ανέπτυξαν μια μεθοδολογία για την πρόβλεψη της ταχύτητας εισόδου σε μια οριζόντια καμπύλη με δεδομένα μόνο την ακτίνα της καμπύλης και την επί τοις εκατό (%) κλίση της αμφικλινούς διατομής ή με άλλα λόγια, της επίκλισης. Για μια συγκεκριμένη οδό, οι ακτίνες των καμπύλων τμημάτων καθώς και η επίκλισή τους, είναι μεγέθη μετρήσιμα (Ψαριανός κ.α. 2006). Το σαφές συμπέρασμα της εν λόγω έρευνας είναι πως όσο αυξάνεται η διαφορά της ταχύτητας εισόδου από την ταχύτητα σχεδιασμού για την οριζόντια καμπύλη, τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες ο χρήστης της οδού να οδηγηθεί σε ατύχημα (Tate & Turner 2007).



Εικόνα 9: Οριζόντιες καμπύλες οδικών αξόνων
Πηγή: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/09june/04.cfm>

2.5. Παράμετροι προσαρμογής ατυχημάτων (Accident Modification Factors)

Η βελτίωση της οδικής ασφάλειας είναι ένα σημαντικό ζήτημα που απασχολεί όλες τις σύγχρονες κοινωνίες. Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό ενός συντονισμένου σχεδίου βελτίωσης της οδικής ασφάλειας αποτελεί η εκτίμηση του αναμενόμενου οφέλους που μπορεί να προκύψει από διάφορες εναλλακτικές επεμβάσεις. Στις Η.Π.Α. εκτελείται μια σημαντική προσπάθεια για τη δημιουργία ενός εγχειριδίου οδικής ασφάλειας (<http://www.highwaysafetymanual.org/>), το οποίο προβλέπει παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του επιπέδου οδικής ασφάλειας της κάθε οδού σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της. Η λογική που παρουσιάζεται είναι αντίστοιχη εκείνης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κυκλοφοριακής ικανότητας στο Highway Capacity Manual. Συγκεκριμένα, ο εκτιμώμενος αριθμός ατυχημάτων N για ένα οδικό τμήμα ή μια διασταύρωση εξαρτάται από έναν αριθμό ατυχημάτων βάσης N_B και έναν αριθμό παραμέτρων προσαρμογής (Accident Modification Factors, AMF), ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της οδού και του περιβάλλοντος της:

$$N = N_B C(AMF_1, AMF_2, \dots, AMF_n)$$

όπου C είναι μια σχέση που συσχετίζει τις παραμέτρους προσαρμογής με τον αριθμό των ατυχημάτων.

Οι παράμετροι προσαρμογής ατυχημάτων (Accident Modification Factors ή Crash Modification Factors) αποτελούν πολλαπλασιαστικούς παράγοντες, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του αναμενόμενου αριθμού των ατυχημάτων σε μια συγκεκριμένη περιοχή ενός οδικού άξονα, μετά την εφαρμογή διάφορων γεωμετρικών και λειτουργικών τροποποιήσεων, με στόχο τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στην περιοχή αυτή. Ουσιαστικά αποτελούν ποσοτικούς παράγοντες έκφρασης της μείωσης που αναμένεται να σημειωθεί στον αριθμό των ατυχημάτων σε μια περιοχή ενός οδικού άξονα, ως αποτέλεσμα των τροποποιήσεων που σχεδιάζεται να πραγματοποιηθούν στην περιοχή αυτή (π.χ. γεωμετρικές βελτιώσεις όπως διαπλάτυνση λωρίδων σε καμπύλα τμήματα), όπως περιγράφεται και από την παρακάτω σχέση:

$$CMF = \frac{\text{Αναμενόμενη συχνότητα ατυχημάτων με την εφαρμογή της τροποποίησης}}{\text{Αναμενόμενη συχνότητα ατυχημάτων χωρίς την εφαρμογή της τροποποίησης}}$$

Με άλλα λόγια, οι AMF, παρέχουν έναν γρήγορο τρόπο εκτίμησης της μείωσης του αριθμού των ατυχημάτων που σχετίζονται με τις βελτιώσεις που πραγματοποιούνται σε μια οδό. Πιο συγκεκριμένα, μια τιμή ενός AMF μικρότερη της μονάδας (<1), δηλώνει ότι ο αναμενόμενος αριθμός των ατυχημάτων σε ένα οδικό τμήμα, θα είναι μικρότερος μετά την εφαρμογή του μέτρου που εξετάζεται. Η αλλαγή, παραδείγματος χάρι, του ελέγχου της κυκλοφορίας σε έναν αστικό κόμβο από ελεγχόμενο με προειδοποιητική πινακίδα stop σε σύγχρονο κυκλικό κόμβο, αντιστοιχεί σε AMF 0,61 για όλους τους τύπους σύγκρουσης. Αυτό σημαίνει, πως η αναμενόμενη συχνότητα των ατυχημάτων στο τμήμα αυτό θα μειωθεί κατά 39% μετά την εφαρμογή του μέτρου που αναφέρθηκε (*Highway Safety Manual 2010*).

Οι AMF χρησιμοποιούνται από πολλά κράτη παγκοσμίως και περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα σχεδιασμού του οδικού δικτύου τους, προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με το αν θα εφαρμοστεί κάποια γεωμετρική ή λειτουργική βελτίωση σε ένα ή ορισμένα τμήματα αυτού, παρέχοντας παράλληλα τη δυνατότητα γρήγορης εκτίμησης του κόστους και των οφελών των εναλλακτικών λύσεων που εξετάζονται κάθε φορά.

Στην πρακτική εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάζεται η συσχέτιση επιλεγμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών με την επικινδυνότητα ορισμένων οδικών τμημάτων του αυτοκινητόδρομου ΠΑΘΕ. Από τη μελέτη προέκυψε πως η διαχωριστική νησίδα, η ευθυγραμμία και η κατωφέρεια αποτελούν τα γεωμετρικά στοιχεία που επηρεάζουν σημαντικά τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται στον υπό εξέταση αυτοκινητόδρομο. Υπάρχει μεγάλος αριθμός παραμέτρων προσαρμογής ατυχημάτων CMF, που αναφέρονται σε κάθε γεωμετρικό χαρακτηριστικό μιας οδού. Ενδεικτικά αναφέροντας την ύπαρξη της διαχωριστικής νησίδας, που έχει μελετηθεί και στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας, παρατίθενται δύο CMF (εικόνα 10):

CMF	CRF(%)	Crash Type	Crash Severity	Roadway Type	Area Type
0.14	86	All	All	All	All
0.12	88	All	Fatal,Serious injury,Minor injury	All	All

Εικόνα 10: CMFs που αφορούν στην ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας
Πηγή: <http://www.cmfclearinghouse.org>

Από τους CMF που παρατέθηκαν παραπάνω φαίνεται πως και οι δύο μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους οδών (αυτοκινητόδρομοι, εθνικές οδοί κ.λ.π.) (Roadway Type), σε όλους τους τύπους περιοχών (αγροτικές, αστικές) (Area Type) και για όλους τους τύπους ατυχημάτων (Crash Type). Ο πρώτος CMF μπορεί να εκφράσει το μέγεθος σημαντικότητας κάθε ατυχήματος ενώ ο δεύτερος μπορεί να εκφράσει μόνο τους θανατηφόρους τύπους ατυχημάτων και τους σοβαρούς και τους ήσσονος σημασίας τραυματισμούς (Crash Severity).

Το CRF (Crash Reduction Factor) που φαίνεται παραπάνω, αποτελεί παράγοντα μείωσης των ατυχημάτων ο οποίος παρέχει μια εκτίμηση του ποσοστού μείωσης των ατυχημάτων ενώ ο CMF αποτελεί πολλαπλασιαστικό παράγοντα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αναμενόμενου αριθμού των ατυχημάτων μετά την εφαρμογή μιας συγκεκριμένης βελτίωσης.

Αυτό σημαίνει ότι αν, παραδείγματος χάρη, σε μια οδό όπου δεν υπάρχει διαχωριστική νησίδα και ο αριθμός των ατυχημάτων που σημειώνονται κάθε χρόνο είναι 100, σχεδιάζεται η κατασκευή διαχωριστικής νησίδας, τότε ο αριθμός των ατυχημάτων που θα έχουμε μετά την βελτίωση αυτή σύμφωνα με τον $CMF = 0,14$ θα είναι $100 \times 0,14 = 14$ και το ποσοστό μείωσης των ατυχημάτων θα είναι 86% ($CRF=86\%$). Συνεπώς, η βελτίωση αυτή θα μειώσει σημαντικά τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων στην οδό αυτή. Το ίδιο ισχύει και για τον $CMF = 0,12$.

Επιπλέον, ένα ακόμη γεωμετρικό στοιχείο της οδού που προέκυψε από τη μελέτη του παρόντος κεφαλαίου ότι επηρεάζει σημαντικά την οδική ασφάλεια είναι η οριζόντια καμπυλότητα και μάλιστα, όσο αυξάνεται, τόσο μειώνονται τα ατυχήματα. Υπάρχουν σχέσεις από τις οποίες προκύπτει ο συντελεστής CMF σύμφωνα με υπολογισμούς πριν και μετά τη βελτίωση που εξετάζεται. Ενδεικτικά, παρατίθεται παρακάτω μια τέτοια σχέση από την οποία κάθε φορά προκύπτει ένας διαφορετικός CMF σύμφωνα με την επιθυμητή αύξηση

που εξετάζεται να εφαρμοστεί στην οριζόντια καμπυλότητα των καμπύλων τμημάτων μιας οδού (<http://www.cmfclearinghouse.org>).

$$e^{0.0831*(Y-X)}$$

όπου:

X: η τιμή της οριζόντιας καμπυλότητας πριν την εφαρμογή της βελτίωσης σε βαθμούς (degrees)

Y: η τιμή της οριζόντιας καμπυλότητας που σχεδιάζεται να εφαρμοστεί σε βαθμούς

Αναφέρεται στο σημείο αυτό πως ενώ μπορεί σε μια οδό να εφαρμοστεί ένας CMF ώστε να αξιολογηθεί η εφαρμογή κάποιας ενδεχόμενης βελτίωσης (π.χ. για κατασκευή διαχωριστικής νησίδας ή για διαπλάτυνση της οδού κατά μια ακόμη λωρίδα κυκλοφορίας), δεν μπορεί να υπάρξει συνδυασμός δύο ή και περισσότερων CMFs καθώς στην περίπτωση αυτή δεν θα ήταν σωστή η εκτίμηση της μείωσης του αριθμού των ατυχημάτων. Προκειμένου να καταστεί αυτό πιο σαφές αναφέρεται ότι έστω ότι σε μια οδό εξεταζόταν το ενδεχόμενο κατασκευής διαχωριστικής νησίδας και σύμφωνα με τον αντίστοιχο CMF ο αριθμός των ατυχημάτων μειωνόταν κατά 50 ατυχήματα. Στην περίπτωση που εξεταζόταν και η διαπλάτυνση του δρόμου κατά μια ακόμη λωρίδα κυκλοφορίας και εφαρμοζόταν ο αντίστοιχος CMF, η εφαρμογή αυτή θα γινόταν στον αριθμό των 50 ατυχημάτων, δηλαδή στον ήδη μειωμένο αριθμό των ατυχημάτων όπως αυτά εκτιμήθηκαν από την εφαρμογή της βελτίωσης που αφορούσε στην κατασκευή της διαχωριστικής νησίδας. Ακόμη, όμως, και στην περίπτωση που εφαρμοζόταν στον αρχικό αριθμό των ατυχημάτων θα προέκυπταν δύο εκτιμήσεις (μία για την κατασκευή της διαχωριστικής νησίδας και μια για την διαπλάτυνση) οι οποίες δεν θα μπορούσαν να συμψηφιστούν ώστε να βγει μια συνολική εκτίμηση για την μείωση του αριθμού των ατυχημάτων μετά την εφαρμογή και των δύο βελτιώσεων.

Αναφέρεται, τέλος, πως εκτός από τους παράγοντες προσαρμογής ατυχημάτων (CMF) υπάρχουν και οι σχέσεις προσαρμογής ατυχημάτων (Crash Modification Functions) οι οποίες δείχνουν το αποτέλεσμα μιας βελτίωσης σε μια περιοχή ενός οδικού δικτύου ως συνάρτηση πολλών χαρακτηριστικών που επηρεάζουν το μέγεθος του αποτελέσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΟΔΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

3.1. Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε αναφορά στις επιπτώσεις που επιφέρει η γεωμετρία της οδού στην οδική ασφάλεια και έγινε σαφής ο τρόπος με τον οποίο τα ποικίλα γεωμετρικά στοιχεία ενός οδικού άξονα καθώς και η ταχύτητα κίνησης, επηρεάζουν την ασφάλεια κατά μήκος του. Στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφεται η επιρροή του γεωμετρικού σχεδιασμού μιας οδού στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής την οποία διασχίζει, περιλαμβάνοντας μεταβλητές όπως το έδαφος, την ατμόσφαιρα, το φυσικό τοπίο, τα ύδατα, τη χλωρίδα και την πανίδα, με έμφαση στο μέγεθος της επιρροής αυτής. Ακόμη, πραγματοποιείται αναφορά στις επιπτώσεις που σημειώνονται στην ανθρώπινη υγεία κυρίως λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και της ηχορρύπανσης ενώ οι επιπτώσεις της ταχύτητας εστιάζονται στην εκπομπή αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Με τη χάραξη ενός οδικού άξονα, υπεισέρχονται στο φυσικό περιβάλλον μιας περιοχής μεταβολές στη γεωμορφολογική του δομή, που αντιπροσωπεύονται κυρίως από τη διατάραξη της μορφολογίας του αναγλύφου, τις αλλαγές του καθεστώτος διάβρωσης-απόθεσης του εδάφους, τη δημιουργία ασταθών καταστάσεων καθώς και τις διασπάσεις, μετατοπίσεις, συμπίεσεις ή υπερκαλύψεις του επιφανειακού στρώματος του εδάφους (*Μπρόφας 1987, Τσόχος 1997, Μανωλιάδης 2002, Βαβίζος & Μερτζάνης 2003*). Το μέγεθος και η ένταση των επιπτώσεων αυτών, ενισχύεται από πιθανά λανθασμένες επιλογές, κατά το σχεδιασμό, τη χωροθέτηση και την εκτέλεση του έργου (*Monroe & Vicander 1989*). Σε πολλές περιπτώσεις οι επιλογές αυτές αποτελούν το μοχλό έναρξης διατάραξης της ισορροπίας των γεωμορφολογικών διεργασιών και οδηγούν σε ακραίες καταστάσεις, όπως στην απόφραξη των παροχευτικών έργων των απορρεόντων υδάτων με υπερχειλίσεις των κοίτων των ρεμάτων, σε καθιζήσεις των επιχωμάτων και σε διαβρώσεις και κατολισθήσεις πρανών με σημαντικές οικονομικές και λειτουργικές επιπτώσεις για το έργο (*Κούκης 1994*).

3.2. Φυσικό τοπίο – Αισθητική

Τοπίο ορίζεται κάθε δυναμικό σύνολο βιοτικών και μη βιοτικών παραγόντων και στοιχείων του περιβάλλοντος, που μεμονωμένα ή αλληλεπιδρώντας, συνθέτει μια οπτική εμπειρία (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003). Η γεωμετρία ενός οδικού άξονα επηρεάζει πολυποίκιλια το φυσικό τοπίο και την αισθητική μιας περιοχής. Μάλιστα, η πρώτη και άμεσα φανερή επίπτωση μιας οδικής κατασκευής εμφανίζεται στο φυσικό τοπίο (Τσώχος 1997). Καταρχάς, αναφέρεται η επιρροή της υλοποίησης και της γενικότερης φυσικής παρουσίας μιας οδού στο περιβάλλον και τονίζεται ότι οι επιπτώσεις της κατασκευής ενός έργου τέτοιας κλίμακας δεν περιορίζεται μόνο στην περιοχή που υλοποιείται ο οδικός άξονας αλλά εκτείνεται σε ένα σύνολο θέσεων που αποτελούν το «οικολογικό αποτύπωμα» της κατασκευής (Εσκίολου 2011). Η διάνοιξη ενός δρόμου επιφέρει σημαντικές μεταβολές στο ανάγλυφο μιας περιοχής υποβαθμίζοντάς την και κατακερματίζοντας το τοπίο. Ιδιαίτερα στην περίπτωση ενός μεγάλου οδικού έργου που εξυπηρετεί μεγάλο τμήμα μιας χώρας, επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο τοπογραφικό ανάγλυφο και γενικότερα στο τοπίο μιας περιοχής (εικόνα 11).

Η ποικιλία των τοπογραφικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής καθορίζει και το βαθμό αλλοίωσης του τοπίου της. Πιο συγκεκριμένα, αν μια περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο και ποικίλους γεωλογικούς σχηματισμούς, η διάνοιξη της οδού θα απαιτήσει την ισοπέδωση και ταπείνωση σημαντικού τμήματος των σχηματισμών αυτών, με αποτέλεσμα έντονες μεταβολές στο ανάγλυφό της (Carr et al. 2002, Εσκίολου 2011). Η αισθητική πλήττεται, επίσης, σε σημαντικό βαθμό, ιδιαίτερα αν ο νέος οδικός άξονας διασχίσει δασική περιοχή επιφέροντας αποψίλωση μεγάλης έκτασής της, στερώντας την από την ομορφιά μέρους των δασικών της εκτάσεων. Πρόκειται για τραυματισμό και τοπική υποβάθμιση του τοπίου στην περιοχή που χαράσσεται ο δρόμος, ενώ οι συνέπειες είναι σημαντικές τόσο για την ζωική όσο και για τη φυτική ζωή της περιοχής. Επιπλέον, η διάνοιξη μιας οδού συνεπάγεται εισβολή της οδού σε αδιατάραχτα τοπία υψηλής ποιότητας με ενδεχόμενους σοβαρούς τραυματισμούς οι οποίοι μπορούν να αποδειχθούν δύσκολοι έως και αδύνατοι στην αντιμετώπισή τους, για την επίτευξη πλήρους αποκατάστασης (Εσκίολου 2011).



Εικόνα 11: Καταστροφή τοπίου λόγω υλοποίησης οδικού άξονα
Πηγή: http://wallpaperswide.com/mountain_highway-wallpapers.html

Ακόμη, η υλοποίηση ενός οδικού άξονα, απαιτεί επιπρόσθετους όγκους χωματισμών για την εξισορρόπηση εκσκαφών και επιχωματώσεων, που ενδεχομένως επηρεάζουν άλλες θέσεις υψηλής περιβαλλοντικής αξίας. Παράλληλα, τα επιχώματα που δημιουργούνται πλήττουν την αισθητική του τοπίου και διασχίζουν κοιλάδες και χαμηλού ύψους περιοχές, αποκρύπτοντάς τες σε πολλές περιπτώσεις (εικόνα 12). Θεωρείται

σημαντικό να αναφερθεί, πως οι κατασκευαστικές διαδικασίες που συνεπάγεται η χάραξη μιας οδού συνεπάγονται χωματουργικές εργασίες σημαντικής έκτασης, οι οποίες οδηγούν σε αφαίρεση μεγάλων όγκων επιφανειακών στρώσεων απαιτούν μεγάλης έκτασης διαδικασίες αποκατάστασης (Καλούδη 2007, Εσκίογλου 2011).



Εικόνα 12: Ορύγματα που τραυματίζουν το τοπίο
Πηγή: <http://www.geomeleti.gr/work-catid=4.asp.html>

Είναι σημαντικό το γεγονός, ακόμη, ότι η υλοποίηση ενός δρόμου συνεπάγεται στις περισσότερες περιπτώσεις την κατασκευή εκατέρωθεν της οδού διάφορων περιοχών στάθμευσης, πρατηρίων καυσίμων, επιπλέον λωρίδων (όπως ΛΕΑ, λωρίδες για πεζούς) αλλά και χώρων αναψυχής για τους χρήστες της οδού, γεγονός που οδηγεί σε κατάληψη μεγαλύτερων εκτάσεων γης και άρα σε επιβάρυνση του τοπίου, έντονη, ευρείας κλίμακας και μόνιμης διάρκειας περιβαλλοντική επίπτωση (Seiler 2001). Στις περισσότερες περιπτώσεις χαράξεων οδικών έργων σημειώθηκε ανεπιτυχής προσαρμογή μεταξύ του νέου και του υφιστάμενου εδαφικού αναγλύφου με καθοριστικές και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στη μορφολογία της περιοχής, όπως φαίνεται και στις εικόνες 13, 14 και 15.



Εικόνα 13: Μεγάλη κατάληψη γης λόγω κατασκευής επιπλέον λωρίδων
Πηγή: <http://www.thewallpapers.org/303/architecture/highways>

Η διαμόρφωση του τοπίου αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των μελετών της οδού και επηρεάζεται τόσο από τη γεωλογία της περιοχής και τις ποσότητες των χωματισμών, όσο και από τη διαμόρφωση των τελικών επιφανειών. Τόσο στη μία όσο και στην άλλη περίπτωση, υπάρχει ένα εξωτερικό όριο αδιατάραχτου αναγλύφου και βλάστησης, στην άμεση περιοχή του τοπίου, μέσα στην οποία πρέπει να ενταχθεί σταθερά η αποπερατωμένη λύση που επιλέχθηκε σχετικά με τη χάραξη της οδού. Η γεωλογία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά αυτήν την ενσωμάτωση. Η μελέτη για την εξισορρόπηση εκσκαφών, επιχωματώσεων και

ευστάθειας των πρανών δύναται να επηρεάσει ακόμη περισσότερο τη γεωγραφική θέση της οδού (Εσκίολου 2011).



Εικόνα 14: Καταστροφή τοπίου λόγω υλοποίησης οδικού άξονα

Πηγή: <http://www.novatlantis.ch/en/projects/space-and-resources/landscape-fragmentation.html>

Ένα σημαντικό στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού που επηρεάζει σημαντικά το φυσικό τοπίο μιας περιοχής το είδος της οδού. Σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), οι οδοί κατατάσσονται σε ομάδες και κατηγορίες ανάλογα με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, ωστόσο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το είδος της οδού αφορούν στον τύπο της (αυτοκινητόδρομος, δασική οδός κ.λ.π.) και κατά συνέπεια στον αριθμό και στο πλάτος των λωρίδων από τις οποίες θα αποτελείται σύμφωνα με τις ανάγκες του κυκλοφοριακού φόρτου της περιοχής. Επίσης, το είδος της οδού σχετίζεται και με το αν η επιφάνεια του οδοστρώματός της είναι καλυμμένη με άσφαλτο ή αν αποτελεί επαρχιακό ή αγροτικό δρόμο που εξυπηρετεί τη σύνδεση γεωργικών εκτάσεων και δεν έχει καλυφθεί με άσφαλτο αλλά μόνο με χώμα.

Το είδος μιας οδού καθορίζεται και από τον αριθμό και το πλάτος των λωρίδων της. Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος μιας οδού καθορίζει, μέσω του αριθμού και του πλάτους των λωρίδων του, την επιφάνεια κατάληψης του εδάφους σε μια περιοχή και άρα το εύρος επιρροής του φυσικού της τοπίου (εικόνα 15). Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι οι αυτοκινητόδρομοι και οι εθνικές οδοί απαιτούν μεγαλύτερες επιφάνειες κατάληψης εδάφους σε σχέση με τις επαρχιακές και τις δασικές οδούς (Τσώχος 1997).

Σύμφωνα με μελέτες, οι αυτοκινητόδρομοι καταλαμβάνουν περισσότερα από 0,1 km² (10⁶ m²) επιφάνειας γης για κάθε χιλιόμετρο που κατασκευάζεται. Ωστόσο, οι μικρότερου πλάτους επαρχιακές οδοί αν και καταλαμβάνουν μικρότερη έκταση γης επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό το περιβάλλον λόγω των μεγαλύτερων κυκλοφοριακών φόρτων που εξυπηρετούν σε μεγαλύτερη συχνότητα, σε σχέση με τους αυτοκινητόδρομους (Seiler 2001). Μελέτες σε ελληνικούς δρόμους δείχνουν ότι για δρόμο πλάτους 30 μέτρων η απώλεια ανά χιλιόμετρο είναι 30 στρέμματα για το βασικό υπόστρωμα ενώ στους μεγάλους οδικούς άξονες απαιτείται ανάλογη έκταση για τους εκατέρωθεν συμπληρωματικούς χώρους (Μπούσμπουρας 2005).

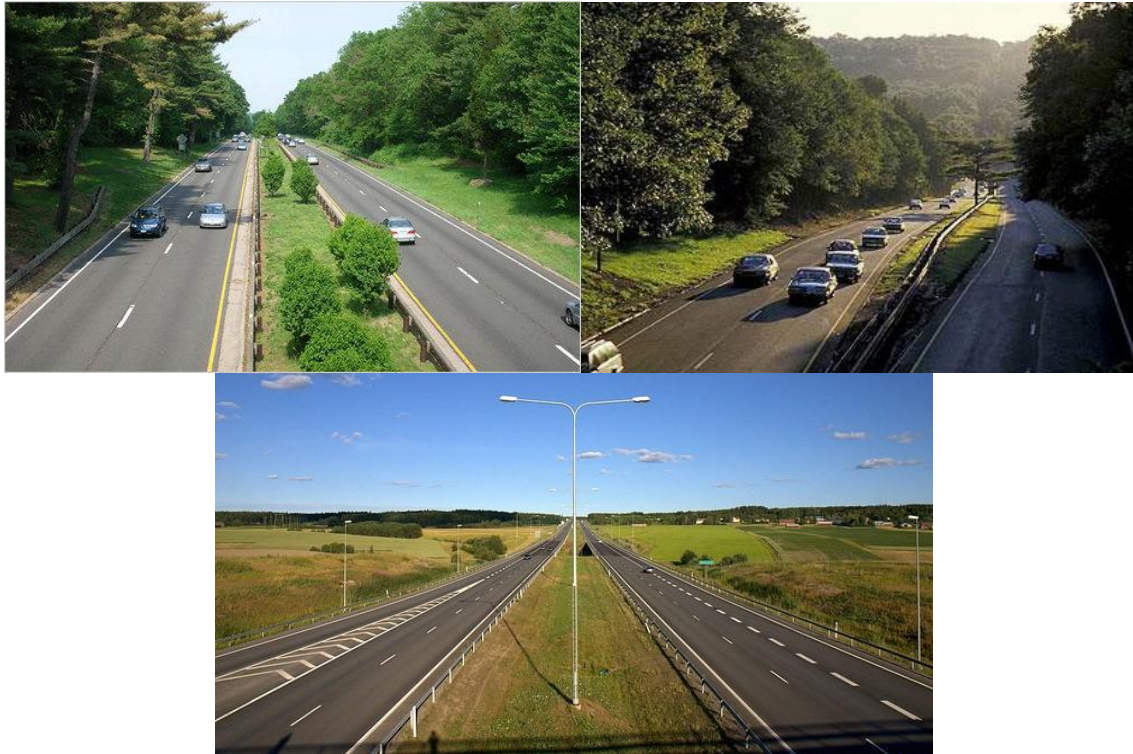


Εικόνα 15: Διαιρεμένη οδός 2 λωρίδων ανά κατεύθυνση που καταλαμβάνει μεγάλη έκταση γης
Πηγή: <http://lavca.org/2009/07/06/citi-infrastructure-partners-completes-chilean-highway-sale-to-abertis-atlantia/>

Ένα ακόμα σημαντικό γεωμετρικό στοιχείο ενός οδικού άξονα που επηρεάζει το φυσικό περιβάλλον και σχετίζεται απόλυτα με το είδος της οδού που αναλύθηκε προηγουμένως, είναι το πλάτος της λωρίδας της οδού. Η αύξηση του πλάτους της λωρίδας ή των λωρίδων μιας οδού, αυξάνει σημαντικά το εύρος κατάληψης των εδαφικών εκτάσεων μιας περιοχής με αποτέλεσμα να επιδρά καθοριστικά στα υπάρχοντα τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του αναγλύφου της ισοπεδώνοντάς τα και επιφέροντας μια εκτεταμένη ομαλοποίηση του τοπίου (Forman & Alexander 1998).

Ως ξεχωριστό γεωμετρικό χαρακτηριστικό μιας οδού αναφέρεται η Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ), δηλαδή η λωρίδα του οδοστρώματος που βρίσκεται μεταξύ της δεξιάς οριογραμμής και του ορίου της οδού και η οποία εξυπηρετεί την κυκλοφορία σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Τόσο το πλάτος της ΛΕΑ όσο και το πλάτος κάθε λωρίδας κυκλοφορίας μιας οδού επηρεάζει την κατάληψη εδαφικών εκτάσεων.

Στο σημείο, αυτό, αναφέρεται και η κατασκευή της διαχωριστικής νησίδας, σε περιπτώσεις διαιρεμένων οδικών αξόνων, ως στοιχείο της γεωμετρίας της οδού που επηρεάζει το τοπίο μιας περιοχής, το πλάτος της οποίας αυξάνει την επιφάνεια κατάληψης γης αλλά σε βαθμό λιγότερο έντονο σε σχέση με το πλάτος της λωρίδας (Seiler 2001). Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου το πλάτος της διαχωριστικής νησίδας μιας οδού είναι μεγάλο με αποτέλεσμα την αυξημένη κατάληψη γης, όπως φαίνεται και στις εικόνες 16 και 17.



Εικόνα 16 : Διαιρεμένες οδοί όπου η διαχωριστική νησίδα καταλαμβάνει μεγάλη έκταση γης
Πηγή: <http://www.architectmagazine.com/blogs/postdetails.aspx?BlogId=beyondbuildingsblog&postId=89732>



Εικόνα 17: Διαιρεμένες οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με μεγάλο πλάτος λωρίδων και ΛΕΑ, μεγάλη κατάληψη γης
Πηγή: http://www.asphaltplanet.ca/ON/hwy_401_images/Hwy401_p13_images.htm

Ως τελευταίο γεωμετρικό στοιχείο μιας οδού που επηρεάζει το τοπίο και την αισθητική μιας περιοχής αναφέρονται τα επιχώματα και τα ορύγματα που κατασκευάζονται εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα. Η χάραξη ενός οδικού άξονα απαιτεί ευρείας κλίμακας χωματουργικές εργασίες, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο. Αυτό έχει ως συνέπεια, τη δημιουργία έντονης κλίσης και μεγέθους επιχωμάτων και ορυγμάτων εκατέρωθεν του οδικού άξονα, τα οποία τραυματίζουν το τοπίο και σε πολλές περιπτώσεις αποκρύπτουν, λόγω ύψους, πολλές κοιλάδες και άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Τα ορύγματα τραυματίζουν σημαντικά τις βουνοπλαγιές κατά μήκος μιας οδού ενώ τα επιχώματα αποτελούν όγκους χωμάτων όπου η απουσία της βλάστησης είναι έντονη έχοντας σημαντική επιρροή στο τοπίο και την αισθητική της περιοχής όπως φαίνεται και στις *εικόνες 18 και 19*.



*Εικόνα 18: Έντονος τραυματισμός τοπίου λόγω επιχωμάτων και ορυγμάτων
Πηγή: Εσκίγολου 2011*

Όσον αφορά στην αξιολόγηση του μεγέθους των μεταβολών που επιφέρουν στο φυσικό τοπίο και στη μορφολογία μιας περιοχής η διάνοιξη και τα επιχώματα -ορύγματα ενός οδικού άξονα, σημαντικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν το μέγεθος της μεταβολής, αποτελούν (Μερτζάνης κ.α. 2005):

- το μέγεθος κατάληψης του εδάφους,
- το μέγεθος αναδιαμόρφωσης του ανάγλυφου που προκύπτει από την παρεμβολή του τεχνικού έργου,
- η θέση του ως προς την ανάπτυξη των γεωμορφολογικών διεργασιών και
- η κατάληψη ή η πιθανότητα κινδύνου καταστροφής ιδιαίτερων γεωλογικών – γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών (φαράγγια κ.λ.π.)

Πιο συγκεκριμένα, για την αξιολόγηση-βαθμονόμηση του μεγέθους των μεταβολών στις γεωμορφές, λαμβάνεται στις περισσότερες περιπτώσεις υπ' όψιν, ως κριτήριο βάσης και κύριο συγκριτικό στοιχείο, το ύψος των διαμορφούμενων εκχωμάτων και επιχωμάτων, ενώ η κατάταξη ανά κατηγορία μεταβολής, πέραν της κατηγορίας των αμελητέων μεταβολών, η οποία αφορά πολύ περιορισμένης έκτασης μεταβολές, είναι (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003):

1. ασθενείς μεταβολές, για ύψος εκχωμάτων ή επιχωμάτων <5 m,
2. μέτριες μεταβολές, για ύψος εκχωμάτων ή επιχωμάτων 5 έως 15 m και

3. ισχυρές μεταβολές, για ύψος εκχωμάτων ή επιχωμάτων >15 m.



Εικόνα 19: Έντονος τραυματισμός τοπίου λόγω επιχωμάτων και ορυγμάτων
Πηγή: http://www.asphaltconstructors.com/completed_projects.htm

3.3. Έδαφος

Η υλοποίηση ενός οδικού άξονα επηρεάζει σημαντικά το έδαφος μέσω των εκτεταμένης κλίμακας χωματουργικών εργασιών που γίνονται σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας. Η απαλλοτρίωση μεγάλων εδαφικών εκτάσεων οδηγεί σε αλλαγή της πυκνότητας του εδάφους και σε διάβρωσή του. Η διάβρωση ενισχύεται κατά τη λειτουργική φάση της οδού με την απόπλυση των νερών της βροχής από το οδόστρωμα (Coffin 2007).

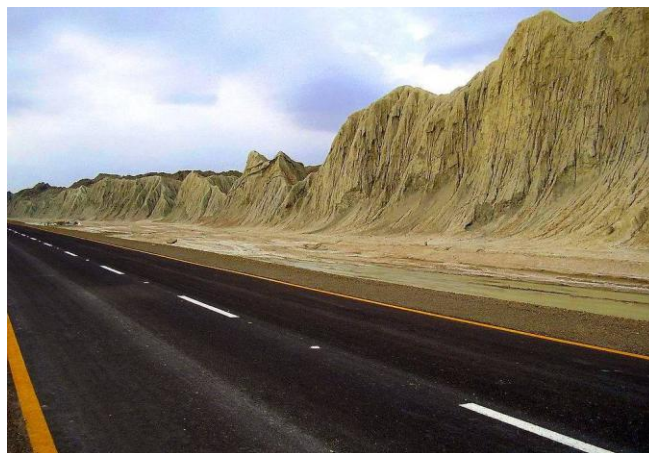
Πραγματοποιείται, επίσης, επιβάρυνση του εδάφους από τις εκπομπές των οχημάτων καθώς και από τα υλικά κατασκευής του οδοστρώματος (άσφαλτος, αδρανή κ.λ.π.). Επιπλέον, το αλάτι που περιέχει το οδόστρωμα ως υλικό καθώς και τα υλικά απομάκρυνσης (τήξης) του πάγου ρυπαίνουν σε σημαντικό βαθμό το έδαφος ενώ η επιβάρυνση αυτή εντοπίζεται ακόμη και σε απόσταση 10 μέτρων από τα ερείσματα ενός οδικού άξονα. Μάλιστα, το αλάτι που χρησιμοποιείται για την τήξη των πάγων περιέχει NaCl (χλωριούχο νάτριο) το οποίο μεταφέρεται μέσω του εδάφους στον υδροφόρο ορίζοντα και στους υδροβιότοπους της περιοχής αυξάνοντας την περιεκτικότητά τους σε αλάτι και επιβαρύνοντας σημαντικά τη βλάστηση της περιοχής καθώς και την πανίδα που ζει και τρέφεται από αυτούς (Τσώχος 1997, Εσκίογλου 2011).

Το είδος της οδού παίζει σημαντικό ρόλο στην επιβάρυνση του εδάφους καθώς αν η επιφάνεια του οδοστρώματος έχει επενδυθεί με άσφαλτο τότε η περιεκτικότητα σε αλάτι και σε άλλα αδρανή υλικά επιβαρύνει το έδαφος, μειώνοντας σημαντικά το pH του και αυξάνοντας την περιεκτικότητά του σε βαρέα μέταλλα (Εικόνα 14) (Spellerberg 1998, Trombulak & Frissell 1999, Forman & Deblinger 2000). Επιπλέον, στην περίπτωση που πρόκειται για δασική οδό που δεν έχει ασφαλτοστρωθεί αλλά η επιφάνεια του εδάφους της αποτελείται από χώμα, η διάβρωση είναι πιο άμεση (Forman & Alexander 1998).



Εικόνα 20: Διάβρωση εδάφους εκατέρωθεν τμήματος οδικού άξονα στο νομό Καρδίτσας
Πηγή: http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/struct/geotech/media/emb_slide_kard3.html

Επιπλέον, τόσο το πλάτος της λωρίδας ενός οδικού άξονα όσο και το μέγεθος των κλίσεων του οδοστρώματός του επηρεάζουν την έκταση των χωματουργικών εργασιών και κατά συνέπεια την έκταση της διάβρωσης του εδάφους (εικόνα 21). Η σχέση μεταξύ τους είναι ανάλογη (Forman & Alexander 1998). Τα επιχώματα και τα ορύγματα αποτελούν στοιχεία της γεωμετρίας μιας οδού που συμβάλλουν σημαντικά στην διάβρωση του εδάφους και στην αλλαγή της πυκνότητάς του. Οι επιπτώσεις είναι παρόμοιες με εκείνες που αναφέρθηκαν παραπάνω (αλλαγή pH, αύξηση κινητικότητας βαρέων μετάλλων του εδάφους). Επιπλέον, η αστάθεια των πρανών που κατασκευάζονται συνεπάγονται επιφανειακή διάβρωση, απώλεια φυτοκάλυψης και μελλοντική αδυναμία αποκατάστασης. Οι καταπτώσεις χαλαρού υλικού επιχωματώσεων, τόσο κατά την κατασκευή όσο και στη φάση λειτουργίας της οδού, προκαλούν σημαντική εδαφική διάβρωση ενώ μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και σε καταστροφή για τις υποκείμενες γεωργικές ή ημιφυσικής βλάστησης εκτάσεις της περιοχής αλλά και σε πολλές μεταβολές στη ροή των υδάτων (Forman et al. 1997, Jones et al. 2000, Εσκίογλου 2011).



Εικόνα 21: Διάβρωση εδάφους λόγω κατασκευής ορυγμάτων εκατέρωθεν τμήματος οδικού άξονα
Πηγή: <http://www.architectmagazine.com/blogs/postdetails.aspx?BlogId=beyondbuildingsblog&postId=89732>

3.4. Ατμοσφαιρικό περιβάλλον

Οι επιπτώσεις που επιφέρει στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας περιοχής η υλοποίηση ενός οδικού άξονα είναι έντονες και οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στη γεωμετρία του. Οι σημαντικότερες πηγές επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας στις περιοχές των οδικών δικτύων αποτελούν οι εκπομπές των ρύπων. Αρκετές μελέτες τα τελευταία χρόνια εστιάζουν στην ακριβή εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου καθώς και των εκπομπών των ρύπων των οχημάτων (*Park & Racka 2005, Ko et al. 2012*). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στα οχήματα καθώς και τις εκπομπές των αερίων ρύπων μπορούν να ομαδοποιηθούν σε πέντε κατηγορίες: τους παράγοντες που συσχετίζονται (*Park & Rakha 2005*):

1. με τη διαδρομή
2. με τον παράγοντα οδηγό
3. με τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου
4. με τα χαρακτηριστικά του οχήματος καθώς και
5. με τις καιρικές συνθήκες

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάζονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον που επιφέρει η γεωμετρία μιας οδού, δηλαδή τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός οδικού δικτύου.

Καταρχάς, η διάνοιξη ενός οδικού άξονα επιβαρύνει έντονα την ατμόσφαιρα μέσω των μεγάλων ποσοτήτων σκόνης που προκαλούνται από τις χωματοουργικές εργασίες. Στη συνέχεια, κατά τη λειτουργία της οδού η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας είναι διαρκής λόγω των έντονων κυκλοφοριακών φόρτων και των εκπομπών καυσαερίων, αέριων ρύπων και σωματιδίων από το οδόστρωμα. Το είδος της οδού συμβάλλει στη ρύπανση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος μιας περιοχής καθώς οι ασφαλτοστρωμένες οδοί περιέχουν συστατικά τα οποία τόσο λόγω τριβής των ελαστικών των οχημάτων με το οδόστρωμα, όσο και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών κατά τις καλοκαιρινές περιόδους κυρίως, που συμβάλλουν στην εξάτμιση ορισμένης ποσότητας αυτών, επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα και αυξάνουν την περιεκτικότητά της σε αέριους ρύπους και σωματίδια. Ακόμα και οι χωματοστρωμένες οδοί, όμως, λόγω της κυκλοφορίας επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με σκόνη. Τόσο οι ρύποι, όσο και η σκόνη, μεταφέρονται μέσω της ατμόσφαιρας σε μεγάλες αποστάσεις στους πυρήνες των δασικών περιοχών που διατρέχει ένας οδικός άξονας, επηρεάζοντας σημαντικά τη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής (*Seiler 2001*).

Η κλίση του οδοστρώματος μιας οδού, αποτελεί έναν βασικό παράγοντα της γεωμετρίας της που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας περιοχής, κυρίως κατά τη φάση λειτουργίας της οδού, λόγω της εκπομπής ρύπων από τα οχήματα, που καθορίζεται σημαντικά από την κλίση του οδοστρώματος (*Frey et al. 2008*). Περιορισμένος αριθμός μελετών που έχει εξετάσει το βαθμό συσχέτισης της κλίσης του οδοστρώματος με τις εκπομπές των ρύπων, συμπεραίνει ότι η κλίση του οδοστρώματος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις εκπομπές των αερίων ρύπων που παράγονται από τα οχήματα αυξάνοντάς τες, ενώ έχει μελετηθεί παράλληλα και η κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων καθώς κινούνται σε τμήματα οδών που χαρακτηρίζονται από υψηλές ή χαμηλές κλίσεις η οποία εμφανίζεται αυξημένη στην περίπτωση των υψηλών κλίσεων (*Ko et al. 2012*). Πιο συγκεκριμένα, οι επιπτώσεις της κλίσης του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμου και στην εκπομπή αερίων ρύπων κρίνονται σημαντικές και μάλιστα, τόσο οι εκπομπές ρύπων όσο και η κατανάλωση καυσίμου ξεπερνά το 9% για αύξηση της κλίσης του οδοστρώματος κατά 1%, χωρίς όμως η σχέση να είναι γραμμική. Συνεπώς, μια μείωση της τάξης του

1% στην κλίση του οδοστρώματος μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας (*Park & Rakha 2005*).

Κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί το γεγονός, ότι οι εκπομπές HC (ή όπως αλλιώς συναντάται συχνά στη βιβλιογραφία THC), CO και NO_x είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις μεταβολές της κλίσης του οδοστρώματος, ενώ οχήματα που κινούνται σε ανωφέρεια καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες καυσίμου και εκπέμπουν μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων. Οι ρύποι έχουν αναφερθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο της γεωμετρίας της οδού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, δείχνουν, ακόμη, ότι οι ποσότητες των αέριων εκπομπών στην ανωφέρεια είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στην κατωφέρεια (*Ko et al. 2012*). Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Fort McHenry της Βαλτιμόρης από τους Park & Rakha (2005), έδειξε ότι οι εκπομπές στην ανωφέρεια ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στην κατωφέρεια με συντελεστή 1.52, 1.86 και 2.19 για μη μεθανιούχους υδρογονάνθρακες (NMHC), CO και εκπομπές NO_x αντίστοιχα.

Οι μεταβολές που εντοπίζονται στην εκπομπή αέριων ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου λόγω κλίσης του οδοστρώματος σε συνάρτηση με την ταχύτητα, είναι σημαντικές ενώ αύξηση στην τιμή της κλίσης του οδοστρώματος, διατηρώντας σταθερή την τιμή της ταχύτητας, οδηγεί σε αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου και στην εκπομπή ρύπων (*εικόνα 22*). Στην περίπτωση που το όχημα ταξιδεύει με χαμηλές ταχύτητες καταναλώνει μικρότερες ποσότητες καυσίμου και εκπέμπει λιγότερους ρύπους, ωστόσο ξοδεύει περισσότερο χρόνο διανύοντας μια συγκεκριμένη απόσταση του δρόμου, και τμήματα με κλίσεις, με αποτέλεσμα η συνολική κατανάλωση καυσίμου και οι συνολικές εκπομπές ρύπων που σημειώνονται σε χαμηλότερες ταχύτητες να είναι σημαντικά υψηλές (*Rakha & Ding 2003, Park & Rakha 2005*).

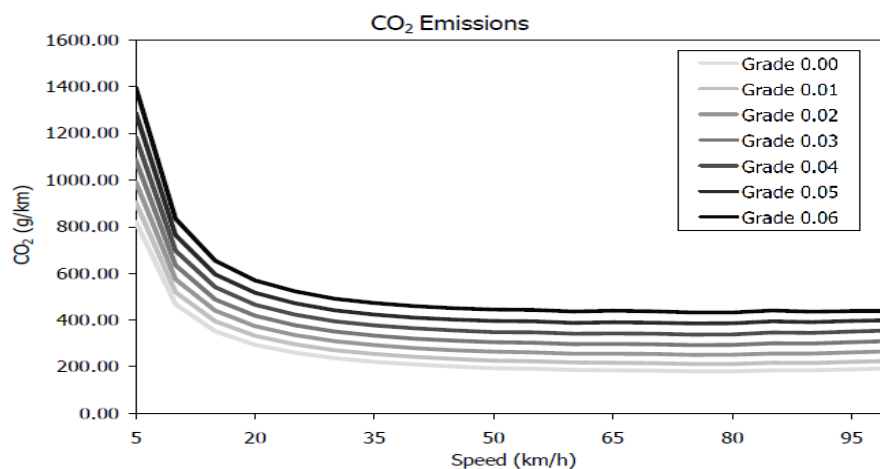


Εικόνα 22: Τμήμα οδικού άξονα με μεγάλη κλίση (ανωφέρεια)

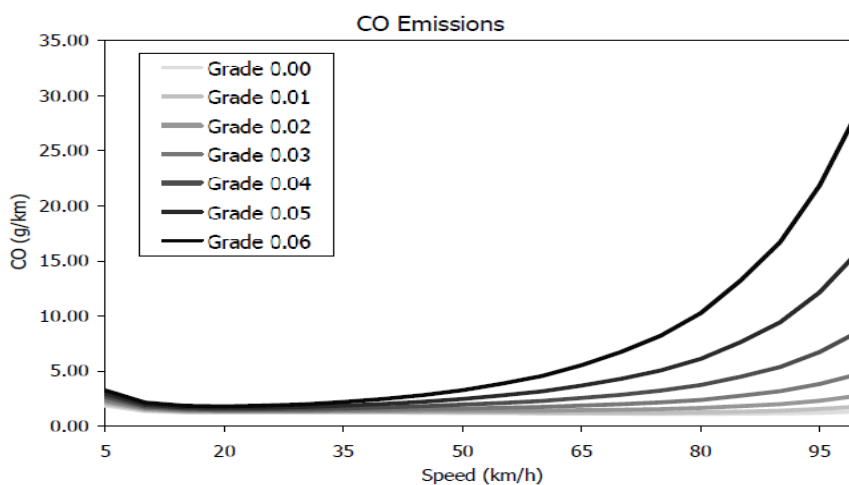
Πηγή: <http://lavca.org/2009/07/06/citi-infrastructure-partners-completes-chilean-highway>

Όσον αφορά πιο συγκεκριμένα στις εκπομπές CO₂ σε σχέση με την ταχύτητα, σχηματίζουν μια πολυωνυμική συνάρτηση όπου οι υψηλότερες τιμές εκπομπής CO₂ σημειώνονται στις χαμηλότερες τιμές της ταχύτητας (*Rakha & Ding 2003*). Αντίθετα, οι τιμές εκπομπής CO₂ ποικίλουν σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, οι χαμηλότερες τιμές εκπομπής CO₂ σημειώνονται για ταχύτητα 75 km/h για κλίση 0% – 1%, όπως φαίνεται και στο *διάγραμμα 25*. Όσον αφορά στις εκπομπές

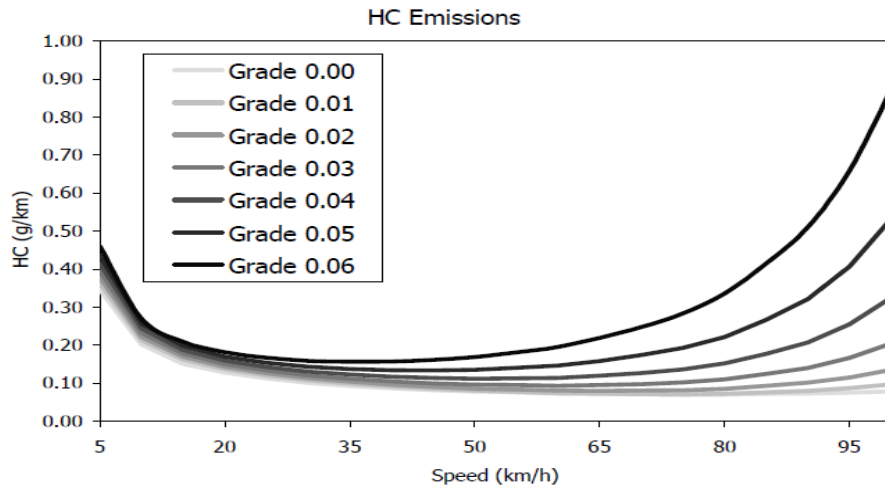
HC και CO η συνάρτησή τους σε σχέση με την ταχύτητα διαφέρει από την αντίστοιχη του CO₂ και συγκεκριμένα στις χαμηλότερες τιμές ταχύτητας. Οι εκπομπές HC και CO σχηματίζουν με την ταχύτητα και τις τιμές κλίσης του οδοστρώματος μια πολυωνυμική συνάρτηση, όπου οι υψηλές τιμές εκπομπής ρύπων HC και CO σημειώνονται σε υψηλότερες τιμές ταχύτητας. Ακόμη, η εκπομπή CO στις χαμηλότερες τιμές ταχύτητας είναι ελάχιστη σε αντίθεση με τις εκπομπές HC, όπως φαίνεται στα *διαγράμματα 26 και 27*. Επιπλέον, οι εκπομπές CO₂ και η κατανάλωση καυσίμου είναι πιο ευαίσθητες στις μεταβολές στην ταχύτητα από ότι στις μεταβολές στην τιμή της κλίσης του οδοστρώματος. Αντίθετα, οι εκπομπές HC, CO και NO_x είναι πιο ευαίσθητες στις μεταβολές της τιμής της κλίσης του οδοστρώματος (*Rakha & Ding 2003*).



Διάγραμμα 25: Διάγραμμα εκπομπής CO₂ σε συνάρτηση με την ταχύτητα για τιμές κλίσης του οδοστρώματος από 0% - 6%
Πηγή: Park & Rakha 2005



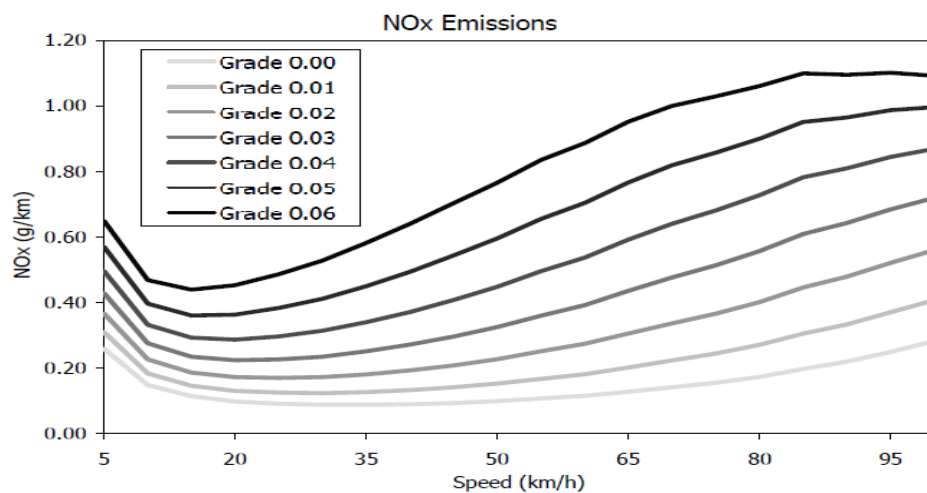
Διάγραμμα 26: Διάγραμμα εκπομπής CO σε συνάρτηση με την ταχύτητα για τιμές κλίσης του οδοστρώματος από 0% - 6%
Πηγή: Park & Rakha 2005



Διάγραμμα 27: Διάγραμμα εκπομπής HC σε συνάρτηση με την ταχύτητα για τιμές κλίσης του οδοστρώματος από 0% - 6%

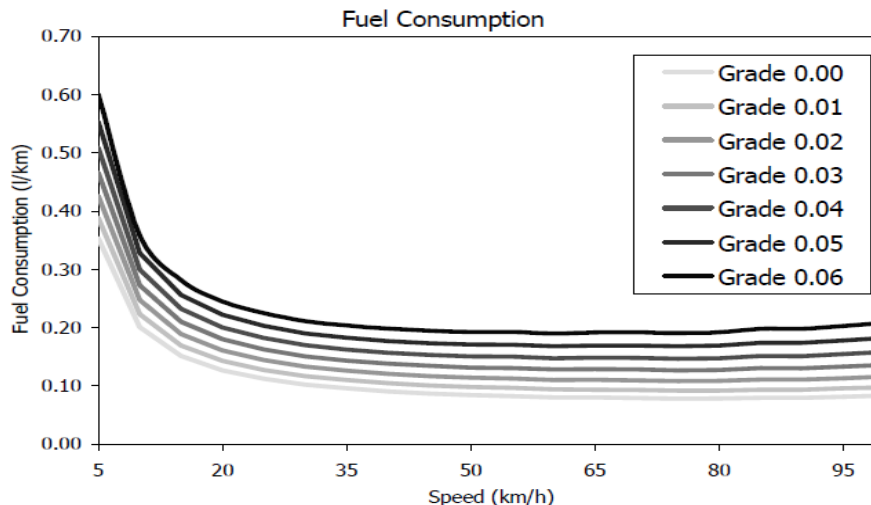
Πηγή: Park & Rakha 2005

Επιπλέον, αναφέροντας πιο συγκεκριμένα τιμές ταχυτήτων των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί, οι εκπομπές CO₂ και NO_x, είναι πιο ευαίσθητες στις τιμές κλίσης του οδοστρώματος που αντιστοιχούν στις τιμές ταχυτήτων από 35 – 65 km/h και 65 – 95 km/h (διάγραμμα 28). Επιπλέον, οι εκπομπές CO και HC είναι πιο ευαίσθητες στις τιμές κλίσης του οδοστρώματος σε υψηλές τιμές ταχυτήτων (100km/h) (Park & Rakha 2005, Frey et al. 2008). Μάλιστα, οι υψηλότερες τιμές εκπομπών HC, CO και NO_x που σημειώνονται για υψηλές ταχύτητες και κλίση οδοστρώματος 6%, σε αντίθεση με τα χαμηλότερα ποσοστά εκπομπής των ρύπων αυτών που σημειώνονται για τις ίδιες, υψηλές τιμές ταχυτήτων αλλά κλίση του οδοστρώματος 0%, είναι αποτέλεσμα υψηλής φόρτισης του κινητήρα (συνδυασμός ταχύτητας και επιτάχυνσης) υπό αυτές τις συνθήκες. Επιπλέον, η απότομη κλίση του οδοστρώματος έχει ως συνέπεια υψηλότερες εκπομπές ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τις ομαλότερες τιμές στην κλίση του οδοστρώματος (διάγραμμα 29) (Park & Rakha, 2005).



Διάγραμμα 28: Διάγραμμα εκπομπής NO_x σε συνάρτηση με την ταχύτητα για τιμές κλίσης του οδοστρώματος από 0% - 6%

Πηγή: Park και Rakha 2005

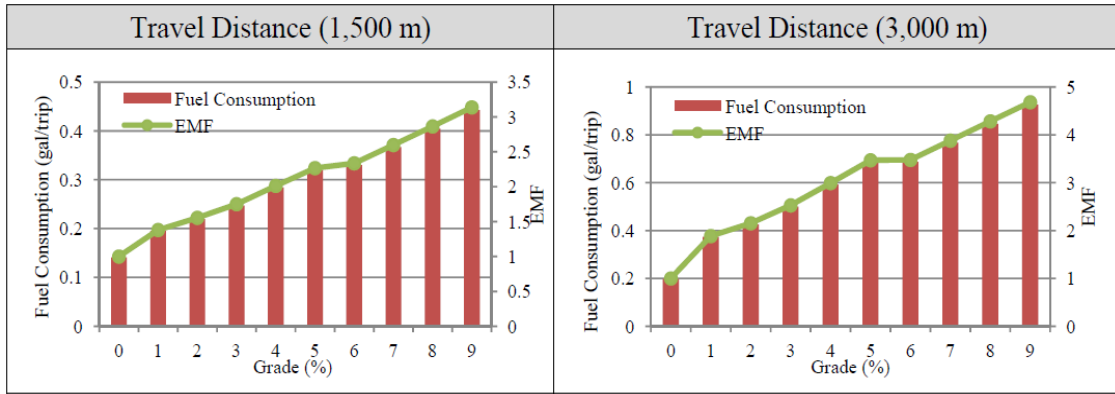


Διάγραμμα 29: Διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου σε συνάρτηση με την ταχύτητα για τιμές κλίσης του οδοστρώματος από 0% - 6%

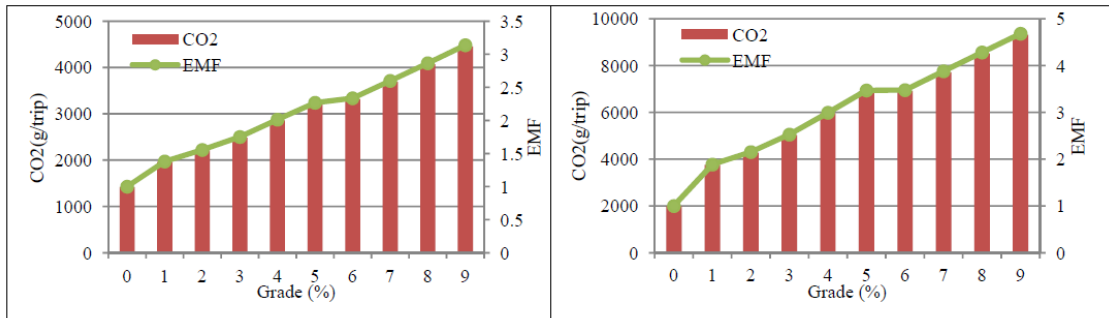
Πηγή: Park & Rakha 2005

Μελέτη των Ko et al. (2012) που πραγματοποιήθηκε σε οδικό άξονα της πολιτείας του Τέξας στην Αμερική (Ko et al. 2012), απέδειξε ότι η αύξηση της κλίσης του οδοστρώματος οδηγεί σε σημαντική αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές αέριων ρύπων. Μάλιστα, εξετάστηκε η κατανάλωση καυσίμου και η εκπομπή ρύπων καθώς και αιωρούμενων σωματιδίων (Particulate Matter, PM) για οδική απόσταση 1500 μέτρων και 3000 μέτρων και με διαφορετικές κλίσεις του οδοστρώματος ξεκινώντας από τη μηδενική κλίση έως τιμή κλίσης 9%. Επίσης εξετάστηκε και η μεταβολή των περιβαλλοντικών παραγόντων (Environmental Modification Factors, EMF) σε συνάρτηση με τις μεταβολές της κλίσης του οδοστρώματος (διαγράμματα 30 έως 35). Πιο συγκεκριμένα, τιμή EMF ίση με 1 σημαίνει ότι δεν σημειώνεται καμία επίδραση της αλλαγής του σχεδιασμού ενός οδικού άξονα στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές ρύπων, τιμή μικρότερη του 1 σημαίνει ότι οι αλλαγές στο σχεδιασμό των γεωμετρικών στοιχείων μιας οδού θα επιφέρει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής ρύπων σε σχέση με την κατάσταση αναφοράς ενώ τιμή EMF μεγαλύτερη του 1 σημαίνει αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και στις εκπομπές ρύπων από τις αλλαγές στο γεωμετρικό σχεδιασμό του οδικού άξονα που μελετάται (Ko et al. 2012).

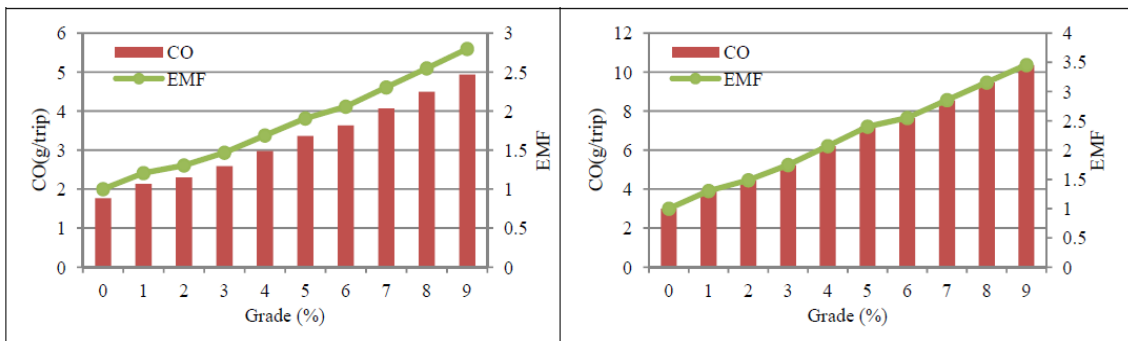
Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα που παρατίθενται παρακάτω, οι εκπομπές των οχημάτων σε ρύπους και αέρια σωματίδια καθώς και η κατανάλωση καυσίμου τετραπλασιάζεται όταν μεταβαίνει το όχημα από μηδενική κλίση σε κλίση της τάξης του 9% κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Επίσης, όσον αφορά στις ενδείξεις των EMFs, ενδεικτικά ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα του διαγράμματος 31, αύξηση στην κλίση του οδοστρώματος από 0% σε 9%, οδηγεί σε αλλαγή της τιμής των EMFs από 1 σε περίπου 4.8, γεγονός που σημαίνει ότι η αλλαγή αυτή του γεωμετρικού σχεδιασμού της οδού (αύξηση της κλίσης από 0% σε 9%), αυξάνει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου. Αντίστοιχα, ερμηνεύονται και τα υπόλοιπα διαγράμματα που παρουσιάζονται.



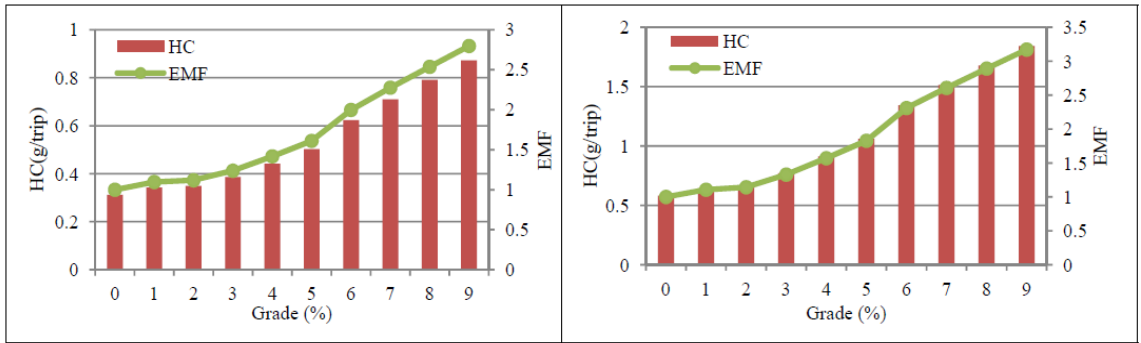
Διάγραμμα 30: Διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος για τιμές 0% - 9% και απόσταση 1500 και 3000 μέτρων αντίστοιχα
Πηγή: Ko et al. 2012



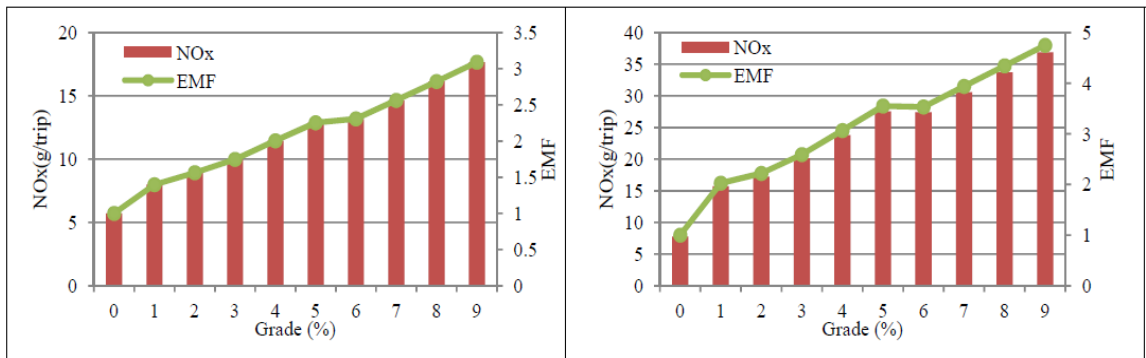
Διάγραμμα 31: Διάγραμμα εκπομπής CO₂ σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος για τιμές 0% - 9% και απόσταση 1500 και 3000 μέτρων αντίστοιχα
Πηγή: Ko et al. 2012



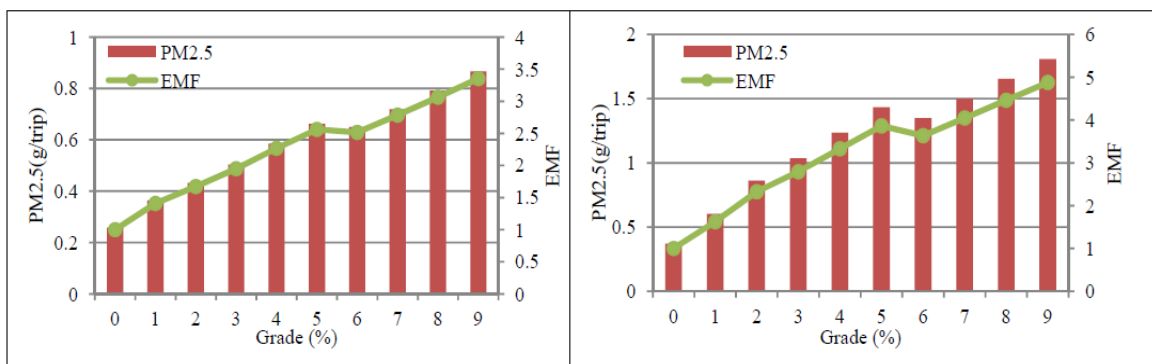
Διάγραμμα 32: Διάγραμμα εκπομπής CO σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος για τιμές 0% - 9% και απόσταση 1500 και 3000 μέτρων αντίστοιχα
Πηγή: Ko et al. 2012



Διάγραμμα 33: Διάγραμμα εκπομπής HC σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος για τιμές 0% - 9% και απόσταση 1500 και 3000 μέτρων αντίστοιχα
Πηγή: Ko et al. 2012



Διάγραμμα 34: Διάγραμμα εκπομπής NO_x σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος για τιμές 0% - 9% και απόσταση 1500 και 3000 μέτρων αντίστοιχα
Πηγή: Ko et al. 2012

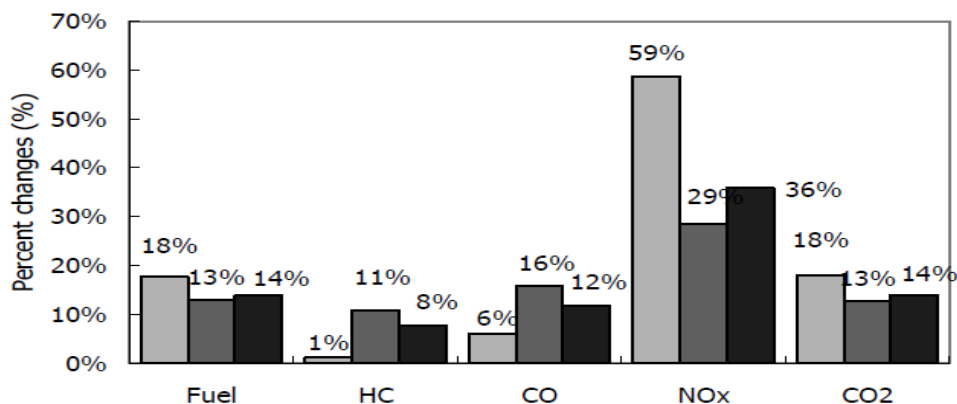


Διάγραμμα 35: Διάγραμμα εκπομπής σωματιδίων (PM_{2.5}) σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος για τιμές 0% - 9% και απόσταση 1500 και 3000 μέτρων αντίστοιχα
Πηγή: Ko et al. 2012

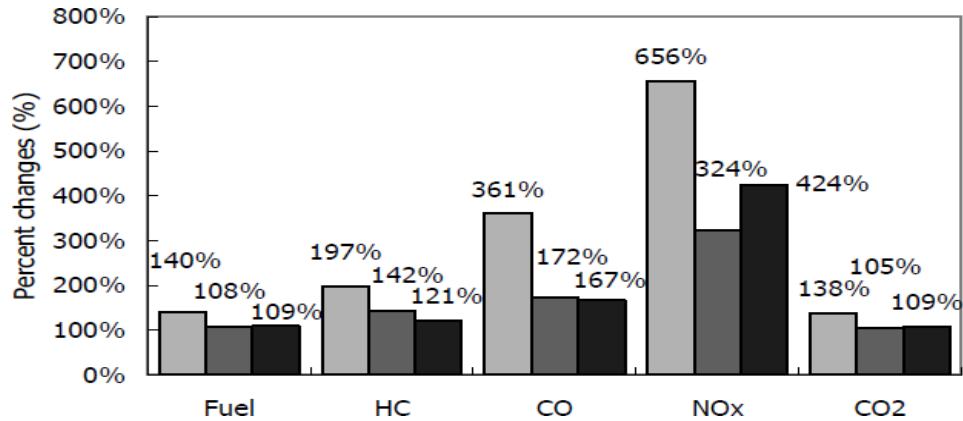
Οι πυκνότητες σήμανσης που επιβάλλουν προσωρινή μείωση της ταχύτητας του οχήματος, κατά μήκος ενός οδικού άξονα αποτελεί στοιχείο της γεωμετρίας του που ενδέχεται να επηρεάσει το ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας περιοχής καθώς επηρεάζει τα ποσοστά εκπομπής αερίων ρύπων (Rakha et al. 2000). Πιο

συγκεκριμένα, η ύπαρξη πινακίδων στοπ επιβάλλει την προσωρινή ακινητοποίηση και στη συνέχεια την επιτάχυνση του οχήματος. Αυτό έχει ως συνέπεια την εντονότερη λειτουργία του κινητήρα του οχήματος κατά την επιτάχυνση, και άρα μεγαλύτερη εκπομπή ρύπων και κατανάλωση καυσίμου. Όταν το όχημα επιβραδύνει οι εκπομπές ρύπων μειώνονται αλλά πρόκειται για προσωρινό φαινόμενο το οποίο ακολουθείται από απότομη και έντονη εκπομπή ρύπων λόγω επιτάχυνσης (Rakha & Ding 2003, Panis et al. 2006). Μάλιστα, η συχνότητα των πινακίδων στοπ καθώς και άλλων προειδοποιητικών πινακίδων που επιβάλλουν προσωρινά μείωση της ταχύτητας του οχήματος, κατά μήκος μιας οδού, επηρεάζουν σημαντικά το ποσοστό των ρύπων HC, NO_x και CO που εκπέμπονται. Αναφέρεται στο σημείο αυτό, πως και η ύπαρξη και συχνότητα των καμπύλων τμημάτων κατά μήκος μιας οδού επηρεάζουν τις εκπομπές ρύπων μέσω της συχνής επιβράδυνσης και επιτάχυνσης του οχήματος (Park & Rakha 2005).

Ο έλεγχος της κυκλοφορίας μιας οδού μέσω σηματοδότησης, επηρεάζει το ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας περιοχής. Επηρεάζονται κατά βάση τα ποσοστά εκπομπής ρύπων των οχημάτων. Ωστόσο, μελέτες που έχουν γίνει, αποδεικνύουν ότι στις περιπτώσεις ελέγχου μιας οδού μέσω σηματοδότησης τα ποσοστά ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είναι αρκετά μειωμένα σε σχέση με οδούς όπου η κυκλοφορία καθορίζεται μέσω χρήσης πινακίδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ύπαρξη σηματοδότησης διατηρεί χαμηλές ταχύτητες κατά μήκος ενός οδικού άξονα με συνέπεια μειωμένες εκπομπές ρύπων (Rakha et al. 2000, Park & Rakha 2005, Stevanovic et al. 2011). Αξίζει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι τόσο στην περίπτωση ύπαρξης πινακίδων όσο και στην περίπτωση σηματοδότησης κατά μήκος μιας οδού, οι εκπομπές ρύπων αυξάνονται σημαντικά αν συνδυάζονται με τμήματα του οδοστρώματος όπου επικρατούν υψηλές κλίσεις (Park & Rakha 2005). Σχετικά αποτελέσματα παρατίθενται στα διαγράμματα 36 και 37.



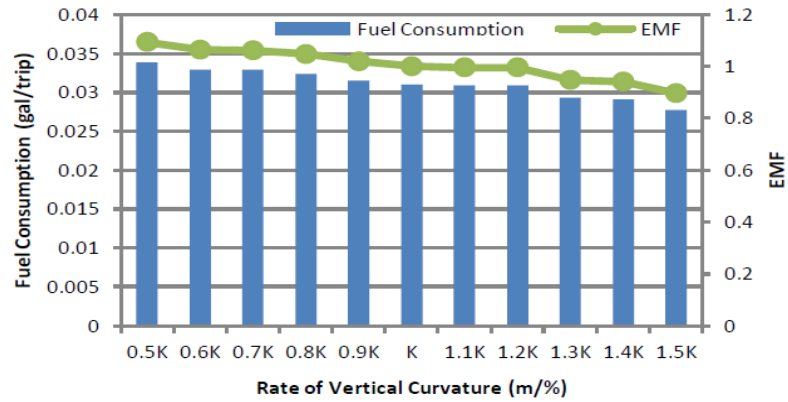
Διάγραμμα 36: Ποσοστιαίες μεταβολές εκπομπών αέριων ρύπων που σημειώνονται για αλλαγή της κλίσης του οδοστρώματος από 0% σε 1% σε περιπτώσεις σταθερής ταχύτητας (ανοιχτό γκρι), ύπαρξης πινακίδων στοπ (σκούρο γκρι) και ελέγχου της οδού μέσω σηματοδότησης (μαύρο) αντίστοιχα
Πηγή: Park & Rakha 2005



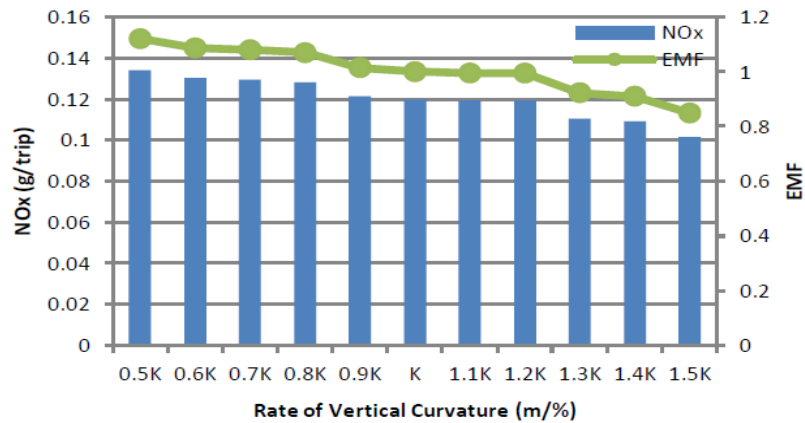
Διάγραμμα 37: Ποσοστιαίες μεταβολές εκπομπών αέριων ρύπων που σημειώνονται για αλλαγή της κλίσης του οδοστρώματος από 0% σε 6% σε περιπτώσεις σταθερής ταχύτητας (ανοιχτό γκρι), ύπαρξης πινακίδων στοπ (σκούρο γκρι) και ελέγχου της οδού μέσω σηματοδότησης (μαύρο) αντίστοιχα
Πηγή: Park & Rakha, 2005

Οι κατακόρυφες καμπύλες μιας οδού αποτελούν μέρος της κατακόρυφης χάραξης της και σημαντικό στοιχείο της γεωμετρίας της που επηρεάζει τις εκπομπές ρύπων των οχημάτων και άρα την ατμοσφαιρική ρύπανση της περιοχής που διατρέχει ένας οδικός άξονας. Η ύπαρξη κατακόρυφων καμπυλών, που χαρακτηρίζονται από μικρή καμπυλότητα, κατά μήκος ενός οδικού άξονα μπορούν να είναι περιβαλλοντικά επωφελείς καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Μάλιστα, αποτελέσματα μελετών που έχουν γίνει δείχνουν ότι ένα όχημα που κινείται σε κατακόρυφη καμπύλη, μικρής καμπυλότητας, καταναλώνει 10% λιγότερο καύσιμο και παράγει 10% μικρότερη ποσότητα CO₂ από ότι στην ευθυγραμμία. Επίσης, όσον αφορά στις εκπομπές HC, NOx και CO, σημειώθηκαν μειώσεις που έφτασαν σε ποσοστό 31% για οχήματα που κινούνταν σε καμπύλη (Ko et al. 2011, Ko et al. 2012).

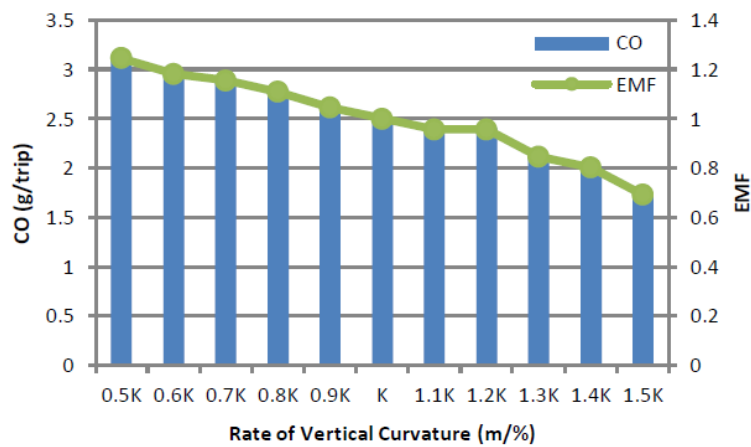
Στα επόμενα διαγράμματα (διαγράμματα 38 έως 42) παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα μελέτης που εξέτασε δεδομένα της πολιτείας της Ουάσιγκτον για το έτος 2011, σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂, HC, NOx και CO για οχήματα που κινούνταν σε κατακόρυφη καμπύλη, σε συνάρτηση με το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας καθώς και με τη μεταβολή των περιβαλλοντικών παραγόντων (EMF) που αντιπροσωπεύουν τυχόν τροποποιήσεις στις εκπομπές ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου που επέφεραν οι αλλαγές του ρυθμού καμπυλότητας. Τα αποτελέσματα δείχνουν μείωση τόσο στα ποσοστά κατανάλωσης καυσίμου όσο και στις εκπομπές αέριων ρύπων. Αναφέρεται ότι στα διαγράμματα που παρατίθενται παρακάτω ο συντελεστής K δηλώνει το ρυθμό καμπυλότητας μιας κατακόρυφης καμπύλης και μετριέται σε m/%.



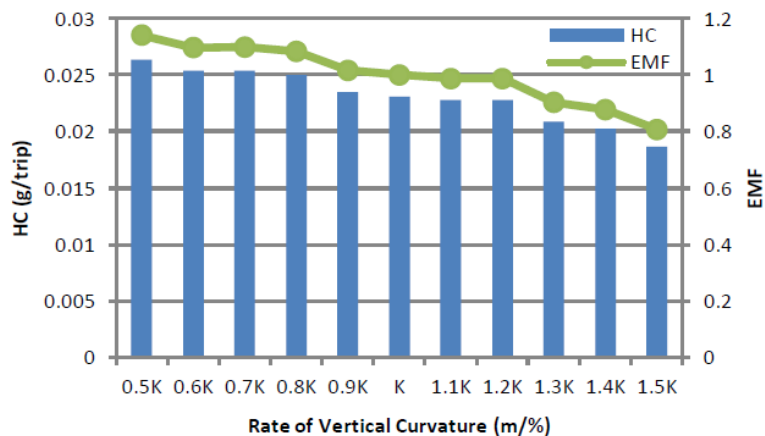
Διάγραμμα 38: Κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας κατακόρυφης καμπύλης
Πηγή: Ko et al. 2011



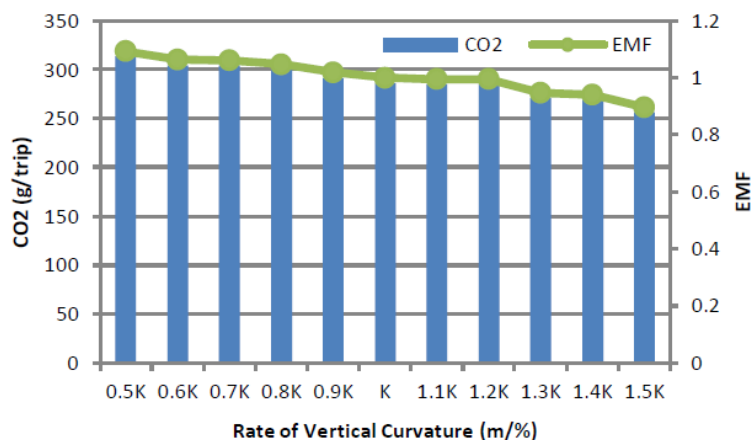
Διάγραμμα 39: Εκπομπές NO_x σε συνάρτηση με το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας κατακόρυφης καμπύλης
Πηγή: Ko et al. 2011



Διάγραμμα 40: Εκπομπές CO σε συνάρτηση με το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας κατακόρυφης καμπύλης
Πηγή: Ko et al. 2011



Διάγραμμα 41: Εκπομπές HC σε συνάρτηση με το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας κατακόρυφης καμπύλης
Πηγή: Ko et al. 2011



Διάγραμμα 42: Εκπομπές CO₂ σε συνάρτηση με το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας κατακόρυφης καμπύλης
Πηγή: Ko et al. 2011

3.4.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Στο σημείο αυτό αναφέρονται οι επιπτώσεις της γεωμετρίας της οδού στην ανθρώπινη υγεία μέσω της εκπομπής αέριων ρύπων. Οι σημαντικότερες πηγές επιβάρυνσης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος μιας περιοχής αποτελούν τα οχήματα μέσω της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων ενώ δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί το οδόστρωμα το οποίο, στην περίπτωση που έχει επενδυθεί με ασφαλτο, αποτελεί βασικό παράγοντα ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω των σωματιδίων που προέρχονται από την τριβή της επιφάνειάς του και των ελαστικών των οχημάτων. Η κλίση του οδοστρώματος, το είδος της οδού το οποίο αφορά στο αν είναι ασφαλτοστρωμένη ή όχι, η συχνότητα των πινακίδων στοπ καθώς και άλλων προειδοποιητικών πινακίδων, ο έλεγχος της οδού μέσω σηματοδότησης και η ύπαρξη κατακόρυφων καμπυλών κατά μήκος ενός οδικού άξονα αποτελούν σημαντικά στοιχεία του, που επηρεάζουν την εκπομπή ρύπων και κατ' επέκταση το ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας περιοχής. Η έκταση και το μέγεθος

επιρροής της ατμόσφαιρας λόγω των παραπάνω γεωμετρικών χαρακτηριστικών θα αναλυθεί στο κεφάλαιο του φυσικού περιβάλλοντος ενώ στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου θα πραγματοποιηθεί αναφορά στο μέγεθος επιρροής που ασκείται στο ανθρώπινο δυναμικό μιας περιοχής.

Αρχικά, πραγματοποιείται σύντομη αναφορά στους ρύπους που εκπέμπονται στη συντριπτική τους πλειοψηφία από τα οχήματα που διατρέχουν μια οδό και των οποίων η εκπομπή επηρεάζεται σημαντικά από τη γεωμετρία της. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία όπως αυτές σκιαγραφούνται από πληθώρα μελετών που έχουν ασχοληθεί με το ζήτημα σε παγκόσμιο επίπεδο (Τσώχος 1997, Laden et al. 2006, Στεφανόπουλος κ.α. 2009):

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) εκπέμπεται από όλα τα οχήματα, βαρέα και επιβατικά. Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία συνεισφέρει άλλα περίπου 25% (Ζάνης 2008). Τα αυτοκίνητα που διαθέτουν καταλύτες στην εξάτμισή τους έχουν μειώσει σε σημαντικό βαθμό τις εκπομπές CO και το ίδιο συμβαίνει με τους νέους κανονισμούς για τα βαρέα οχήματα. Η εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται όσο αυξάνει η ταχύτητα κίνησης του οχήματος ενώ επηρεάζεται σημαντικά από την κλίση του οδοστρώματος (Θεοφίλης 2002).

- Ολικοί Υδρογονάνθρακες (THC)

Με τον όρο υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζονται χιλιάδες ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο στο μόριο τους. Η πιο επικίνδυνη τοξική πτητική οργανική ένωση στην ατμόσφαιρα είναι το βενζόλιο η οποία αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης. Πηγές βενζολίου είναι τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα διανομής της, καθώς επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο (Ζάνης 2008).

- Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) είναι πρωτογενής ρύπος ενώ το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) είναι κυρίως δευτερογενής ρύπος που προέρχεται από την αντίδραση του NO με το όζον (O₃). Η καύση ορυκτών καυσίμων και τα αυτοκίνητα συμβάλλουν από 50% στις ανθρωπογενείς πηγές του NO. Τα οξείδια του αζώτου αποτελούν έναν βασικό επιβλαβή ρύπο για το περιβάλλον ενώ η εκπομπή αυξάνεται με αύξηση της ταχύτητας κίνησης (Θεοφίλης 2002). Η αντιμετώπιση της εκπομπής από τα οχήματα επιτυγχάνεται με αλλαγή των τεχνικών χαρακτηριστικών τους, και ειδικότερα με την πρόσθεση καταλυτών στις εξατμίσεις (Panis et al.2006).

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αποτελεί ένα από τα λεγόμενα «θερμοκηπικά αέρια» και εκπέμπεται σε μεγάλο βαθμό από τα οχήματα. Το διοξείδιο του άνθρακα έχει χρόνο ζωής περίπου 100 χρόνια στην ατμόσφαιρα και αυτό καθιστά την απομάκρυνση του από την ατμόσφαιρα ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία (Ζάνης 2008).

- Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές προέλευσης του διοξειδίου του θείου είναι τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (Ζάνης 2008).

- Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι κυριότερες πηγές εκπομπής αιωρουμένων σωματιδίων είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες και τα οχήματα (Ζάνης 2008).

- Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος (Pb) είναι μαλακό μέταλλο αργυρόχρουν και ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Ένα ποσοστό της σωματιδιακής σκόνης αποτελείται από σωματίδια μολύβδου. Πηγές μολύβδου μπορεί να είναι τα διάφορα τύπου μεταφορικά μέσα που χρησιμοποιούν μολυβδόχα βενζίνη, εργοστάσια που χρησιμοποιούν μόλυβδο ή ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και χώροι που καίνε απορρίμματα (Ζάνης 2008).

- Αιθάλη

Η αιθάλη, ή με άλλα λόγια η καπνιά που απελευθερώνεται από τις εξατμίσεις των οχημάτων, εκπέμπεται από τα πετρελαιοκίνητα επιβατικά και βαρέα οχήματα. Κύριο αποτέλεσμα της αιθάλης είναι η μείωση της ορατότητας και η εκπομπή της αυξάνεται με αύξηση της ταχύτητας του οχήματος (Θεοφίλης 2002).

Όσον αφορά στις επιπτώσεις που σημειώνονται στην ανθρώπινη υγεία, ο βασικότερος ρύπος που διαπιστώθηκε πως επιβαρύνει τους ζώντες οργανισμούς είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (Panis et al. 2006). Ποικίλοι άλλοι ρύποι όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το βενζόλιο, το διοξείδιο του θείου (SO₂) και ο μόλυβδος (Pb) αποτελούν παράγωγα της καύσης των μηχανών βαρέων οχημάτων, επιβατικών και δικύκλων με ιδιαίτερα επιβαρυντικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία. Μεγάλος αριθμός ερευνών έχει πραγματοποιηθεί με στόχο να διαπιστωθούν τα ποσοστά συγκέντρωσης των εν λόγω ρύπων στην ατμόσφαιρα, καθώς και οι περιοχές των οδών όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση. Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό, πως ο Duan αναφέρεται με τον όρο «μικροπεριβάλλον» σε οποιαδήποτε τοποθεσία έχει παρατηρηθεί υψηλή συγκέντρωση ρύπων (Yu et al. 1996). Για ρύπους όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, που εκπέμπονται απευθείας από τις εξατμίσεις οχημάτων, ένας από τους σημαντικότερους τύπους μικροπεριβάλλοντος είναι το εσωτερικό των οχημάτων όταν αυτά βρίσκονται για πολλή ώρα ακινητοποιημένα σε κατάσταση κυκλοφοριακής αδράνειας (Yu et al. 1996). Στη συνέχεια, πραγματοποιείται σύντομη αναφορά των επιπτώσεων των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα. Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ζαλάδες, πονοκεφάλους και κόπωση. Υγιή άτομα εκτεθειμένα σε ψηλά επίπεδα, μπορεί να υποστούν προσωρινή μείωση της πνευματικής τους διαύγειας καθώς και της όρασης τους (Ζάνης 2008). Στον πίνακα που παρατίθεται παρακάτω (πίνακας 9) φαίνεται το μέγεθος των

επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του CO στην ατμόσφαιρα και το χρόνο έκθεσης σε αυτό.

Συγκέντρωση (ppm)	5	30	200	500	1000	2000
Χρόνος Έκθεσης	20 (min)	8 (h)	2 - 4 (h)	2 - 3 (h)	2 - 3 (h)	1 - 2 (h)
Επιπτώσεις	επιπτώσεις στα αντανακλαστικά	Μείωση νοητικής και οπτικής ικανότητας	Πονοκέφαλος	Πονοκέφαλος, ναυτία, πιθανή καταπληξία	Κώμα	Θάνατος

*Πίνακας 9: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση CO στην ατμόσφαιρα και στο χρόνο έκθεσης
Πηγή: Τσώχος 1997*

- Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα, στους πνεύμονες και στην καρδιά. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι, αποτελούν ομάδες του πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια τόσο πιο επικίνδυνα είναι καθώς αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησής τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα σωματίδια με διάμετρο 0.1-1 μm αποτελούν τους πιο συνήθεις ρύπους των οχημάτων αλλά και της τριβής των ελαστικών τους με την ασφάλτο καθώς και τους πιο επικίνδυνους. Η επικινδυνότητά τους εξαρτάται, επίσης, από τη χημική τους σύσταση ενώ συμβάλλουν σημαντικά και στη μείωση της ορατότητας (Laden et al. 2006, Ζάνης 2008).

- Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιοαγγειακές παθήσεις. Άτομα με χρόνιες καρδιοαγγειακές και πνευμονολογικές παθήσεις καθώς και μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας (Ζάνης 2008).

- Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Με τον όρο οξείδια του αζώτου νοείται το άθροισμα των συγκεντρώσεων μονοξειδίου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO₂) ενώ η μετατροπή του NO σε NO₂ γίνεται αρκετά γρήγορα και πιο συγκεκριμένα σε μερικά λεπτά. Ειδικότερα το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε μικρά παιδιά. Στους ασθματικούς προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή (Laden et al. 2006, Ζάνης 2008).

- Βενζόλιο και Μόλυβδος

Το βενζόλιο σαν αυτούσια ένωση μπορεί να προκαλέσει χρόνιες παθήσεις όπως καρκίνο, ποικίλες διαταραχές του κεντρικού, νευρικού συστήματος, της λειτουργίας του ήπατος και των νεφρών καθώς και ανωμαλίες στην αναπαραγωγή. Όσον αφορά στο μόλυβδο, υψηλά ποσοστά μολύβδου μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την πνευματική ανάπτυξη και δραστηριότητα των ανθρώπων, τη λειτουργία των νεφρών και τη χημεία του αίματος. Τα νεαρά άτομα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας των νεανικών ιστών και οργάνων στο μόλυβδο (Ζάνης 2008).

3.4.2. Ταχύτητα κίνησης και επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον

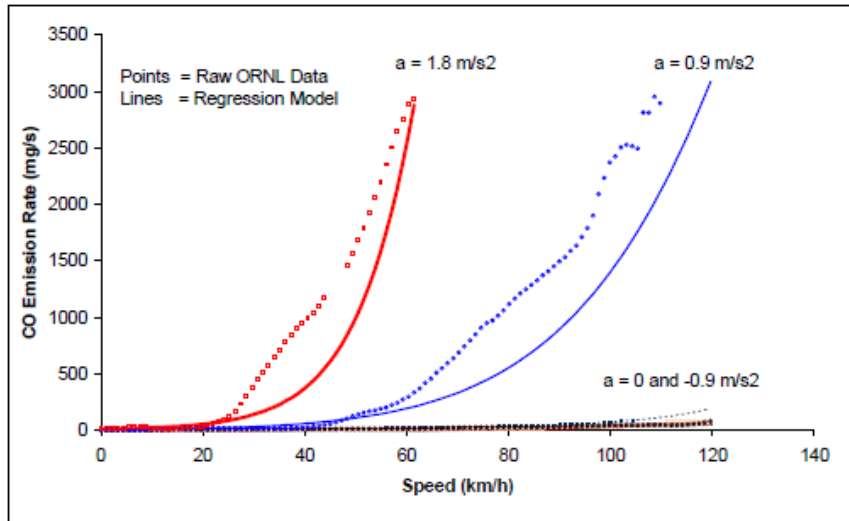
Η υψηλή ταχύτητα των οχημάτων στους οδικούς άξονες, πολύ συχνά έχει ως αποτέλεσμα την καταγραφή ατυχημάτων, υψηλών ποσοστών κατανάλωσης καυσίμων και άκρατης εκπομπής ρυπογόνων παραγόντων (Servin et al. 2006). Ειδικότερα για το φυσικό περιβάλλον που ερευνάται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, πληθώρα ερευνών έχει διεξαχθεί προκειμένου να προσδιοριστεί ο ακριβής βαθμός επιβάρυνσης από την κίνηση των οχημάτων, ενώ παράλληλα στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν ληφθεί μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου. Η παρούσα υποενότητα παρουσιάζει τις επιπτώσεις της μέσης ταχύτητας οδήγησης (πραγματικής ταχύτητας κίνησης) στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας περιοχής σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως.

Στις προηγούμενες υποενότητες περιγράφηκε η έντονη, αρνητική επίδραση των εκπεμπόμενων κυκλοφοριακών ρύπων. Όπως αναφέρθηκε, οι ρύποι που διαπιστώθηκαν επιβλαβείς όχι μόνο για το περιβάλλον αλλά και για την ανθρώπινη υγεία, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι ολικοί υδρογονάνθρακες (THC) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Ιδιαίτερη προσοχή αποδίδεται πλέον και στις ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τις καύσεις των οχημάτων, καθότι θεωρείται το πιο επιβλαβές αέριο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Panis et al. 2006). Επιπλέον, ρύποι που προέρχονται από την κίνηση οχημάτων είναι το βενζόλιο, το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα αιωρούμενα σωματίδια, ο μόλυβδος (Pb) και τέλος η αιθάλη (καπνιά), για τα οποία έχει πραγματοποιηθεί εκτενής αναφορά.

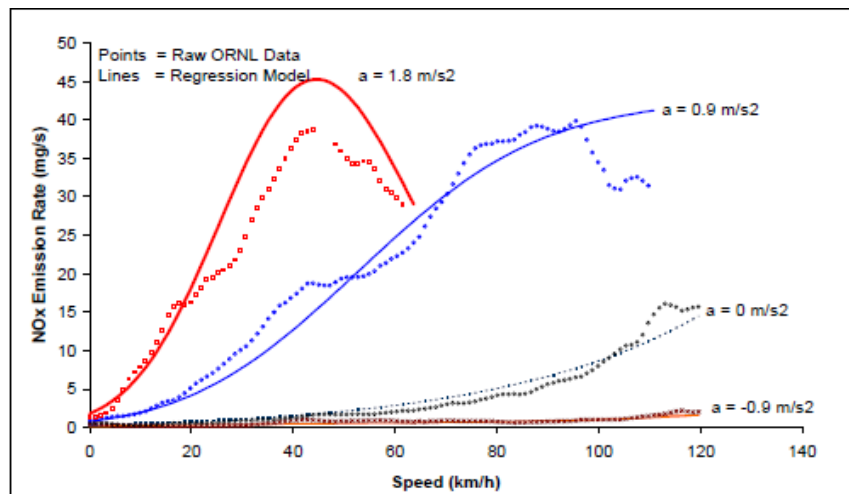
Οι ρύποι αυτοί εκπέμπονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από τα οχήματα και μάλιστα το μέγεθος της εκπομπής δεν αποτελεί συνάρτηση μόνο της ταχύτητας κίνησης (Chan & Nien 1996). Συγκεκριμένα, μεταβολές στην εκπομπή των κυκλοφοριακών ρύπων σημειώνονται με την επιτάχυνση και επιβράδυνση του οχήματος, εξίσου με την ταχύτητά του (Panis et al. 2006). Ποικίλες έρευνες έχουν δείξει πως τα ποσοστά εκπομπής μερικών εκ των βασικότερων αέριων ρύπων, του μονοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του αζώτου, είναι πολύ πιο επιρρεπή στις μεγάλες ταχύτητες συγκριτικά με τις μικρότερες, ειδικά όταν πραγματοποιείται επιτάχυνση του οχήματος, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 43 και 44 (Rakha & Ding 2003).

Η συχνότητα των ακραίων μεταβολών της κίνησης ενός οχήματος, δηλαδή της μετάβασης από την επιτάχυνση στην επιβράδυνση και το αντίστροφο, προκαλούν αύξηση των εκπομπών ρύπων, ενώ όσο πιο απότομη είναι η μεταβολή αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου και εν τέλει, στην απελευθέρωση επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και για υψηλές ταχύτητες, εάν η επιβράδυνση επιτευχθεί ομαλά και σταδιακά μέχρι τη στάση του

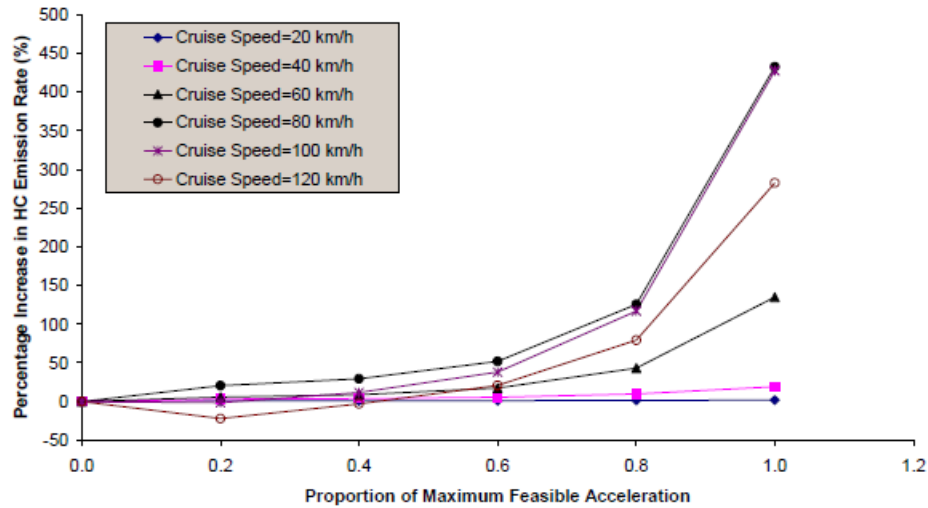
οχήματος, τα ποσοστά εκπομπής εμφανίζονται μειωμένα. Το ίδιο ισχύει και την περίπτωση που πραγματοποιείται ομαλή επιτάχυνση του οχήματος (Rakha & Ding 2003). Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό, πως σε περιπτώσεις απότομης επιτάχυνσης του οχήματος και κυρίως σε υφιστάμενες υψηλές ταχύτητες παρατηρείται δραματική αύξηση της εκπομπής βενζολίου και γενικότερα υδρογονανθράκων, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 45 (Rakha & Ding 2003).



Διάγραμμα 43: Διαφοροποιήσεις εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) συναρτήσει της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του οχήματος
Πηγή: Rakha & Ding 2003



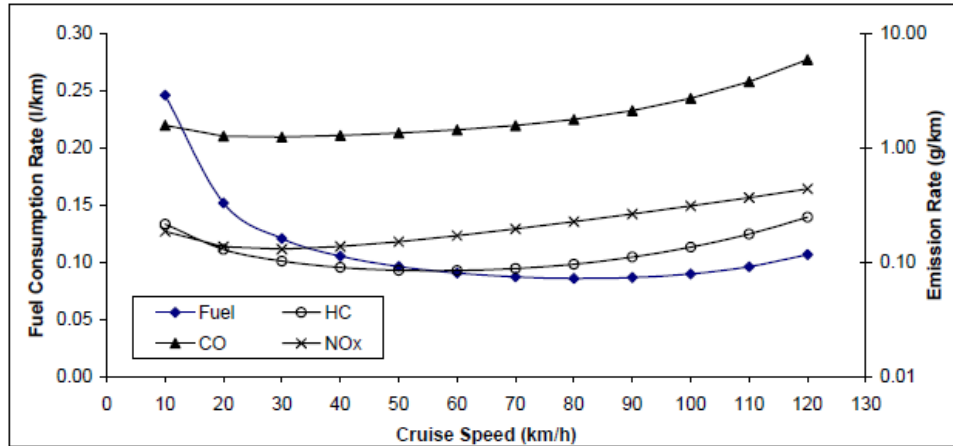
Διάγραμμα 44: Διαφοροποιήσεις εκπομπών οξειδίου του αζώτου (NO_x) συναρτήσει της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του οχήματος.
Πηγή: Rakha & Ding 2003



Διάγραμμα 45: Η ποσοστιαία αύξηση εκπομπής υδρογονανθράκων συναρτήσει της επιτάχυνσης ενός οχήματος
Πηγή: Rakha & Ding 2003

Στο σημείο αυτό κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί η επιρροή των **ορίων ταχύτητας** κατά μήκος ενός οδικού άξονα στην εκπομπή των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, καθίσταται σαφές πως αύξηση της ταχύτητας κίνησης ενός οχήματος οδηγεί σε αυξημένη εκπομπή των κυκλοφοριακών ρύπων. Ο ρόλος των ορίων ταχύτητας στην αντιμετώπιση του φαινομένου της αυξημένης εκπομπής ρύπων κρίνεται σημαντικός και μάλιστα η σωστή διαχείριση των ορίων ταχύτητας σε οδικά δίκτυα ανά τον κόσμο αποτελεί έναν άμεσο τρόπο μείωσης των εκπομπών βλαβερών ρύπων στην ατμόσφαιρα (Journard 1987, Beckx et al. 2011).

Ειδικότερα για τα οξείδια του αζώτου (NO_x), έχει παρατηρηθεί προφανής επίδραση των ορίων ταχύτητας στην εκπομπή τους σε παγκόσμιο επίπεδο (Journard 1987). Επίσης, έχει διαπιστωθεί πως μια ενδεχόμενη αύξηση του ορίου ταχύτητας από τα 90 km/h στα 106 km/h επιφέρει μια κυμαινόμενη αύξηση της εκπομπής των βασικών επιβλαβών ρύπων συγκριτικά με τη μείωση στην κατανάλωση καυσίμου, όπως φαίνεται στο **διάγραμμα 46** που παρατίθεται παρακάτω (Rakha & Ding 2003). Καθίσταται εμφανής η άμεση συσχέτιση των ορίων ταχύτητας με τη διασφάλιση της περιβαλλοντικής ακεραιότητας. Στον στόχο αυτό, βέβαια, κυρίαρχο ρόλο έχει ο ανθρώπινος παράγοντας από τη θέση του χρήστη της οδού. Όπως ήταν αναμενόμενο, έχει αποδειχθεί πως αν το όριο ταχύτητας του εκάστοτε δρόμου λαμβάνεται περισσότερο υπόψη από τους οδηγούς, σημειώνεται δραματική μείωση εκπομπής κυκλοφοριακών ρύπων και ιδιαίτερα οξειδίων του αζώτου σε κλίμακα χώρας (Journard 1987).



Διάγραμμα 46: Διακυμάνσεις στην κατανάλωση καυσίμου και στην εκπομπή ρύπων για διαφορετικά όρια ταχύτητας
Πηγή: Rakha & Ding 2003

Η τήρηση των ορίων ταχύτητας από το χρήστη μιας οδού αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην εκπομπή ρύπων. Η πλειοψηφία των μελετών που έχει πραγματοποιηθεί συμπεραίνει ότι η μέγιστη ταχύτητα κίνησης συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμου και άρα την παραγωγή ρύπων που καθορίζεται από το χρήστη του οχήματος (*Beckx et al. 2011*). Σε αυτή τη βάση, η επιθετική οδήγηση αποτελεί έναν επιπλέον περιβαλλοντικά επιβαρυντικό παράγοντα, καθότι έχει ως αποτέλεσμα τη δραματική κατανάλωση καυσίμου και άρα την άκρατη απελευθέρωση επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα, συγκριτικά με καταστάσεις κανονικής οδήγησης (*Panis et al. 2006*).

Ακόμη, η μελέτη της επιρροής των ρύπων στο περιβάλλον πρέπει να γίνεται στη βάση όχι μόνο της μέγιστης ταχύτητας κίνησης, όπως αυτή υπογραμμίζεται από τα επιτρεπόμενα όρια ταχύτητας σε μεγάλες αστικές και επαρχιακές οδούς, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη άλλα στοιχεία της οδήγησης, όπως για παράδειγμα τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις του οχήματος που ένας οδηγός είναι υποχρεωμένος να κάνει όταν για παράδειγμα βρεθεί σε σηματοδοτούμενο ή μη, κόμβο (*Panis et al. 2006*). Τέτοιες περιπτώσεις είναι εμφανείς σε κάθε οδικό δίκτυο, υπογραμμίζοντας στο σημείο αυτό μία άμεση συσχέτιση της γεωμετρίας της οδού με την ταχύτητα του οχήματος και τελικά μια έμμεση επίδραση του συνόλου των στοιχείων της γεωμετρίας με τη μεταβολή των ποσοστών εκπομπής επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί η εφαρμογή του συστήματος Intelligent Speed Adaptation (ISA) σε οχήματα που συμμετείχαν σε έρευνα σε οδικούς άξονες του Βελγίου (*Panis et al. 2006*). Πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό σύστημα του οχήματος που επιτρέπει τον έλεγχο της μέγιστης ταχύτητας κίνησης. Τη στιγμή που αυτή ξεπεράσει το όριο ταχύτητας του δρόμου, το σύστημα είναι δυνατόν είτε να ρυθμίσει υποχρεωτικά την ταχύτητα του οχήματος στα επιθυμητά επίπεδα, είτε να ειδοποιήσει τον οδηγό για την παράβαση. Η εφαρμογή του συστήματος ISA πραγματικά οδήγησε σε μείωση της ταχύτητας κίνησης και άρα μείωση των εκπομπών ρύπων, γεγονός όμως που αντισταθμίστηκε από τις συνεχείς επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις των οχημάτων στην οδό (*Panis et al. 2006*).

3.5. Μικροκλίμα

Μια από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις της υλοποίησης μιας οδού είναι οι κλιματολογικές αλλαγές που μπορεί να επιφέρει λόγω των εκπομπών των ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμου από τα οχήματα που διασχίζουν την οδό. Οι αλλαγές αυτές στο κλίμα της περιοχής είναι τοπικές αλλά έχουν έντονες επιπτώσεις στην πανίδα και τη χλωρίδα της περιοχής (Coffin 2007). Το είδος μιας οδού, αν είναι ασφαλτοστρωμένη ή όχι, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το μικροκλίμα. Πιο συγκεκριμένα, η ασφαλτος θερμαίνεται γρήγορα από την ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία σε ύψος κοντά στην επιφάνειά της αυξάνεται σημαντικά. Μάλιστα, έρευνες έχουν δείξει ότι η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της ασφάλτου είναι κατά 6.7° C υψηλότερη από την θερμοκρασία του αέρα υπό σκιά (Μπούσμπουρας 2005). Ακόμη, στις οδούς υψηλών ταχυτήτων (αυτοκινητόδρομοι, εθνικές οδοί), η θερμοκρασία αυξάνεται σημαντικά λόγω της αυξημένης εκπομπής αέριων ρύπων και αλλάζουν τα ανώτατα και κατώτατα όρια θερμοκρασίας (Forman & Alexander 1998). Είναι σημαντικό να αναφερθεί το γεγονός πως στα πρανί εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα πραγματοποιείται συσσώρευση κρύου αέρα με συνέπεια μειωμένες θερμοκρασίες στις περιοχές αυτές (Μπούσμπουρας 2005, European Environment Agency 2011).

Μικροκλιματικές αλλαγές σε μια περιοχή μπορούν να προκληθούν και από την κλίση του οδοστρώματος μιας οδού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση της κλίσης του οδοστρώματος οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών των αέριων ρύπων των οχημάτων που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα και αυξάνουν την περιεκτικότητά της σε CO₂, CO, NO_x και άλλους ρύπους. Συνέπεια αυτού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες και αλλαγές μικρής εμβέλειας στο τοπικό κλίμα (Park & Rakha 2005). Επιπλέον, ακόμη ένα στοιχείο της γεωμετρίας της οδού που επηρεάζει το κλίμα μιας περιοχής είναι ο αριθμός των πινακίδων στοπ αλλά και άλλων πινακίδων ρύθμισης της κυκλοφορίας κατά μήκος μιας οδού. Η ύπαρξη αριθμού πινακίδων αυξάνει τις εκπομπές αέριων ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου από τα οχήματα λόγω συχνής επιβράδυνσης και επιτάχυνσης του οχήματος. Συνέπεια αυτού είναι η αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας στην περιοχή και μικρές, κλιματικές αλλαγές (Park & Rakha 2005).

3.6. Ακουστικό περιβάλλον

Θόρυβος είναι κάθε ανεπιθύμητος ήχος. Αυτός ο ορισμός είναι κοινωνικός και διαφέρει από τον ήχο χωρίς τονικότητα που είναι ο φυσικός ορισμός του θορύβου. Ακόμη και μια μελωδία που δεν επιτρέπει τον ύπνο είναι όχληση ή αλλιώς θόρυβος (Τσινίκας 2002). Τα βασικά χαρακτηριστικά του θορύβου, είναι η στάθμη του και η συχνότητα. Οι σημαντικότερες πηγές θορύβου που ευθύνονται για την υποβάθμιση του ακουστικού περιβάλλοντος είναι η κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς κάθε είδους, οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις καθώς και οι εγκαταστάσεις αναψυχής. Ωστόσο, η κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς αποτελεί σε ποσοστό 55% αιτία της ηχορρύπανσης σε μια περιοχή (Τσώχος 1997, Βογιατζής κ.α. 2009).

Η υλοποίηση ενός οδικού άξονα καθώς και η κατασκευή επιχωμάτων και ορυγμάτων εκατέρωθεν αυτού, επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στο ακουστικό περιβάλλον μιας περιοχής μέσω της ηχορρύπανσής της λόγω των κατασκευαστικών διαδικασιών. Κατά την κατασκευαστική φάση του οδικού άξονα η ηχορρύπανση προκαλείται από το εργοτάξιο και τις απαιτούμενες εργασίες διάνοιξης, ενώ οι επιπτώσεις

στο ακουστικό περιβάλλον στη φάση αυτή κρίνονται προσωρινές. Κατά τη λειτουργική φάση ενός οδικού άξονα η ηχορρύπανση προκαλείται από τους κυκλοφοριακούς φόρτους και τις ταχύτητες που αναπτύσσονται (Τσώχος 1997).

Αναφέρεται στην ενότητα αυτή και το είδος της οδού το οποίο σχετίζεται με την ηχορρύπανση μιας περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, οι αυτοκινητόδρομοι και οι εθνικές οδοί είναι δρόμοι υψηλών ταχυτήτων και αυξημένων κυκλοφοριακών φόρτων. Συνεπώς, ο θόρυβος που προκαλείται σε αυτές είναι μεγαλύτερης έντασης από εκείνον μιας τοπικής, επαρχιακής οδού ή ενός δασικού άξονα. Επιπλέον, το είδος μιας οδού σχετίζεται και με την επένδυση του οδοστρώματός της. Οι ασφαλτοστρωμένες οδοί, όπως έχει αναφερθεί και σε άλλη υποενότητα, ευνοεί την ανάπτυξη ταχυτήτων σε σχέση με άλλους τύπους οδού, όπως οι δασικοί που είναι σε πολλές περιπτώσεις χωματόδρομοι, με αποτέλεσμα να σημειώνονται υψηλά ποσοστά ηχορρύπανσης σε μια περιοχή (Εγνατία οδός Α.Ε. 2009).

Η κλίση μιας οδού μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα ποσοστά ηχορρύπανσης καθώς όσο η κλίση αυξάνεται, τόσο ο κινητήρας των οχημάτων λειτουργεί πιο έντονα ώστε να κινηθεί το όχημα στην ανωφέρεια, με αποτέλεσμα ο θόρυβος που παράγεται να διαταράσσει την οικολογική ισορροπία της περιοχής. Τα οχήματα που κινούνται σε τμήματα ενός οδικού άξονα που χαρακτηρίζονται από κλίσεις παράγουν μεγαλύτερα ποσοστά θορύβου από εκείνα που κινούνται σε επίπεδα τμήματα λόγω της εντονότερης τριβής των ελαστικών με το οδόστρωμα αλλά και στην περίπτωση της κατωφέρειας, λόγω πιθανού φρεναρίσματος.

3.6.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Όσον αφορά στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αναφέρεται ότι ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης της ποιότητας του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο επηρεάζοντας δυσμενώς τόσο την ποιότητα ζωής των ανθρώπων μιας περιοχής όσο και την υγεία τους. Στο κεφάλαιο όπου αναλύθηκαν οι επιπτώσεις της γεωμετρίας μιας οδού στο φυσικό περιβάλλον, πραγματοποιήθηκε εκτενής αναφορά στα γεωμετρικά εκείνα χαρακτηριστικά ενός οδικού άξονα που επηρεάζουν το ακουστικό περιβάλλον μιας περιοχής. Υπενθυμίζεται ότι οι κατασκευαστικές διαδικασίες που απαιτούνται για την υλοποίηση ενός οδικού άξονα συμβάλλουν προσωρινά αλλά έντονα στην ηχορρύπανση της περιοχής ενώ μόνιμη πηγή θορύβου κατά μήκος μιας οδού αποτελεί η κυκλοφορία των οχημάτων. Ο θόρυβος, ωστόσο, που προκαλείται από τα οχήματα ενισχύεται σε μεγάλο βαθμό από την κλίση του οδοστρώματος και το είδος της οδού (ασφαλτοστρωμένη οδός, υψηλών ταχυτήτων) με τρόπο που έχει μελετηθεί διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Τα υψηλά επίπεδα θορύβου προκαλούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα εξαιτίας των επιπτώσεών τους στη ζωή και στην υγεία των ανθρώπων. Η πιθανότητα και μόνο ότι ο θόρυβος έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων ήταν και εξακολουθεί να είναι ένα πολύ ισχυρό κίνητρο για έρευνα και το σημαντικότερο επιχείρημα για τη λήψη μέτρων μείωσης θορύβου (Nelson 1997).

Η κυκλοφορία των οχημάτων κατά μήκος ενός οδικού άξονα αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή θορύβου ο οποίος γίνεται εντονότερος όταν συνδυάζεται με διάφορα γεωμετρικά στοιχεία της οδού, όπως με την κλίση του οδοστρώματος. Ο θόρυβος που προκαλεί ένα όχημα οφείλεται γενικώς (Τσώχος 1997):

- στον κινητήρα, συμπεριλαμβανομένων και όλων των επιμέρους τμημάτων της μηχανής
- στην παλμική κίνηση του αέρα, στην περίπτωση κινούμενου οχήματος, που εξαρτάται και από την ταχύτητα κίνησης
- στην τριβή ελαστικών – οδοστρώματος που οφείλεται επίσης στην κίνηση του αέρα

Μέσω πολλών ερευνών σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν γίνει προσπάθειες δημιουργίας μοντέλων πρόβλεψης του θορύβου, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τον κυκλοφοριακό θόρυβο μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: τους κυκλοφοριακούς, ατμοσφαιρικούς και όσους αφορούν τη γεωμετρία της οδού. Στους κυκλοφοριακούς παράγοντες περιλαμβάνονται ο κυκλοφοριακός φόρτος, η σύνθεση της κυκλοφορίας, η ταχύτητα και η κατανομή της κυκλοφορίας. Στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου και τέλος στη γεωμετρία της οδού περιλαμβάνονται η κλίση της οδού, το είδος της επιφάνειας του οδοστρώματος και το αν η οδός βρίσκεται σε όρυγμα ή επίχωμα (*Τζώρτζη & Μαρινάκη 2004*).

Οι Barry και Reagan (1978) αναφέρουν ότι ο κυκλοφοριακός θόρυβος των περιφερειακών αρτηριών δημιουργεί προβλήματα στις περιβαλλόμενες περιοχές, ειδικά στην περίπτωση υψηλής κυκλοφοριακής ροής και υψηλών ταχυτήτων. Πολλές χώρες έχουν αναπτύξει μοντέλα κυκλοφοριακού θορύβου, βασισμένα σε διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες και διαφορετικά χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής. Ενδεικτικά αναφέρεται η γερμανική μέθοδος της πρόβλεψης του θορύβου που υπολογίζει το επίπεδο της εκπομπής θορύβου σε απόσταση από το μέσο της πλησιέστερης λωρίδας κυκλοφορίας σε συνάρτηση με την ταχύτητα (*Τσώχος 1997*).

Επιπλέον, υπάρχει η ιαπωνική μέθοδος με εξισώσεις για τον υπολογισμό του θορύβου παρόμοιες με της γερμανικής μεθόδου αλλά με διαφορετικούς συντελεστές και ανάλογο νομογράφημα, η αμερικανική μέθοδος που υπολογίζει το επίπεδο εκπομπής θορύβου για διαφορετικούς τύπους οχημάτων καθώς και η καναδική μέθοδος που, όπως και η αμερικανική, αποτελείται από εξισώσεις που υπολογίζουν τις εκπομπές θορύβου για διάφορους τύπους οχημάτων. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί το γεγονός πως οι σύγχρονες αμερικανικές μετρήσεις εκπομπών θορύβου αφορούν στο μέσο επίπεδο εκπομπής ενέργειας και όχι στο επίπεδο του θορύβου (*Τσώχος 1997, Τζώρτζη & Μαρινάκη 2004*).

Οι επιπτώσεις του θορύβου στην ανθρώπινη υγεία είναι σημαντικές και μεγάλος αριθμός μελετών, τα τελευταία χρόνια, έχει επικεντρωθεί στον εντοπισμό του μεγέθους τους και μάλιστα, η συντριπτική τους πλειοψηφία συγκλίνει στο συμπέρασμα ότι ο θόρυβος αποτελεί παράμετρο σωματικής και ψυχικής υγείας (*Τζώρτζη & Μαρινάκη 2004, Βογιατζής κ.α. 2009*). Οι παράγοντες που καθορίζουν το βαθμό επικινδυνότητας ενός θορύβου είναι η έντασή του, η περιοδικότητά του, η συχνότητά του και η διάρκειά του. Έρευνες έχουν δείξει ότι τα επίπεδα θορύβου που προέρχονται από τους κυκλοφοριακούς φόρτους μιας οδού μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές, ακουστικές βλάβες, ψυχολογικές διαταραχές (τέντωμα μυών, υπέρταση, άγχος), διαταραχές στον ύπνο, μείωση της παραγωγικότητας του ανθρώπου, βλάβες σε εγγείους ενώ αυξάνουν σημαντικά τις πιθανότητες τροχαίων ατυχημάτων (*Βογιατζής κ.α. 2009*).

Όσον αφορά στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, έρευνες έχουν δείξει ότι μακροχρόνια έκθεση σε επίπεδα θορύβου που προέρχονται από τους κυκλοφοριακούς φόρτους ενός οδικού άξονα μπορεί να οδηγήσει σε νοσηλεία στο νοσοκομείο έως ένα μήνα ενώ αυξάνονται σημαντικά οι πιθανότητες για έμφραγμα του μυοκαρδίου. Επιπλέον, έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε χώρες της ευρωπαϊκής ηπείρου, έχουν δείξει ότι τα ποσοστά εισαγωγής σε νοσοκομείο λόγω στηθάγχης και υπερέντασης που

προκαλούνται από το θόρυβο είναι αρκετά υψηλά ενώ σημειώνεται σημαντική μείωση της παραγωγικότητας του ανθρώπινου δυναμικού λόγω έκθεσης σε υψηλά επίπεδα θορύβου, όπως είναι αυτά που προέρχονται από τις κυκλοφοριακές συνθήκες μιας οδού (Τζώρτζη & Μαρινάκη 2004).

3.7. Ύδατα – Υδρολογία

Από την κατασκευή ενός οδικού άξονα αλλά και την ανάπτυξη των οδικών δικτύων προκαλούνται σημαντικές αλλαγές στην υδρολογική δυναμική μιας περιοχής που συνοψίζονται σε μεταβολές στην πορεία της κίνησης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της, σε σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα και ποσότητά τους, σε μεταβολές του ρυθμού απορρόφησης των επιφανειακών υδάτων και των οδών αποστράγγισης καθώς και του ρυθμού και της ποσότητας έκπλυσης του εδάφους (Μπρόφας 1987, Τσώχος 1997, Μανωλιάδης 2002, Saunders et al. 2002, Βαβίζος & Μερτζάνης 2003).

Η διάνοιξη μιας οδού μπορεί να τροποποιήσει σε σημαντικό βαθμό την επιφανειακή ροή των υδάτων της περιοχής, όπου πραγματοποιείται το κατασκευαστικό έργο, με συνέπεια την αλλαγή της υδρολογικής δυναμικής τόσο των επιφανειακών όσο και υπόγειων υδάτων και σε πολλές περιπτώσεις την τροποποίηση ή ακόμη και την εξάλειψη του υδροφόρου ορίζοντα (Τσώχος 1997, Forman et al. 1997, Jones et al. 2000, Βαβίζος & Μερτζάνης 2003).

Επιπλέον, οι εκτεταμένες κλίμακας χωματουργικές εργασίες, που απαιτεί η υλοποίηση μιας οδού, οδηγούν στην απόθεση όγκου χωματισμών στις ροές των υδάτων μιας περιοχής οι οποίοι με τη μορφή ιζημάτων (όγκοι αδρανών, χωματισμοί κ.λ.π.) εμποδίζουν σημαντικά την ελεύθερη ροή και κίνηση των υδάτων, με αποτέλεσμα τόσο σημαντικές μεταβολές στη ροή τους όσο και σε πολλές περιπτώσεις στην εξάλειψη πολλών από αυτά, όπως και του υδροφόρου ορίζοντα μιας περιοχής (O'Loughlin 1989, Jones et al. 2000). Επακόλουθη συνέπεια αυτού αποτελεί ο σημαντικός έκτασης τραυματισμός της βλάστησης σε μεγάλη έκταση εκατέρωθεν του οδικού άξονα, καθώς και η μείωση των ζωικών πληθυσμών λόγω εξάντλησης μέρους των υδάτων της περιοχής (Forman και Alexander 1998).

Το είδος της οδού επηρεάζει τα ύδατα μιας περιοχής μέσω του κυκλοφοριακού φόρτου που εξυπηρετεί αλλά και της ασφαλικής της επένδυσης. Πιο συγκεκριμένα, αν πρόκειται για αυτοκινητόδρομο ή άλλου είδους οδικό άξονα που εξυπηρετεί υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους, οι ρύποι που εκπέμπονται σε συνδυασμό με τις εξατμίσεις αλλά και τις αποθέσεις ενεργών συστατικών στη ροή των υδάτων οδηγούν σε ευτροφισμό με σημαντικές συνέπειες στη βιωσιμότητα των υδάτων και κατ' επέκταση στην επιβίωση τόσο των θαλάσσιων οργανισμών όσο και των άλλων ζωικών ειδών των οποίων η επιβίωση εξαρτάται από τα ύδατα αυτά (εικόνα 23) (Forman & Alexander 1998, European Environment Agency 2011). Ακόμη, μέσω των υδάτων της βροχής οι ρύποι της ασφάλτου μεταφέρονται στη ροή των υδάτων της περιοχής με καταστροφικές συνέπειες για τη χλωρίδα και την πανίδα της οποίας η επιβίωση εξαρτάται από τα ύδατα αυτά. Η ρύπανση των υδάτων μέσω των σωματιδίων που εκπέμπονται από τα οχήματα αλλά και των σωματιδίων της ασφάλτου είναι σημαντικού μεγέθους επιπτώσεις στα ύδατα μιας περιοχής επηρεάζοντας όχι μόνο τη χλωρίδα και την πανίδα μιας περιοχής αλλά και το ανθρώπινο δυναμικό της (Dunne & Leopold 1978, Forman & Alexander 1998).

Επιπλέον, οι οδικοί άξονες των οποίων η επιφάνεια του οδοστρώματος είναι ασφαλτοστρωμένη, συμβάλλουν στην ταχύτερη απομάκρυνση των νερών της βροχής, γεγονός που φορτίζει σημαντικά την

ένταση της ροής των υδάτων μιας περιοχής διαβρώνοντας σημαντικά τα υπάρχοντα κανάλια και αυξάνοντας τις πιθανότητες υπερχείλισής τους (Dunne & Leopold 1978, Coffin 2007). Μάλιστα, η συμπύκνωση και αδιαβροχοποίηση του οδοστρώματος μιας οδού με ασφαλτοτάπητα, υποχρεώνει τα επιφανειακά απορρέοντα ύδατα και ιδιαίτερα της υδροστρωματορροής, να ακολουθήσουν την κλίση των αποστραγγιστικών "οχετών ομβρίων" και να εγκαταλείψουν τη φυσική τους ανάπτυξη, που είχε τη γενική κατεύθυνση που ακολουθεί η μορφή του ανάγλυφου (Ζαφειριάδης & Τζώρτζη 2005).



Εικόνα 23: Τμήμα οδικού άξονα κοντά σε λίμνη, κίνδυνος μόλυνσης υδάτων
Πηγή: http://www.ehdwalls.com/1280x1024/nature/seacoast_highway_1280x1024/

Το πλάτος της λωρίδας καθώς και η κλίση του οδοστρώματος αποτελούν σημαντικά στοιχεία της γεωμετρίας μιας οδού που επηρεάζουν τα ύδατα μιας περιοχής λόγω των εκτεταμένων χωματουργικών εργασιών που απαιτεί η κατασκευή τους. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του πλάτους της λωρίδας μιας οδού, απαιτεί την εκσκαφή μεγαλύτερου τμήματος εδάφους με αποτέλεσμα να επηρεάζεται μεγαλύτερη έκταση μιας περιοχής και συνεπώς τα ύδατά της. Επιπλέον, οι εναπομένοντες χωματισμοί με τη μορφή ιζημάτων δυσχεραίνουν τη ροή των υδάτων της περιοχής μεταβάλλοντας την αλατότητά τους (Forman & Alexander 1998).

Παρόμοιες επιπτώσεις προκαλεί και η κλίση του οδοστρώματος. Μεγάλες κλίσεις απαιτούν μεγαλύτερης έκτασης χωματουργικές εργασίες οι οποίες επιφέρουν μεταβολές στην υδρολογική ροή των υδάτων μιας περιοχής (Jones et al. 2000). Ακόμα και κατά τη φάση λειτουργίας της οδού, όμως, οι κλίσεις του οδοστρώματος επηρεάζουν τα ύδατα της περιοχής. Λόγω των κλίσεων, τα νερά της βροχής απομακρύνονται γρήγορα από το οδόστρωμα φορτίζοντας τη ροή των επιφανειακών αλλά και υπόγειων υδάτων αυξάνοντας σημαντικά τον όγκο τους (Coffin 2007, Βαλερά 2009). Αυτό σε πολλές περιπτώσεις έχει ως αποτέλεσμα την υπερχείλιση ορισμένων υδατικών ροών της περιοχής και την τοπική καταστροφή της βλάστησης, σημαντικού μεγέθους επίπτωση που αναφέρθηκε και στο είδος της οδού (Dunne & Leopold 1978, Jones 2000, Coffin 2007). Συνεπώς, οι μεγάλοι μεγέθους εκσκαφές, η τεχνητή διαμόρφωση κατακρύφρων κλίσεων και η απογύμνωση του εδάφους από τη βλάστηση, σε συνδυασμό με την κατασκευή του οδοστρώματος με νέες κλίσεις, σε σχέση με το προϋπάρχον ανάγλυφο, προκαλούν, στις περισσότερες περιπτώσεις, μεταβολές στην κατεύθυνση κίνησης και στις φυσιολογικές συνθήκες ροής των επιφανειακών υδάτων (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003).

Ωστόσο, οι πιο έντονες μεταβολές στους υδατικούς πόρους, που εντοπίζονται στις περιοχές διάνοιξης ενός νέου οδικού άξονα, αποδίδονται κυρίως στα υψηλά επιχώματα, στα ορύγματα και τις εκσκαφές, τα οποία διαμορφώνονται κατά θέσεις, εγκάρσια στις μορφολογικές κλίσεις και στην κατεύθυνση ροής των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και σε γραμμική ανάπτυξη, σύμφωνα με τον γεωμετρικό σχεδιασμό του οδικού άξονα (Findlay & Bourdages 2000). Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό, πως στα ευμεγέθη εκχώματα (>10 m), που διαμορφώνονται κατά τη χάραξη ενός οδικού άξονα ή κατά την επέκταση ενός υπάρχοντος, αποδίδονται ισχυρού μεγέθους μεταβολές, που προσδιορίζονται από την ταπείνωση της στάθμης της υπόγειας υδροφορίας και του υδροφόρου ορίζοντα και έχουν ως αποτέλεσμα την ανάβλυση-εκφόρτιση των υπόγειων υδάτων στα τεχνητά διαμορφωμένα πρηνή και την αλλαγή πορείας των υπόγειων ροών. Επιπλέον, φορτίζουν τα ύδατα με σωματίδια που συμβάλλουν στην ταχεία ρύπανσή τους (Dunne & Leopold 1978).

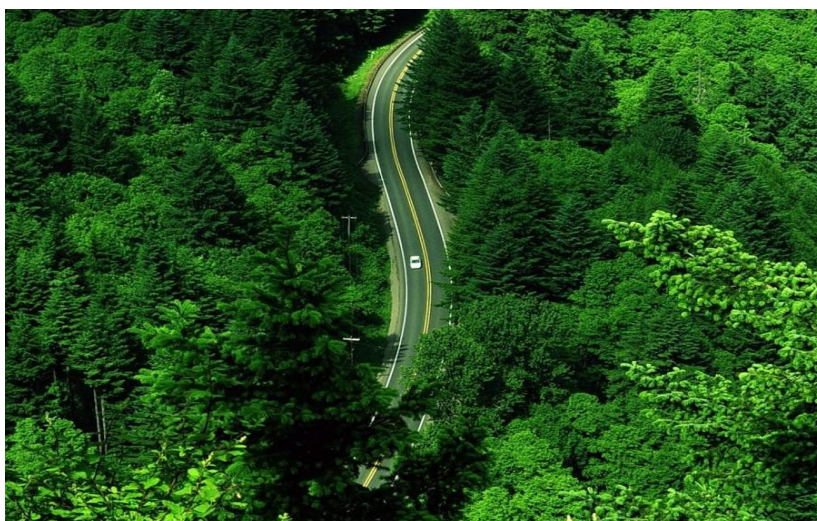
Επιπλέον, ενδεχόμενες καταπτώσεις χαλαρού υλικού λόγω αστάθειας των επιχωμάτων, τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη φάση λειτουργίας ενός οδικού άξονα μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις φυσικές οδούς απορροής των νερών της βροχής (Εσκίολου 2011). Σημαντικά στοιχεία, που χαρακτηρίζουν το μέγεθος της μεταβολής των υδάτων μιας περιοχής, αποτελούν το μέγεθος κατάληψης του εδάφους, το μέγεθος αναδιαμόρφωσης του ανάγλυφου που προκύπτει από την παρεμβολή του τεχνικού έργου, η θέση του ως προς την ανάπτυξη των υδρολογικών - υδρογεωλογικών διεργασιών, ο βαθμός απόληψης ή εμπλουτισμού υδάτων από και προς τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους καθώς και η κατάληψη ή η πιθανότητα κινδύνου καταστροφής ιδιαίτερων υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών (αναβλύσεων πηγών, κλπ) (Τσώχος 1997, Βαβίζος & Μερτζάνης 2003).

Για την αξιολόγηση-βαθμονόμηση του μεγέθους των μεταβολών στους υδατικούς πόρους, ως κριτήριο βάσης λαμβάνονται, συνήθως, οι μεταβολές στις παροχές των υδατορεμάτων. Η κατάταξη ανά κατηγορία μεταβολής που προκύπτουν μετά την χάραξη ενός νέου οδικού άξονα, πέραν της κατηγορίας των αμελητέων μεταβολών, η οποία αφορά πολύ περιορισμένης έκτασης μεταβολές, είναι (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003, Μερτζάνης & Παπαδόπουλος 2004):

1. ασθενείς, όταν οι μεταβολές στις παροχές εμφανίζονται περιστασιακά ή σε έκτακτα περιστατικά ή αν η έντασή τους διαρκεί κατ'άνωτερο, ένα υδρολογικό έτος, με την προϋπόθεση ότι η μεταβολή της παροχής, δεν επηρεάζει τη δυνατότητα διατήρησης και ανανέωσης των υδατικών πόρων και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής
2. μέτριες, για μεταβολή της παροχής του υδατορέματος, σε διάρκεια κατ'άνωτερο, ένα υδρολογικό έτος και σε μέγεθος, το οποίο υπερβαίνει τις μέσες μέγιστες ή ελάχιστες μηνιαίες τιμές ημερήσιας παροχής 40ετίας και
3. ισχυρές, για μεταβολή της παροχής του υδατορέματος, σε υπερετήσια βάση και σε μέγεθος, το οποίο υπερβαίνει τις μέσες μέγιστες ή ελάχιστες μηνιαίες τιμές ημερήσιας παροχής 40ετίας

3.8. Χλωρίδα

Το οικολογικό περιβάλλον μιας περιοχής αποτελεί μια πολύπλοκη σύνθεση φυτών και ζώων η διατάραξη της ισορροπίας του οποίου από την κατασκευή ενός οδικού άξονα, επιφέρει καταστρεπτικές και μόνιμες επιπτώσεις (Τσώχος 1997). Το οικολογικό περιβάλλον περιλαμβάνει μεγάλης ποικιλίας οικοσυστήματα, ορεινά, δασικού τύπου και μορφής υγροτόπου (λίμνες, έλη κ.λ.π.) (εικόνα 24) τα οποία επηρεάζονται ποικιλοτρόπως από έναν οδικό άξονα και πιο συγκεκριμένα από τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Καταρχάς, όσον αφορά στην υλοποίηση μιας οδού, οι επιπτώσεις που εντοπίζονται στη χλωρίδα μιας περιοχής είναι έντονες και πολλές φορές μη αναστρέψιμες. Πιο συγκεκριμένα, υπεισέρχονται μεταβολές τόσο στη χλωρίδα και στην πανίδα όσο και στα φυσικά οικοσυστήματα με σημαντικότερη τη συρρίκνωση δασών, δασικών εκτάσεων και βοσκότοπων, λόγω της δημιουργίας επιμήκους ζώνης, από την οποία απομακρύνεται η βλάστηση (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003). Σε περιοχές διάνοιξης μιας οδού, η βλάστηση είναι σχετικά ευπαθής και η διάνοιξη της οδού αναπόφευκτα την καταστρέφει. Η απώλεια – καταστροφή της βλάστησης λόγω της κατασκευής δρόμων προκαλεί ποικίλα προβλήματα τα οποία συνοψίζονται στην απώλεια αισθητικής και ομορφιάς ενός τοπίου, στην απώλεια των πόρων διαβίωσης (π.χ. βοσκή), στην απώλεια των οικοτόπων με πολλές επακόλουθες επιπτώσεις στην πανίδα μιας περιοχής, στη διάβρωση του εδάφους λόγω απώλειας της προστατευτικής εδαφοκάλυψης, καθώς και στην επιταχυνόμενη απορροή των βροχοπτώσεων που οδηγεί στην απόπλυση των εδαφών και στη δημιουργία επιφανειακής διάβρωσης (Εσκίογλου 2011).



Εικόνα 24: Οδικός άξονας που διατρέχει περιοχή πυκνής βλάστησης
Πηγή: <http://www.languard.co.uk/highways-vegetation-management/grass-growth-regulation/>

Επιπλέον, σε περιοχές διάνοιξης ενός οδικού άξονα, σημειώνεται άμεση απώλεια βιοτόπων και μεγάλης έκτασης καταστροφή της χλωρίδας λόγω εκχέρσωσης εδαφικών εκτάσεων η οποία είναι ορατή ήδη από τα πρώτα στάδια κατασκευής της οδού, όπως φαίνεται στην εικόνα 25. Μάλιστα, οι επιπτώσεις στη χλωρίδα μιας περιοχής δεν περιορίζονται μόνο στο εγγύτερο περιβάλλον μιας οδού αλλά εκτείνεται κάθετα σε μεγάλη απόσταση εκατέρωθεν των οριογραμμών της (Bennett 1991, Forman 1995, Forman & Alexander

1998). Ωστόσο, η ένταση των επιπτώσεων είναι σαφώς μεγαλύτερη κοντά στην περιοχή που υλοποιείται η οδός και μελέτες σε δάση έχουν δείξει ότι η πυκνότητα των πληθυσμών δασικών ειδών είναι μικρότερη κατά μήκος των δρόμων απ' ό,τι στις περιοχές μακριά από αυτούς (Reinjen et al. 1995). Σε έρευνα, ακόμη, στην Ισπανία αποδείχτηκε ότι οι συστάδες πεύκων κοντά σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας περιείχαν μικρότερη ποικιλία δασικών ειδών από τις απομακρυσμένες συστάδες (Brotans & Herrando, 2001).



Εικόνα 25: Επέμβαση στη βλάστηση από τη διάνοιξη οδικού άξονα,
Πηγή: Εγνατία οδός, Α.Ε.

Επιπλέον, σημαντικό στοιχείο της γεωμετρίας μιας οδού που επηρεάζει τη χλωρίδα μιας περιοχής είναι το **είδος της οδού**. Οι επιπτώσεις στη βλάστηση μιας περιοχής σχετίζονται με το αν η επιφάνεια του οδοστρώματος ενός οδικού άξονα είναι ασφαλτοστρωμένη ή αποτελείται μόνο από στρώσεις εδαφικού υλικού (χώμα) όπως είναι πολλές αγροτικές οδοί. Στην περίπτωση που η επιφάνεια μιας οδού έχει κατασκευαστεί μέσω της απόθεσης αρκετών στρωμάτων ασφαλτικών και άλλων υλικών τότε οι επιπτώσεις στη χλωρίδα είναι σοβαρές (Forman & Deblinger 2000). Η συγκέντρωση καδμίου και άλλων ρύπων, όπως οξειδία του αζώτου (NO_x), αρωματικοί υδρογονάνθρακες κ.α. προκαλούν μεταβολές στην ανάπτυξη και στην παραγωγή των φυτών (Τσώχος 1997). Σε υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν κυρίως την άνοιξη αλλά και τους καλοκαιρινούς μήνες, σωματίδια και ποικίλες ύλες από τις οποίες αποτελείται η ασφαλτος, μεταφέρονται μέσω του αέρα στις εγγύτερες, δασικές εκτάσεις προκαλώντας σημαντικές μεταβολές στην πανίδα και τη χλωρίδα της περιοχής.

Το συστατικό εκείνο του οδοστρώματος το οποίο όμως, έχει παρατηρηθεί ότι επιφέρει μεγάλου μεγέθους επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι το αλάτι το οποίο προκαλεί εκτεταμένες καταστροφές στη βλάστηση, κυρίως σε δάση κωνοφόρων, μολύνει τα αποθέματα του πόσιμου νερού της περιοχής και μειώνει σημαντικά το επίπεδο του pH του εδάφους το οποίο έχει ως συνέπεια την αυξημένη κινητικότητα των βαρέων μετάλλων του (Reck & Kaule 1993, Bauske & Goetz 1993). Ακόμη, πολλά βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία όπως τα Pb, Zn, Cu, Cr, Cd και Al που περιέχονται στα παγολυτικά άλατα, εξαπλώνονται ως αερολύματα και εναποτίθενται σε ζωικούς και φυτικούς ιστούς μειώνοντας σημαντικά την αναπαραγωγή και επιβίωση της χλωρίδας και της πανίδας μιας περιοχής (Scanlon 1987). Σε περιπτώσεις όπου πρόκειται για είδος δρόμου όπου η διάστρωση πραγματοποιείται από ποικίλες στρώσεις χώματος, η σκόνη που δημιουργείται από την κυκλοφορία των οχημάτων εναποτίθεται στη βλάστηση εκατέρωθεν του οδικού άξονα, καταστρέφοντας σημαντικό τμήμα της που αναπτύσσεται εκεί ενώ παράλληλα ταξιδεύει μέσω του αέρα σε μεγάλη απόσταση από το δρόμο έχοντας επιπτώσεις και στη χλωρίδα που αναπτύσσεται βαθύτερα στη γειτονική στο δρόμο δασική περιοχή (Farmer 1991, Spellerberg 1998).

Το πλάτος της λωρίδας μιας οδού καθώς και της ΑΕΑ, της οποίας το πλάτος ποικίλει σε διάφορους οδικούς άξονες, επηρεάζουν το εύρος απαλλοτρίωσης των εδαφικών εκτάσεων και άρα το βαθμό στον οποίο θα πληγεί η χλωρίδα μιας περιοχής. Όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις για μεγαλύτερα πλάτη στις λωρίδες ενός οδικού άξονα, τόσο περισσότερο καταστρέφεται η χλωρίδα στην περιοχή υλοποίησής του καθώς και εκατέρωθεν αυτού. Μάλιστα, εκατέρωθεν των λωρίδων μιας οδού έχει παρατηρηθεί ότι μειώνεται σημαντικά η ποιότητα των γεωργικών προϊόντων, γεγονός που πλήττει σε μεγάλο βαθμό τη γεωργία μιας περιοχής (*European Environment Agency 2011*). Αναφέρεται στο σημείο αυτό και η εκτεταμένη καταστροφή της βλάστησης που προκαλείται από τη δημιουργία επιχωμάτων και ορυγμάτων εκατέρωθεν μιας οδού. Μάλιστα, στις περιοχές των επιχωμάτων και των ορυγμάτων υπάρχει μικρή δυνατότητα επαναφύτευσης και αποκατάστασης της βλάστησης γεγονός που καθιστά τον τραυματισμό της μη αναστρέψιμο (εικόνα 26) (*Εσκίολου 2011*).



Εικόνα 26: Τραυματισμός της βλάστησης λόγω δημιουργίας επιχωμάτων και ορυγμάτων
Πηγή: http://www.asphaltplanet.ca/ON/hwy_401_images/Hwy401_p13_images.htm

3.9. Πανίδα

Οι επιπτώσεις στην πανίδα μιας περιοχής από τη διάνοιξη και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού είναι σημαντικές και στις περισσότερες περιπτώσεις καθοριστικές για τους ζωικούς πληθυσμούς μιας περιοχής. Η σειρά των γεγονότων η οποία συμβάλλει στην αποκοπή των οικοσυστημάτων μιας περιοχής και τα οποία περιγράφουν μια κατάσταση πίεσης. Η πίεση αυτή ασκείται από την ύπαρξη και τη λειτουργία μιας δραστηριότητας στο περιβάλλον μιας περιοχής που σχετίζεται με την επιβίωση των οικοσυστημάτων της ως φορέων διατήρησης του βιολογικού πλούτου τόσο σε επίπεδο χώρας όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο (Καλούδη 2007):

- Η κατασκευή ενός αυτοκινητοδρόμου, το οποίο αποτελεί έργο εθνικής σημασίας και μεγάλης έντασης, συνεπάγεται την απαλλοτρίωση εκτάσεων
- Σε πολλές περιπτώσεις, οι εκτάσεις προς απαλλοτρίωση αφορούν σε φυσικά και ημι-φυσικά συστήματα, με ελάχιστες ή περιορισμένες ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπου εντοπίζονται πληθυσμοί άγριας πανίδας και σημαντική ποικιλότητα χλωριδικών ειδών (δάση, υγροτοπικά συμπλέγματα κ.α.)
- Η απαλλοτρίωση συμβάλλει επακόλουθα στη δημιουργία μιας «νεκρής» ζώνης, κατά μήκος του οδικού άξονα που πρόκειται να υλοποιηθεί, οδηγώντας το σύστημα (το βιότοπο για κάποια είδη πανίδας) σε κατάτμηση
- Η κατάτμηση του βιότοπου ενός είδους επιφέρει: απώλεια ζωτικού χώρου θήρευσης, φωλεασμού και απόκρυψης, και περιορισμούς στην κινητικότητα και στην επικοινωνία μεταξύ των ζωικών πληθυσμών
- Οι περιορισμοί στην κινητικότητα και η απώλεια ζωτικού χώρου οδηγεί σε απομόνωση των ζωικών πληθυσμών, με συνέπεια την ελάττωση της πιθανότητας αναπαραγωγής
- Η ελάττωση των πιθανοτήτων αναπαραγωγής των ζωικών ειδών, οδηγεί σε βαθμιαία μείωση του πληθυσμού του είδους και με το χρόνο στη γενετική του έκπτωση (Forman και Alexander 1998)
- Η γενετική έκπτωση οδηγεί στη μείωση της βιολογικής ποικιλότητας, και άρα το όλο σύστημα σε ένα νέο σημείο ισορροπίας χαμηλότερης αξίας

Καταρχάς, μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις που επιφέρει η υλοποίηση και φυσική παρουσία ενός οδικού άξονα σε μια περιοχή είναι η διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας και η άμεση απώλεια βιοτόπων από την εκχέρσωση εκτάσεων, γεγονός που αναφέρθηκε και στην υποενότητα των επιπτώσεων στη χλωρίδα (Bennett 1991, Forman 1995, Tillmann 2000, Turner 2005). Μια οδός αποτελεί εμπόδιο στην επικοινωνία και στις μετακινήσεις της άγριας ζωής μιας περιοχής. Η ζωική φύση απομονώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο πληθυσμός της. Οι ποικίλες ζωικές ομάδες μιας περιοχής περιορίζονται χωρικά σε μικρότερα εδαφικά τμήματα όπου τα αποθέματα τροφής μειώνονται σημαντικά και δυσχεραίνεται σε μεγάλο βαθμό η επικοινωνία με τα υπόλοιπα ζωικά είδη. Αυτό έχει ως συνέπεια όχι μόνο τη δυσκολία αναπαραγωγής αλλά και τη δυσκολία επιβίωσης (Mader 1984, Βαλερά 2009). Ακόμη, τόσο κατά την κατασκευαστική φάση μιας οδού (λόγω των κατασκευαστικών εργασιών) όσο και κατά τη φάση λειτουργίας της (λόγω των υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων) σημειώνονται υψηλής συχνότητας και έντασης οχλήσεις οι οποίες οδηγούν στη μεταβολή της καταλληλότητας των οικοτόπων για ποικίλα είδη χλωρίδας και πανίδας που εντοπίζονται σε μεγάλη έκταση εκατέρωθεν του οδικού άξονα (Coffin 2007).

Ο κατακερματισμός των βιοτόπων και η απομόνωση των ζωικών πληθυσμών αποτελούν σημαντικό μέγεθος και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στο περιβάλλον μιας περιοχής και είναι το αποτέλεσμα της μετατροπής ενός μεγάλου μωσαϊκού βιοτόπων σε μικρότερα, πιο απομονωμένα τμήματα οικοτόπων (Jaeger et al. 2005, European Environment Agency 2011). Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο στις

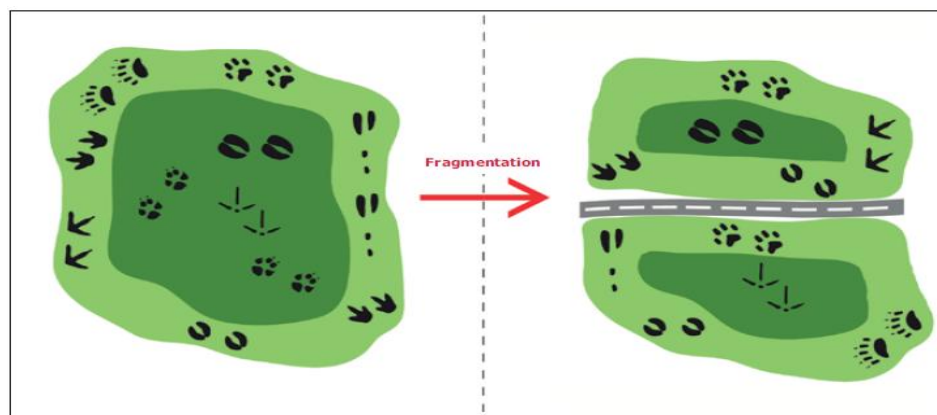
αστικοποιημένες περιοχές και γενικότερα στις συχνά προσπελάσιμες περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλούς φόρτους και κυκλοφοριακές συχνότητες, όπου ο κατακερματισμός είναι το προϊόν της σύνδεσης των περιοχών αυτών μέσω γραμμικών υποδομών, όπως οι δρόμοι και οι σιδηρόδρομοι (Saunders 1991, Forman 1995). Η αποκοπή των οικοσυστημάτων, σε συνδυασμό με το μέγεθος των παρεμβάσεων (αυτοκινητόδρομος, επαρχιακή οδός κ.λπ.), τα χαρακτηριστικά του τοπίου (λοφώδης έκταση ή πεδιάδα ή δάση ή καλλιέργειες) και την πυκνότητα των υπόλοιπων υποδομών που εντοπίζονται, συνθέτουν το πλαίσιο που καθορίζει την ένταση και έκταση των επιπτώσεων στα οικοσυστήματα από την κατασκευή και χρήση των οδικών υποδομών (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003).

Τα μεγάλα έργα υποδομής με γραμμική διάταξη, όπως οι αυτοκινητόδρομοι, προκαλούν κατάτμηση ομοιογενών και εκτεταμένων οικοσυστημάτων σε μικρότερες ενότητες. Οι επιπτώσεις αφορούν στην αλλοίωση της δομής των βιοκοινωνιών, στη μείωση της βιοποικιλότητας και στην αύξηση των πιθανοτήτων εξαφάνισης ορισμένων ειδών (Forman et al. 1997). Προκαλείται διάσπαση της συνέχειας των βιοτόπων καθώς οι οδοί λειτουργούν ως φράγματα που ελαττώνουν τη δυνατότητα κάποιων ειδών να χρησιμοποιήσουν το σύνολο του ζωτικού χώρου. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως «barrier effect» και η επιρροή του είναι σημαντική στην πανίδα μιας περιοχής (Forman et al. 1997, Seiler 2001, Mader 1984). Μάλιστα, σε περιοχές όπου ο κατακερματισμός του τοπίου αγγίζει τα ανώτατα όρια, οποιαδήποτε επιπρόσθετη απομόνωση που προκαλείται από φράχτες εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα μπορεί να αυξήσει δυσανάλογα τον κίνδυνο πλήρους εξαφάνισης ζωικών ειδών (Μπούσμπουρας 2005).

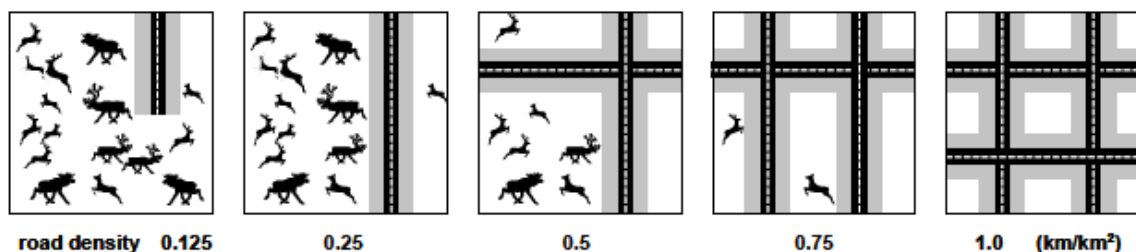
Περισσότερο ευάλωτα στο πρόβλημα κατάτμησης των βιοτόπων είναι τα ζωικά είδη που παρουσιάζουν μεγάλη εμβέλεια στη γεωγραφική τους κατανομή και στη χωρική τους συμπεριφορά. Ο αυξανόμενος ρυθμός κατακερματισμού ενός οικοσυστήματος σε όλο και μικρότερα τμήματα γης οδηγεί αναπόφευκτα σε μεγαλύτερο βαθμό απομόνωσης με αποτέλεσμα να απειλείται σημαντικά η επιβίωση των ειδών του κατακερματισμένου βιοτόπου (Andrews 1990). Επιπλέον, ο κατακερματισμός μειώνει την ποσότητα των διαθέσιμων βιοτόπων για την άγρια πανίδα σε μια περιοχή με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο πληθυσμός πολλών ζωικών ειδών. Εμπειρικές μελέτες σχετικά με τον κατακερματισμό των βιοτόπων δείχνουν ότι κατακερματισμός σε ποσοστό που ξεπερνά το 80% μπορεί να οδηγήσει σε αιφνίδια εξαφάνιση ζωικών ειδών (Andrén 1994). Μάλιστα, όταν ήδη σε ποσοστό 60% ο αριθμός των οικοτόπων έχει εξαφανιστεί από το φυσικό περιβάλλον μιας περιοχής, τα εναπομένοντα τμήματα οικοτόπων, είναι πολύ μικρά σε μέγεθος και πολύ απομονωμένα μεταξύ τους για να συντηρήσουν την άγρια ζωή (O'Neill et al. 2002).

Αξίζει να τονιστεί στο σημείο αυτό, πως τα είδη που είναι πιο ευάλωτα και επηρεάζονται περισσότερο από τον κατακερματισμό των οικοτόπων είναι εκείνα που δεν μπορούν να επιβιώσουν από το ταξίδι μετανάστευσης σε άλλους οικοτόπους. Συνεπώς, περιορίζονται σημαντικά οι εποχικές μεταναστεύσεις και η πιθανότητα επαναποικισμού (Forman & Alexander 1998). Οι επιπτώσεις μιας οδού τόσο στην πανίδα όσο και στη χλωρίδα μιας περιοχής, εκτείνονται σε απόσταση μερικών εκατοντάδων μέτρων εκατέρωθεν της οδού (Godefroid & Koedam 2004). Μάλιστα, σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, εντοπίστηκαν σοβαρές μεταβολές στην ποικιλότητα της χλωρίδας και της πανίδας σε απόσταση 30 μέτρων εκατέρωθεν του δρόμου (Ellenberg et al. 1981, Mader 1987) ενώ υπάρχουν πολλές μελέτες που υποστηρίζουν ότι οι επιπτώσεις είναι έντονες ακόμα και σε απόσταση αρκετών εκατοντάδων μέτρων από τον οδικό άξονα (Seiler 2001). Στην εικόνα 27 παρουσιάζεται ο κατακερματισμός του πυρήνα ενός οικοτόπου που προκαλείται από την διάνοιξη ενός οδικού άξονα. Μάλιστα, παρατηρείται ότι το μέγεθος του εσωτερικού βιοτόπου, που απεικονίζεται με σκούρα απόχρωση του πράσινου καθώς και του εξωτερικού που

απεικονίζεται με πιο ανοιχτή απόχρωση, μειώνεται σημαντικά μετά τη διάνοιξη της οδού (European Environment Agency 2011). Επιπλέον, στην εικόνα 28, φαίνεται η μείωση της πυκνότητας των ζωικών πληθυσμών μετά την υλοποίηση οδικών αξόνων ενώ ο κατακερματισμός που υπεισέρχεται είναι έντονος.



Εικόνα 27: Κατακερματισμός βιοτόπων με επακόλουθη μείωση του μεγέθους τους
Πηγή: European Environment Agency 2011



Εικόνα 28: Κατακερματισμός βιοτόπων ως αποτέλεσμα αύξησης της πυκνότητας του οδικού δικτύου ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (km²)
Πηγή: Seiler 2001

Ωστόσο, η παρουσία μιας οδού σε μια περιοχή συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της θνησιμότητας της πανίδας όχι μόνο λόγω απομόνωσης της άγριας ζωής, αλλά και λόγω των κυκλοφοριακών φόρτων και συγκρούσεων των οχημάτων με τα ζώα που προσπαθούν να διασχίσουν το οδόστρωμα (Oxley et al. 1974, Evink et al. 1996, Tillmann 2000). Οι ζωικοί πληθυσμοί στην αναζήτηση νέων και μεγαλύτερης έκτασης οικοτόπων μεταναστεύουν σε άλλες περιοχές διασχίζοντας τις οδούς που διατρέχουν τις περιοχές αυτές. Αυτό έχει ως συνέπεια τη σύγκρουση των ζωικών πληθυσμών με τα οχήματα που διατρέχουν τις οδούς και την άμεση θανάτωσή τους (Trombulak & Frissell 1999, Saunders et al. 2002). Έρευνες έχουν δείξει ότι τους πρώτους μήνες κατασκευής ενός οδικού άξονα σε μια περιοχή τα ποσοστά θνησιμότητας της πανίδας είναι πολύ υψηλά και ο αριθμός των συγκρούσεων των ζώων με τα οχήματα αρκετά υψηλός (εικόνα 29). Με το πέρασμα του χρόνου, όμως, τα ζώα συνηθίζουν την παρουσία του δρόμου στην περιοχή και πολλά από αυτά αποφεύγουν να διασχίσουν το οδόστρωμα. Συνεπώς, οι συγκρούσεις και η θνησιμότητα της πανίδας μειώνεται. Αυτό το γεγονός, όμως, δεν διαρκεί πολύ καθώς οι νέες γενιές πανίδας της περιοχής δεν είναι εξοικειωμένες με την παρουσία του δρόμου και εξακολουθούν να σημειώνονται θανατηφόρες συγκρούσεις. Μάλιστα, έρευνες έχουν δείξει ότι στις επαρχιακές οδούς και τους αυτοκινητόδρομους, θανατώνεται ένα πουλί κάθε 13 km και ένα θηλαστικό κάθε 30 km (Vestjens 1973, Disney & Fullagar 1978).



Εικόνα 29: Διέλευση του οδοστρώματος από ζωικούς πληθυσμούς
Πηγή: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/09septoct/03.cfm>

Θα πρέπει να αναφερθεί στο σημείο αυτό, ωστόσο, πως σε ορισμένες περιπτώσεις, σε οδούς όπου υπάρχει κατάλληλη σήμανση για την ύπαρξη και διέλευση συγκεκριμένων ζωικών ειδών από την περιοχή, οι οδοί αυτές μπορούν να χρησιμεύσουν ως διάδρομοι κυκλοφορίας για τα άγρια ζώα (εικόνα 30). Αυξάνεται δηλαδή η δυνατότητα οριζόντιας κινητικότητας των μεγάλων κυρίως ζώων κατά μήκος της οδού, τα οποία αξιοποιούν τις ακραίες λωρίδες (ΛΕΑ) ή άλλες λωρίδες μικρότερου πλάτους που υπάρχουν παράλληλα στις ΛΕΑ, και οι οποίες χαρακτηρίζονται ως «φυσικοί διάδρομοι» (natural corridors) (Seiler 2001, Μπούσμπουρας 2005). Αυτή είναι μια θετική επίπτωση που μπορεί να έχει η χάραξη μιας νέας οδού στην πανίδα μιας περιοχής αλλά πραγματοποιείται μόνο υπό κατάλληλες προϋποθέσεις (ύπαρξη κατάλληλης επισήμανσης, χαμηλές ταχύτητες στην περιοχή).

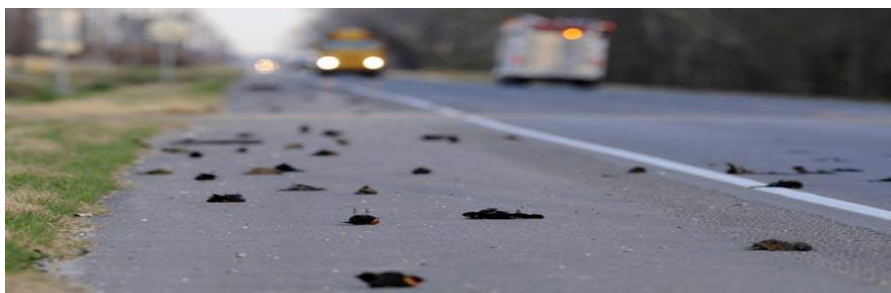
Επιπλέον, σε περιοχές οδικών δικτύων όπου εντοπίζονται υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι και η πυκνότητα της κυκλοφορίας είναι σημαντική, οι παρυφές των οδικών αξόνων μπορούν να λειτουργήσουν ως καταφύγια για διάφορα είδη ζώων τα οποία διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να επιβιώσουν (Mader 1987, Seiler 2001). Στις παρυφές των δρόμων υπάρχουν λωρίδες γης, με πυκνή βλάστηση οι οποίες παρέχουν καταφύγιο σε ορισμένα είδη της πανίδας της περιοχής. Οι προδιαγραφές ορίζουν ότι η βλάστηση στις λωρίδες αυτές θα πρέπει να διατηρείται πυκνή και μικρού ύψους ώστε να μην δυσχεραίνει την ορατότητα, όμως σε πολλές περιπτώσεις απουσιάζει πλήρως καθώς δεν μεριμνείται η συντήρησή της. Συνεπώς, οι παρυφές των δρόμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καταφύγια για τους ζωικούς πληθυσμούς και συναντώνται πιο συχνά σε οδικούς άξονες που διασχίζουν περιοχές με έντονη την παρουσία της άγριας ζωής και όπου μεριμνείται σημαντικά η βλάστηση εκατέρωθεν του οδικού άξονα (Coffin 2007).



Εικόνα 30: Κατάλληλη σήμανση που προειδοποιεί για την ύπαρξη και μετακίνηση ζωικών πληθυσμών στην περιοχή
Πηγή: <http://www.ltap.org/podcasts/podcast.php?id=42>

Όσον αφορά στο είδος της οδού, αυτό επηρεάζει την επιβίωση της πανίδας μιας περιοχής είτε λόγω των φόρτων που εξυπηρετεί είτε λόγω της επιφάνειας του οδοστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, οι αυτοκινητόδρομοι και οι εθνικές οδοί εξυπηρετούν υψηλούς φόρτους και γενικά υψηλές τιμές ταχυτήτων. Αυτό έχει ως συνέπεια, η σύγκρουση με τους ζωικούς πληθυσμούς ορισμένων περιοχών, που διασχίζουν οι οδοί, να είναι καθοριστική για την επιβίωσή τους (Μπούσμπουρας 2005). Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι οι οδοί των οποίων η επιφάνεια είναι ασφαλτοστρωμένη, ευνοούν την ανάπτυξη της ταχύτητας, με αποτέλεσμα την αυξημένη θνησιμότητα των ζωικών ειδών που τις διασχίζουν.

Πιο συγκεκριμένα, οι οδοί υψηλών ταχυτήτων, όπως είναι οι αυτοκινητόδρομοι και οι εθνικές οδοί, προσελκύουν περισσότερα ζωικά είδη και συγκεκριμένα πληθυσμούς πτηνών λόγω του ασφαλτοστρωμένου οδοστρώματος που ανακλά έντονα τις ηλιακές ακτίνες και ερμηνεύεται από το ζωικό πληθυσμό ως ενδεχόμενη λίμνη ή ποτάμι, με αποτέλεσμα την αυξημένη θνησιμότητα της πανίδας στους δρόμους αυτούς (εικόνα 31) (Erritzoe et al. 2003, Μπούσμπουρας 2005). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «trap effect» και αποτελεί την κύρια αιτία θνησιμότητας της πανίδας μιας περιοχής (European Environment Agency 2011). Σε αυτό το σημείο, αναφέρεται και η μορφολογία μιας οδού, ως παράγοντας που σχετίζεται με τη γεωμετρία της, που μπορεί να επηρεάσει τη θνησιμότητα των πτηνών μιας περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, έρευνες έχουν αποδείξει ότι εάν ο δρόμος είναι στο ίδιο επίπεδο ή υψηλότερος από τον γύρω χώρο (π.χ. σε επίχωμα), τα πουλιά πετάνε χαμηλά με αποτέλεσμα να θανατώνονται περισσότερα (Μπούσμπουρας 2005).



Εικόνα 31: Πληθυσμοί πτηνών στο οδόστρωμα
Πηγή: <http://uforeview.tripod.com/conspiracyjournal603.html>

Ωστόσο, και ο αριθμός των λωρίδων επηρεάζει σημαντικά τα ποσοστά θνησιμότητας της πανίδας μιας περιοχής, καθώς όσο αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και η απόσταση που θα πρέπει να διανυθεί από ένα ζώο που διασχίζει το οδόστρωμα. (εικόνα 32). Μάλιστα, έρευνες έχουν δείξει ότι τα αμφίβια και τα ερπετά είναι περισσότερο επιρρεπή σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση που χαρακτηρίζονται από μέτριους προς χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους (Hodson 1966, Langton 1989, DeMaynadier & Hunter 1995, Carr et al. 2002). Επιπλέον, τα μεγάλα και μεσαίου μεγέθους θηλαστικά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε οδούς υψηλών ταχυτήτων, δύο λωρίδων κυκλοφορίας ενώ τα πτηνά και τα μικρά θηλαστικά σε αυτοκινητόδρομους υψηλών ταχυτήτων, περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας (Romin & Bissonette 1996).

Ακόμα αξίζει να αναφερθεί ότι, μεγάλος αριθμός πτηνών θανατώνεται σε θέσεις όπου ο δρόμος διαμορφώνει καμπύλες, τόσο κατακόρυφες όσο και οριζόντιες, ακόμα και αν τα οχήματα αναγκάζονται να επιβραδύνουν σε αυτές (Erritzoe et al. 2003, Μπούσμπουρας 2005). Σε αυτό το σημείο αναφέρονται και οι εκπομπές ρύπων από τα οχήματα οι οποίοι περιέχουν πολυκυκλικούς, αρωματικούς υδρογονάνθρακες, διοξίνες, όζον και πολλές άλλες χημικές ουσίες οι οποίες σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν δυσφορία

στους ζωικούς πληθυσμούς μειώνοντας σημαντικά τον πληθυσμό τους (Scanlon 1987, Reck & Kaule 1993).



Εικόνα 32: Ζωικοί πληθυσμοί διασχίζουν το οδόστρωμα
Πηγή: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/09septoct/03.cfm>

Το **πλάτος της λωρίδας** μιας οδού αποτελεί ένα από τα βασικότερα γεωμετρικά στοιχεία της τα οποία μπορούν να επηρεάσουν το βαθμό θνησιμότητας της πανίδας μιας περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του πλάτους της λωρίδας ενός οδικού άξονα, οδηγεί σε μεγαλύτερο εύρος κατάληψης του εδάφους αυξάνοντας την απόσταση που θα πρέπει να διανυθεί από τα ζώα που θα διασχίσουν το οδόστρωμα. Συνεπώς, αυξάνεται σημαντικά η πιθανότητα σύγκρουσης κάποιου ζώου με ένα διερχόμενο όχημα (Langton 1989, Forman & Alexander 1998, Andrews et al. 2008).

Αναφέρεται, σε αυτό το σημείο, ακόμα ένα χαρακτηριστικό της γεωμετρίας μιας οδού που επηρεάζει τα ποσοστά θνησιμότητας της πανίδας μιας περιοχής (Εικόνα 30). Πρόκειται για τη **διαχωριστική νησίδα**, η οποία σε πολλές περιπτώσεις διαιρεμένων οδών επενδύεται με βλάστηση (εικόνα 33). Αυτό συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της θνησιμότητας της πανίδας στις περιοχές εκείνες, καθώς οι ζωικοί πληθυσμοί ελκύονται από τη βλάστηση της διαχωριστικής νησίδας και διασχίζοντας το οδόστρωμα συγκρούονται με τα διερχόμενα οχήματα (Bellis & Grave 1971, Forman & Alexander 1998). Επιπλέον, ακόμα και μεγάλος αριθμός πτηνών παρασύρεται από τη βλάστηση και πετώντας σε χαμηλότερο υψόμετρο κοντά στη διαχωριστική νησίδα, παρασύρεται από τους ισχυρούς στροβίλους που δημιουργούν οι υψηλές ταχύτητες και καταλήγει θύμα των οχημάτων (Μπούσμπουρας 2005).



Εικόνα 33: Διαχωριστική νησίδα οδικού άξονα επενδυμένη με βλάστηση
Πηγή: <http://www.architectmagazine.com/blogs/postdetails.aspx?BlogId=beyondbuildingsblog&postId=89732>

Κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί στο σημείο αυτό πως καθοριστική επιρροή στην επιβίωση της πανίδας μιας περιοχής έχει και η περίφραξη του οδοστρώματος που αποτελεί εμπόδιο για την επικοινωνία των ζωικών πληθυσμών με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο πληθυσμός τους (Seiler 2001). Η ύπαρξη επιχωμάτων και ορυγμάτων εκατέρωθεν ενός οδικού άξονα, αποτελεί εμπόδιο για τη μετακίνηση των ζωικών πληθυσμών και ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις τα αποτρέπει από τα συγκρουστούν με διερχόμενα οχήματα, κυρίως εμποδίζει τις εποχικές μεταναστεύσεις με άμεσες συνέπειες τη μείωση του πληθυσμού της πανίδας μιας περιοχής (εικόνα 35) (Forman & Alexander 1998, Saunders et al. 2001).



Εικόνα 34: Οδικός άξονας με περίφραξη που δυσχεραίνει τη διέλευση των ζωικών πληθυσμών
Πηγή: <http://www.wildlifeconsultingresources.com/>



Εικόνα 35: Ζωικοί πληθυσμοί – Θύματα των οδικών αξόνων
Πηγή: <http://www.greateryellowstonescience.org/node/3677>

3.10. Αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων ενός έργου ή μιας δραστηριότητας στο ευρύτερο περιβάλλον μιας περιοχής, πραγματοποιείται από τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), σκοπός της οποίας είναι ο προσδιορισμός και η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης και η οποία αποτελεί ένα εργαλείο για τον εντοπισμό της καταλληλότερης περιβαλλοντικά εναλλακτικής λύσης για το εξεταζόμενο, κάθε φορά, έργο, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανές μελλοντικές, μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στο περιβάλλον μιας περιοχής (Βαλερά 2009).

Ως διαταραχή (disturbance) ορίζεται κάθε γεγονός ή σειρά από γεγονότα, που προκαλούν και επηρεάζουν τη δομή και τις λειτουργίες του περιβάλλοντος. Η μετατροπή των μεταβολών σε διαταραχές, εξαρτάται από το είδος των φυσικών, χημικών, βιολογικών ή άλλων παραγόντων που μεταβάλλονται και από το μέγεθος της μεταβολής τους, το οποίο προκαλεί τα γεγονότα, που επηρεάζουν τη δομή και τις λειτουργίες του περιβάλλοντος (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003). Η μετατροπή των διαταραχών σε επιπτώσεις, εξαρτάται από την ικανότητα του περιβάλλοντος, που υφίσταται τις διαταραχές, να τις ανατάξει (Μερτζάνης κ.α. 2005). Η εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων γίνεται ανά περιβαλλοντική παράμετρο και οι επιπτώσεις διακρίνονται ανάλογα με (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003):

- το **είδος** τους σε: θετικές, ουδέτερες και αρνητικές
- το **μέγεθος** τους σε: αμελητέες, ασθενείς (μικρές), μέτριες (μη σημαντικές) και ισχυρές (σημαντικές, μεγάλες)
- τη **διάρκειά** τους σε: βραχυχρόνιες (παροδικές) και μακροχρόνιες (μόνιμες)
- την **έκτασή** τους σε: τοπικές, περιφερειακές, εθνικές και διασυνοριακές
- τη **δυνατότητα ανάταξης/αναστρεψιμότητας** τους ή μη σε: αναστρέψιμες (ολικώς ή μερικώς) και μη αναστρέψιμες
- τη **δυνατότητα αντιμετώπισής** τους ή μη σε: αντιμετώπισιμες (ολικώς ή μερικώς) και μη αντιμετώπισιμες

Πιο συγκεκριμένα, οι επιπτώσεις ανάλογα με το **είδος** της ευεργετικής ή μη επίδρασής τους επί ενός περιβαλλοντικού μέσου διακρίνονται σε θετικές, ουδέτερες και αρνητικές και ανάλογα με το **μέγεθος** της επίδρασής τους επί ενός περιβαλλοντικού μέσου διακρίνονται σε ασθενείς, μέτριες (μη σημαντικές) και ισχυρές (σημαντικές), σύμφωνα με τους ακόλουθους ορισμούς (Βαβίζος & Μερτζάνης 2003):

- Ασθενής επίπτωση: Ως ασθενής επίπτωση επί ενός περιβαλλοντικού μέσου χαρακτηρίζεται η επίπτωση εκείνη η οποία προξενεί μη μετρήσιμες, και τοπικά περιορισμένες διαφοροποιήσεις στη φυσική κατάσταση, ή/και την περιβαλλοντική αξία.
- Μέτρια (μη σημαντική) επίπτωση: Ως μέτρια ή μη σημαντική επίπτωση επί ενός περιβαλλοντικού μέσου χαρακτηρίζεται η επίπτωση εκείνη η οποία προξενεί μετρήσιμες διαφοροποιήσεις στη φυσική κατάσταση, ή/και την περιβαλλοντική αξία, ή/και την παραγωγική δυνατότητα, ή/και τη χρήση του περιβαλλοντικού μέσου, χωρίς όμως εκ των διαφοροποιήσεων αυτών να προκύπτουν ουσιώδεις αλλαγές στα παραπάνω χαρακτηριστικά του.
- Ισχυρή (σημαντική) επίπτωση: Ως ισχυρή ή σημαντική επίπτωση επί ενός περιβαλλοντικού μέσου χαρακτηρίζεται η επίπτωση εκείνη η οποία προξενεί μετρήσιμες διαφοροποιήσεις στην φυσική κατάσταση, ή/και την περιβαλλοντική αξία, ή/και την παραγωγική δυνατότητα, ή/και τη χρήση του

περιβαλλοντικού μέσου, προξενώντας ταυτόχρονα ουσιώδεις αλλαγές στα παραπάνω χαρακτηριστικά του

Οι επιπτώσεις επί ενός περιβαλλοντικού μέσου ανάλογα με τη **διάρκεια** τους διακρίνονται σε μακροχρόνιες (μόνιμες) που συνεχίζουν να υφίστανται και μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας και σε βραχυχρόνιες (παροδικές) που παύουν να υφίστανται μετά το πέρας της περιόδου λειτουργίας της δραστηριότητας. Ανάλογα με τη **δυνατότητα ανάταξης** της περιβαλλοντικής παραμέτρου ή μέσου, δηλαδή της δυνατότητας να επιστρέψει στην αρχική ή παρόμοια με αυτή κατάσταση μετά την εφαρμογή μιας σειράς επανορθωτικών μέτρων, οι επιπτώσεις διακρίνονται σε αναστρέψιμες και μη αναστρέψιμες.

Οι επιπτώσεις διακρίνονται, επίσης, ανάλογα με την **έκταση επιρροής τους**, δηλαδή τον βαθμό κατά τον οποίο επηρεάζουν μια δεδομένη βιογεωγραφική ενότητα, σε τοπικές, περιφερειακές, εθνικές, καθολικές και διασυνοριακές και τέλος, οι επιπτώσεις, ανάλογα με την **δυνατότητα αντιμετώπισής τους**, διακρίνονται σε αντιμετώπισιμες, με την εφαρμογή μιας σειράς επανορθωτικών μέτρων, με σκοπό την ολική ή μερική αναστροφή της επίπτωσης και σε μη αντιμετώπισιμες. Ακολούθως, οι αντιμετώπισιμες επιπτώσεις διακρίνονται σε μερικώς ή ολικώς αντιμετώπισιμες ανάλογα με τη δυνατότητα μερικής ή ολικής αναστροφής της επίπτωσης.

Σε αυτό το σημείο, αναφέρεται γενικότερα το μέγεθος της επιρροής των επιπτώσεων της διάνοιξης ενός οδικού άξονα στο φυσικό περιβάλλον τόσο κατά την κατασκευαστική φάση και τη φάση λειτουργίας του, όσο και κατά την αποκατάσταση – συντήρηση στον *πίνακα 1 (Τσώχος 1997, Εσκίολου 2011)*. Το είδος και το μέγεθος των επιπτώσεων στο φυσικό περιβάλλον μιας περιοχής που προκαλούνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού παρατίθενται συγκεντρωτικά σε πίνακα στο παράρτημα της εργασίας. Σημειώνεται στο σημείο αυτό, πως ο πίνακας που παρατίθεται παρακάτω (*πίνακας 10*) αφορά συμπεράσματα ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί (*Τσώχος 1997, Εσκίολου 2011*) και ότι στον πίνακα που συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής σχετικά με τη γεωμετρία της οδού και τις επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον πραγματοποιείται πιο αναλυτική διαβάθμιση των επιπτώσεων και του μεγέθους τους, όπως προέκυψε από τη μελέτη των πολυάριθμων ερευνών που εξετάστηκαν.

Περιβαλλοντική Συνιστώσα	Κατασκευαστική Φάση	Φάση Λειτουργίας	Αποκατάσταση - Συντήρηση
Φυσικό τοπίο - Αισθητική		-	
Έδαφος			
Ατμοσφαιρικό περιβάλλον			
Ακουστικό περιβάλλον			
Υδάτα - Υδρολογία			
Χλωρίδα			
Πανίδα			
Έντονη επιρροή	Μέτρια επιρροή		Περιορισμένη επιρροή

Πίνακας 10: Μέγεθος επιρροής επιπτώσεων στο περιβάλλον κατά την κατασκευή, λειτουργία και αποκατάσταση ενός οδικού άξονα

Πηγή: Τσώχος 1997

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ – Ο ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΠΑΘΕ

4.1. Γενικά

Στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε εκτενής αναφορά στις επιπτώσεις των γεωμετρικών στοιχείων της οδού στην οδική ασφάλεια, στην ανθρώπινη υγεία καθώς και στο ευρύτερο περιβάλλον μιας περιοχής και έγινε σαφής η μεταξύ τους συσχέτιση. Μέσω της αναφοράς μεγάλου αριθμού μελετών και ερευνών, που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, περιγράφηκε ο τρόπος επιρροής της γεωμετρίας της οδού στην οδική ασφάλεια και γενικά στο ευρύτερο περιβάλλον της περιοχής την οποία διατρέχει, ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκε αναφορά σε μαθηματικά μοντέλα που έχουν επιχειρήσει, για ορισμένους τύπους οδικών αξόνων, να ποσοτικοποιήσουν το μέγεθος και το βαθμό της επιρροής αυτής (*Zeeger et al. 1981, Iyinat et al. 1997, Labi 2006, Ματσούκης & Μπαλαδήμας 2008 κ.λ.π.*). Επιπλέον, εξετάστηκε και η επιρροή της ταχύτητας, ως βασικό λειτουργικό χαρακτηριστικό μιας οδού.

Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιείται μια πρακτική εφαρμογή στο ζήτημα της οδικής ασφάλειας και εξετάζεται η συνάρτηση του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων, που σημειώνονται σε συγκεκριμένα τμήματα του οδικού άξονα ΠΑΘΕ, με την ύπαρξη ή μη σε αυτά διαχωριστικής νησίδας, ευθυγραμμίας και κατωφέρειας. Από την εν λόγω εξέταση, με την εφαρμογή τριών μαθηματικών μοντέλων, προέκυψε ότι η απουσία διαχωριστικής νησίδας σε συνδυασμό με την ύπαρξη κατωφέρειας σε καμπύλα τμήματα του υπό εξέταση οδικού άξονα συμβάλλει σε σημαντική αύξηση τόσο του συνολικού αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων όσο και του αριθμού των θανατηφόρων. Επιπλέον, σε επόμενο στάδιο, διατυπώθηκε μαθηματικό μοντέλο που διαφοροποιεί το συντελεστή της παραμέτρου της κατωφέρειας για κάθε οδικό τμήμα που εξετάστηκε.

4.2. Το θέμα της οδικής ασφάλειας στην Ελλάδα

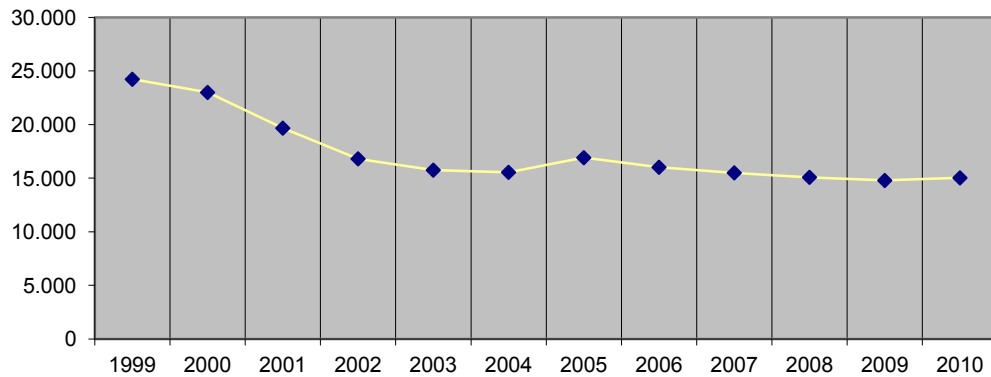
Παρά την σημαντική βελτίωση που έχει καταγραφεί την τελευταία δεκαετία στον τομέα των τροχαίων ατυχημάτων, η Ελλάδα κατέχει σταθερά την τελευταία θέση ανάμεσα στα άλλα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά στον αριθμό των θυμάτων των οδικών ατυχημάτων, γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ανεπαρκή αντιμετώπιση της οδικής ασφάλειας από τους πολίτες και την πολιτεία. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος (ΕΣΥΕ), το 2000 η Ελλάδα ήταν στη δεύτερη θέση με 180 νεκρούς ανά ένα εκατομμύριο κατοίκων, το 2005 πέρασε στην τρίτη θέση με 150 νεκρούς, ενώ με τα στοιχεία του 2011 βρέθηκε στην πρώτη θέση με 110 νεκρούς, ανά εκατομμύριο κατοίκων. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων και των παθόντων προσώπων από το 1999 έως και το 2011 (πίνακας 11) ενώ στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται η εξέλιξη του αριθμού των οδικών τροχαίων και των θανατηφόρων ατυχημάτων καθώς και των βαριά τραυματιών και των νεκρών αντίστοιχα (διαγράμματα 47, 48 και 49).

ΕΤΟΣ	Ατυχήματα			Παθόντα πρόσωπα			
	Σύνολο	Θανατηφόρα	Μη θανατηφόρα	Σύνολο	Νεκροί	Τραυματίες	
						Βαριά	Ελαφρά
1999	24.231	1.876	22.355	34.822	2.116	4.558	28.148
2000	23.001	1.803	21.198	32.800	2.037	4.200	26.563
2001	19.671	1.669	18.002	28.216	1.880	3.238	23.098
2002	16.809	1.438	15.371	24.093	1.634	2.608	19.851
2003	15.751	1.400	14.351	22.342	1.605	2.348	18.389
2004	15.547	1.484	14.063	21.849	1.670	2.395	17.784
2005	16.914	1.482	15.432	23.706	1.658	2.270	19.778
2006	16.019	1.501	14.518	22.332	1.657	2.021	18.654
2007	15.499	1.442	14.057	21.378	1.612	1.821	17.945
2008	15.083	1.411	13.672	20.563	1.553	1.872	17.138
2009	14.789	1.296	13.493	20.097	1.456	1.676	16.965
2010	15.032	1.142	13.890	20.366	1.258	1.709	17.399
2011	13.619	1.087	12.532	17.997	1.087	1.634	15.276

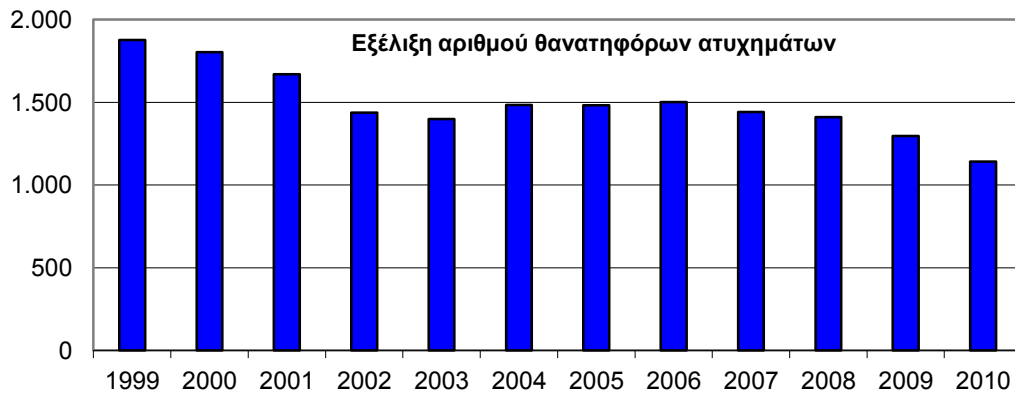
Πίνακας 11: Αριθμός οδικών τροχαίων ατυχημάτων και παθόντων προσώπων, 1999-2011

Πηγή: www.statistics.gr

Εξέλιξη αριθμού οδικών τροχαίων ατυχημάτων

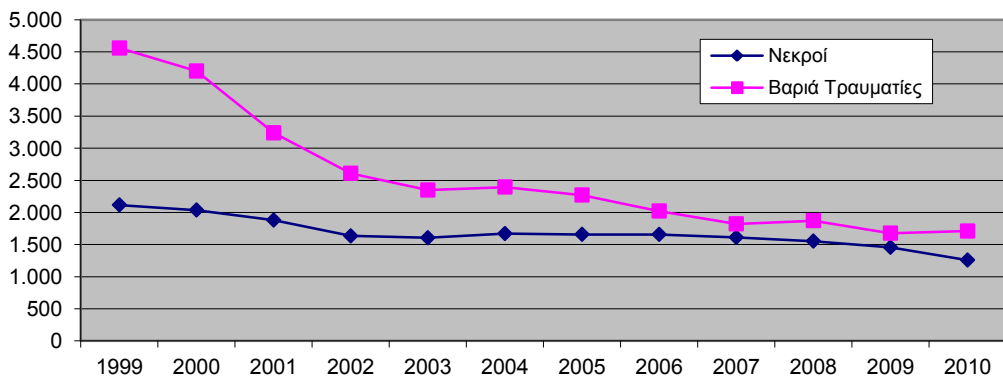


Διάγραμμα 47 : Εξέλιξη αριθμού οδικών τροχαίων ατυχημάτων, 1999-2010
Πηγή: www.statistics.gr



Διάγραμμα 48: Εξέλιξη αριθμού οδικών θανατηφόρων ατυχημάτων, 1999-2010
Πηγή: www.statistics.gr

Εξέλιξη αριθμού βαριά τραυματιών και νεκρών



Διάγραμμα 49: Εξέλιξη αριθμού βαριά τραυματιών και νεκρών, 1999-2010
Πηγή: www.statistics.gr

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναφέρθηκαν αναλυτικά οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και εξετάζουν τη συσχέτιση του αριθμού των ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος μιας οδού με τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά. Επίσης, όπως έχει αναφερθεί εκτενώς στο κεφάλαιο αυτό, η οδική ασφάλεια αποτελεί ένα αρκετά πολύπλοκο και πολυπαραμετρικό ζήτημα καθώς, εκτός της γεωμετρίας της οδού, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι είναι εξίσου σημαντικοί και συμβάλλουν στην πρόκληση ενός οδικού ατυχήματος. Πρόκειται για τους παράγοντες άνθρωπο και όχημα ενώ εξίσου βασική είναι και η συμβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών (καιρικές συνθήκες κ.α.). Μάλιστα, όπως έχει αναφερθεί στο θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ένα οδικό ατύχημα αποτελεί συνέπεια συνδυασμού όλων των παραπάνω παραγόντων, γεγονός που καθιστά τον αντικειμενικό εντοπισμό της συμβολής κάθε παράγοντα στο ατύχημα αρκετά δύσκολη και περίπλοκη υπόθεση. Ωστόσο, μεγάλος αριθμός ερευνών, που έχει πραγματοποιηθεί παγκοσμίως σε ποικίλους οδικούς άξονες με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, έχει οδηγηθεί στο συμπέρασμα ότι ο παράγοντας άνθρωπος σε συνδυασμό με τη γεωμετρία της οδού και τις περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν την κύρια αιτία πρόκλησης τροχαίων ατυχημάτων (*Hamerslag, Roos & Kwakernaak 1982, Okamoto & Koshi 1989, Míaou 1992, O' Cinneide 1998, Καπότσης 2002, Μπουρνελάκη 2002, Μπαλαδήμας 2006*).

Τα μαθηματικά μοντέλα που έχουν προκύψει από μελέτες σε οδικούς άξονες διεθνώς δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε εθνικούς, οδικούς άξονες με στόχο την πρόβλεψη του αριθμού των ατυχημάτων καθώς η γεωμετρική δομή των οδικών αξόνων της Ελλάδας παρουσιάζει σημαντικές διαφορές με την αντίστοιχη των οδικών αξόνων στις ΗΠΑ αλλά και σε διάφορες χώρες της ευρωπαϊκής ηπείρου όπου αναφέρεται η πλειοψηφία των μελετών. Ένα ακόμη στοιχείο που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τον αριθμό και τη συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος και το είδος των οχημάτων που διασχίζουν το εκάστοτε οδικό δίκτυο και τα οποία διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες στην Ελλάδα είναι διαφορετικές από εκείνες που επικρατούν σε άλλες χώρες και αυτό είναι καθοριστικό για την εφαρμογή κάθε μαθηματικού μοντέλου.

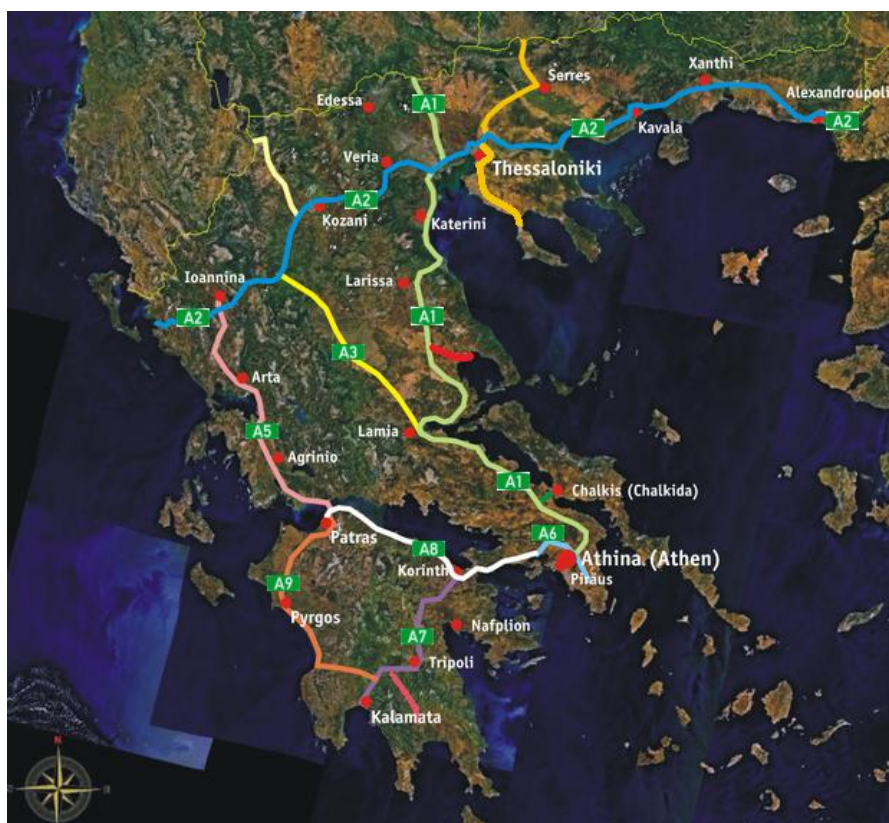
Συνεπώς, υπάρχει τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο μια συνεχής αναζήτηση κατάλληλων σχέσεων που θα επιτρέψουν τον αναλυτικό υπολογισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα και την υποστήριξη των προσπαθειών για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού. Μέσα στα πλαίσια αυτά προσδιορίστηκαν τα προς εξέταση συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και πραγματοποιήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία.

Αναφέρεται πως στην πρακτική εφαρμογή της παρούσας εργασίας, όπου μελετήθηκε η συσχέτιση του αριθμού των ατυχημάτων με επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού, στα μοντέλα που προέκυψαν δεν συμπεριλαμβάνεται η ΕΜΗΚ. Η έλλειψη στοιχείων της ΕΜΗΚ αποτελεί ουσιαστικό περιορισμό των μοντέλων που δημιουργήθηκαν, καθώς στα πλαίσια της εφαρμογής επεξεργάστηκαν στοιχεία ατυχημάτων μιας δεκαετίας (1996 – 2006) για ορισμένες χρονιές από τις οποίες δεν υπήρχαν στοιχεία κυκλοφοριακών φόρτων. Μια πιθανή αντιμετώπιση του προβλήματος θα ήταν η εκτίμηση των κυκλοφοριακών φόρτων από τους κοντινότερους σταθμούς διοδίων στα οδικά τμήματα που εξετάστηκαν, ωστόσο, λόγω του μικρού αριθμού των σταθμών οι τιμές θα ήταν πρακτικά κοινές. Υπάρχουν μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε οδικούς άξονες της Ελλάδας, στις οποίες υπάρχει ο περιορισμός της έλλειψης της ΕΜΗΚ (*Καπότσης 2002, Κανελλαΐδης & Κοζομπόλης 2004*).

4.3. Αντικείμενο εξέτασης – Οδικός άξονας ΠΑΘΕ

Στο παρόν υποκεφάλαιο πραγματοποιείται συνοπτική περιγραφή των υπό εξέταση οδικών τμημάτων του ΠΑΘΕ τα οποία επιλέχθηκαν προς συσχέτιση των γεωμετρικών τους στοιχείων με τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος τους.

Ο οδικός άξονας ΠΑΘΕ αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους οδικούς άξονες της χώρας και συνδέει την Πάτρα με την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη φτάνοντας έως τους Ευζώνους στα σύνορα. Έχει συνολικό μήκος 730 χιλιόμετρα, ανήκει στα Διευρωπαϊκά δίκτυα και αποτελεί αυτοκινητόδρομο που εξυπηρετεί υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους σε καθημερινή βάση καθώς και υψηλές ταχύτητες (120 km/h). Από τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του έχει σημειωθεί κατά μήκος του μεγάλος αριθμός τροχαίων ατυχημάτων και μάλιστα θανατηφόρων. Αυτό έχει αποτελέσει το σημαντικότερο λόγο των πολλών ανακατασκευών ποικίλων οδικών του τμημάτων, που πραγματοποιούνται κατά καιρούς με στόχο τη βελτίωση των οδικών συνθηκών κατά μήκος του. Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΣΥΕ) από το 1996 έως και το 2006 κατά μήκος του ΠΑΘΕ έχουν σημειωθεί περισσότερα από 5.500 ατυχήματα μεγάλο ποσοστό των οποίων ήταν θανατηφόρα. Ο οδικός άξονας χωρίζεται σε 3 οδικά τμήματα, τον αυτοκινητόδρομο Α1 που εκτείνεται από την Αθήνα έως τους Ευζώνους, τον Α6 που αποτελεί την Αττική οδό και τον Α8 που εκτείνεται από την Ελευσίνα έως το Ρίο και ο οποίος είναι γνωστός ως Ολυμπία οδός (εικόνα 36).



Εικόνα 36: Οδικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων Ελλάδας

Προκειμένου να μελετηθεί ο συσχετισμός των τροχαίων ατυχημάτων με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού επιλέχθηκαν 3 οδικά τμήματα του άξονα ΠΑΘΕ. Το πρώτο ξεκινά από το 80^ο χιλιόμετρο της οδού στο ύψος της Κορίνθου και εκτείνεται με κατεύθυνση προς την Πάτρα για 40 χιλιόμετρα έως το 120^ο χιλιόμετρο όπου βρίσκεται το Ξυλόκαστρο. Το επόμενο τμήμα ξεκινά από το 160^ο χιλιόμετρο του οδικού άξονα με κατεύθυνση προς τους Ευζώνους έως το 202^ο χιλιόμετρο. Πρόκειται για την περιοχή του Πέταλου του Μαλιακού που αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα οδικά τμήματα της χώρας καθώς συγκεντρώνει κάθε χρόνο μεγάλο αριθμό ατυχημάτων. Προκειμένου να υπάρχει αντικειμενικότητα ως προς την επιλογή των υπό εξέταση οδικών τμημάτων και του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων που συγκεντρώνονται σε αυτά, επιλέχθηκε ακόμη ένα οδικό τμήμα το οποίο σε σχέση με τα προαναφερθέντα συγκεντρώνει σχετικά μικρότερο αριθμό ατυχημάτων και εκτείνεται από το 360^ο χιλιόμετρο στο ύψος της Λάρισας για 40 χιλιόμετρα με κατεύθυνση τους Ευζώνους έως το 400^ο χιλιόμετρο.

4.4. Μεθοδολογίες ανάλυσης τροχαίων ατυχημάτων

4.1.1. Βασικές αρχές ανάπτυξης προτύπων

Οι έρευνες που πραγματοποιούνται και αφορούν στην οδική ασφάλεια διερευνούν την επιρροή ενός ή περισσότερων παραγόντων στην πρόκληση οδικών τροχαίων ατυχημάτων και τα αποτελέσματα που προκύπτουν στοχεύουν στο να μπορούν να εκφράσουν ποσοτικά την επιρροή κάθε παράγοντα στις εξαρτημένες μεταβλητές που εκφράζουν την οδική ασφάλεια (αριθμός ατυχημάτων, επίπεδο σημαντικότητας). Τόσο οι παράγοντες των προτύπων όσο και οι εξαρτημένες μεταβλητές αποτελούν στοιχεία τα οποία μέσω κατάλληλης επεξεργασίας οδηγούν σε σχέσεις που εκφράζουν το βαθμό συσχέτισης των παραγόντων των προτύπων και των εξαρτημένων μεταβλητών.

Πιο συγκεκριμένα, τα μαθηματικά πρότυπα που δημιουργούνται αποτελούνται από την εξαρτημένη μεταβλητή, που στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι ο αριθμός των συνολικών τροχαίων και θανατηφόρων ατυχημάτων (επίπεδο οδικής ασφάλειας), καθώς και από τους παράγοντες των οποίων ο βαθμός της επιρροής στην εξαρτημένη μεταβλητή εξετάζεται ώστε να προκύψουν τα ανάλογα συμπεράσματα και να διατυπωθούν προτάσεις με στόχο τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να αποτελούν ποικίλα γεωμετρικά ή λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός οδικού άξονα, όπως στοιχεία οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, στοιχεία που αφορούν στο χρήστη της οδού (ηλικία, κατάσταση μέθης), κυκλοφοριακοί φόρτοι κ.α. Στην πρακτική εφαρμογή της εργασίας αυτής, οι παράγοντες αυτοί αφορούν σε επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά στοιχεία ενός οδικού άξονα τα οποία μέσω της επιλεγείσας μεθοδολογίας οδηγούν σε ενδιαφέροντα και σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν στην οδική ασφάλεια της οδού που εξετάζεται.

Αναφέρεται στο σημείο αυτό, πως υπάρχει μεγάλος αριθμός μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται στην οδική ασφάλεια για την ανάπτυξη προτύπων πρόβλεψης και μάλιστα πολλές από αυτές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγιναν με τη χρήση του πλαισίου των γενικευμένων γραμμικών προτύπων μέσω του οποίου εκτιμήθηκαν πρότυπα που ακολουθούν την κανονική κατανομή (κατανομή Gauss) καθώς και τις κατανομές Poisson και quasi-Poisson.

4.1.2. Γραμμική παλινδρόμηση

Η γραμμική παλινδρόμηση αποτελεί την απλούστερη μορφή συσχέτισης μεταξύ μιας εξαρτημένης και ενός αριθμού ανεξάρτητων μεταβλητών. Η γραμμική παλινδρόμηση αποτελεί μια απλή μέθοδο, η οποία δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες στο χειρισμό της και τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτή συνήθως δεν παρουσιάζουν μεγάλη δυσκολία στην ερμηνεία τους ενώ υπάρχει διαθέσιμο πλήθος λογισμικών για την εύκολη εκτίμησή τους. Στη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιείται μια γραμμική σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μίας σειράς ανεξάρτητων μεταβλητών (παραγόντων) η επιλογή των οποίων γίνεται σε αρχικό στάδιο με βάση εμπειρικά κριτήρια.

Όπως σε κάθε μοντέλο έτσι και στο μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης ενδιαφέρει ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη. Αυτό, όμως, καθίσταται δυνατό εφόσον η σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές είναι γραμμική κάτι το οποίο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν ισχύει στην περίπτωση των δεδομένων που αφορούν στην οδική ασφάλεια καθώς η συμπεριφορά τους δεν μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά από το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης. Συνεπώς, στην περίπτωση που το μοντέλο αυτό χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή στοιχείων τροχαίων ατυχημάτων πρέπει να εφαρμοστούν οι κατάλληλες παραδοχές.

Η γραμμική παλινδρόμηση διέπεται από ορισμένες υποθέσεις που συλλογικά αποκαλούνται συχνά «υποθέσεις Gauss-Markov» και απαιτούν (Yannis et al. 2007):

- Γραμμικότητα στις παραμέτρους (στις μεταβλητές η απουσία γραμμικότητας είναι αποδεκτή)
- Ομοσκεδαστικότητα (η διακύμανση των τιμών δεν μεταβάλλεται με το μέγεθος τους)
- Εξωγενείς ανεξάρτητες μεταβλητές
- Ασυσχετίστες διαταραχές (disturbances) που ακολουθούν την κανονική κατανομή
- Κανονικά διανεμημένες διαταραχές

Στην πράξη, ωστόσο, οι υποθέσεις αυτές συχνά παραβιάζονται, χωρίς πολλές φορές αυτό να αναγνωρίζεται. Συνέπεια αυτού αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις, η εφαρμογή μαθηματικών προτύπων που παρουσιάζουν στατιστικά σφάλματα και τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες προβλέψεις. Ένα από τα πιο συνηθισμένα ζητήματα στον τομέα της εξέτασης του επιπέδου της οδικής ασφάλειας αποτελεί το γεγονός ότι πολλές φορές η κατανομή που ακολουθούν τα δεδομένα δεν είναι η κανονική αλλά η κατανομή Poisson (π.χ. Nicholson and Wong, 1993). Λόγω, ωστόσο, της υπερδιασποράς (overdispersion) των δεδομένων που σημειώνεται σε πολλές περιπτώσεις, ακόμα και η κατανομή Poisson αδυνατεί να περιγράψει ικανοποιητικά τα δεδομένα (Maycock and Hall, 1984).

Προκειμένου, συνεπώς, να αντιμετωπιστεί το ζήτημα αυτό, εφαρμόζονται συχνά άλλες κατανομές, όπως η κατανομή quasi-Poisson, στην οποία δεν υπάρχει ο περιορισμός της παραμέτρου της διασποράς (λόγος της διακύμανσης προς τη μέση τιμή) να ισούται με τη μονάδα όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Poisson επιτρέποντας την εκτίμηση μια παραμέτρου διασποράς. Οι Maycock and Hall (1984) έδειξαν ότι σε αντίστοιχα αποτελέσματα μπορεί να οδηγήσει και η χρήση της αρνητικής διωνυμικής κατανομής, την οποία χρησιμοποίησαν σε εφαρμογές οδικής ασφάλειας και οι Μιαου (1994) και Wood (2002). Ακόμη, σε άλλες έρευνες (Maher & Summersgill 1996) αναφέρεται ότι η χρήση των δύο κατανομών, quasi-Poisson και αρνητικής διωνυμικής, υπάρχει περίπτωση να δώσουν αντίστοιχα αποτελέσματα παρόλο που μπορεί να διαφέρουν ως προς τις προβλέψεις ενώ οι Lord et al. (2005) εφαρμόζουν διαφορετικές κατανομές,

συμπεριλαμβανομένων των Poisson, της αρνητική διωνυμική (ή Poisson-γάμμα), και της zero-inflated Poisson στην προτυποποίηση δεδομένων οδικής ασφάλειας (Yannis et al. 2007).

Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται αναφορά στα γενικευμένα γραμμικά πρότυπα (Generalized Linear Models, GLM), τα οποία αποτελούν το πλαίσιο μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η χρήση της κανονικής κατανομής και των κατανομών Poisson και quasi-Poisson (McCullagh and Nelder, 1989, Dobson, 1990, Gill, 2000). Η μεθοδολογία των γενικευμένων γραμμικών προτύπων χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, καθώς επιτρέπει την εφαρμογή πολλών εναλλακτικών κατανομών, όπως της κανονικής κατανομής, της κατανομής του Poisson, quasi-Poisson κ.α. Μια γενική διατύπωσή τους είναι (Yannis et al. 2007):

Αν υποθεθεί ότι υπάρχουν p παράμετροι ενδιαφέροντος b_1, \dots, b_p , τότε το γενικευμένο γραμμικό πρότυπο μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$g(\mu_i) = x_i^T \beta$$

Όπου:

- g είναι μια μονοτονική, διαφοροποιήσιμη σχέση που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο γενικευμένο γραμμικό πρότυπο,
- μ_i είναι η αναμενόμενη τιμή για την παρατήρηση i ,
- x_i είναι το διάνυσμα των τιμών ανεξάρτητων μεταβλητών για την παρατήρηση i , και
- β είναι το διάνυσμα με τις παραμέτρους.

Στο σημείο αυτό, αναφέρεται και το μικτό γραμμικό μοντέλο (Linear Mixed Model) το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το μικτό γραμμικό μοντέλο προσφέρει τη δυνατότητα για κάποιες παραμέτρους να εκτιμήσει διαφορετικές τιμές ανά κάθε οδικό τμήμα που εξετάζεται. Στην εργασία, μέσω της χρήσης του μικτού γραμμικού μοντέλου, εκτιμήθηκαν διαφορετικές τιμές για την παράμετρο της κατωφέρειας για κάθε ένα από τα τρία οδικά τμήματα του αυτοκινητόδρομου ΠΑΘΕ που εξετάστηκαν.

4.1.3. Μοντέλο Poisson

Όπως προκύπτει από την αναφορά των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, η έρευνα για την ανάπτυξη των προτύπων πρόβλεψης ατυχημάτων που δημοσιεύονται στην πρόσφατη βιβλιογραφία έχει απομακρυνθεί από προσεγγίσεις βασισμένες στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση και έχει αρχίσει να χρησιμοποιεί άλλες υποθέσεις για τις κατανομές που ακολουθεί η εξαρτημένη μεταβλητή εκτός της κανονικής κατανομής. Η κατανομή Poisson είναι κατάλληλη για την περιγραφή τυχαίων γεγονότων όπως είναι τα οδικά ατυχήματα όπου ο αριθμός γεγονότων σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα είναι πιθανό να είναι μηδέν ή ένας μικρός ακέραιος αριθμός. Για τον λόγο αυτό η παλινδρόμηση Poisson επιλέγεται ως καταλληλότερη για τη συγκεκριμένη προσέγγιση μεταξύ άλλων μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν.

Η παλινδρόμηση Poisson στηρίζεται στην κατανομή Poisson και είναι κατάλληλη για την ανάπτυξη προτύπων που αφορούν φαινόμενα που εμφανίζονται σπάνια και των οποίων οι εμφανίσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των τροχαίων ατυχημάτων. Αυτό σημαίνει ότι η εμφάνιση ενός ατυχήματος δεν επηρεάζει την εμφάνιση ενός άλλου, είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα γεγονότα. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη υποενότητα, σημαντική παραδοχή της κατανομής Poisson είναι ότι ο μέσος όρος των παρατηρήσεων ισούται με τη διακύμανση αυτών ($\mu = \sigma^2$).

Όπως, έχει αναφερθεί και στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, διάφορες πρόσφατες μελέτες έχουν εφαρμόσει μη παραδοσιακές στατιστικές προσεγγίσεις. Αξίζει να αναφερθεί ότι, οι Bauer και Hardwood (1997) σε έρευνα στην οποία διερευνούν την επικινδυνότητα λωρίδων αλλαγής ταχύτητας και εισόδων-εξόδων σε αυτοκινητοδρόμους στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν ως μέθοδο για την ανάπτυξη των προτύπων πρόβλεψης του αριθμού των ατυχημάτων την παλινδρόμηση Poisson. Επιπλέον, την παλινδρόμηση Poisson έχουν χρησιμοποιήσει και οι Μίαου et al., στο οποίο γίνεται αναλυτική αναφορά στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, καθώς και οι Μίαου & Lum (1993).

4.1.4. Αξιολόγηση προτύπων

Προκειμένου να εξεταστεί η εφαρμογή κάθε προτύπου που προκύπτει από την επεξεργασία δεδομένων στα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται κατάλληλοι στατιστικοί δείκτες και πραγματοποιούνται στατιστικοί έλεγχοι. Οι διαδικασίες αυτές είναι απαραίτητες προκειμένου να θεωρηθεί ικανοποιητικό κάθε μαθηματικό πρότυπο που κατασκευάζεται από την επεξεργασία δεδομένων στοιχείων. Ωστόσο, η αξιολόγηση ενός προτύπου δεν στηρίζεται μόνο στη συνέπειά του με τους στατιστικούς ελέγχους αλλά και στο βαθμό στον οποίο συμβαδίζει με τη λογική. Πιο συγκεκριμένα, κάθε πρότυπο που κατασκευάζεται, θα πρέπει εκτός από τον έλεγχο μέσω των στατιστικών δεικτών, να υπόκεινται σε λογική επεξεργασία προκειμένου να διαπιστωθεί αν σύμφωνα με την κατάλληλη εμπειρία, βασίζεται σε λογικά συμπεράσματα.

Ένα μέτρο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων αποτελεί το τυπικό σφάλμα (Standard Error). Το τυπικό σφάλμα τόσο στην κανονική κατανομή όσο και στις κατανομές Poisson και quasi-Poisson, που εφαρμόζονται στο παρόν κεφάλαιο, ορίζει ένα διάστημα μέσα στο οποίο αναμένεται να βρίσκεται η διαφορά $x - \mu$ με συγκεκριμένη πιθανότητα (όπου x : η τιμή της εκτίμησης μιας μεταβλητής και μ : η μέση τιμή των εκτιμήσεων της μεταβλητής). Η πιθανότητα αυτή ονομάζεται επίπεδο εμπιστοσύνης, ενώ το διάστημα που συνδέεται με αυτήν ονομάζεται διάστημα εμπιστοσύνης. Ακόμη, σε κάθε διάστημα εμπιστοσύνης αντιστοιχεί μια τιμή t (στατιστικός δείκτης t). Όταν ο στατιστικός δείκτης t παίρνει μεγαλύτερες τιμές, μεγαλώνει και το επίπεδο εμπιστοσύνης. Με άλλα λόγια, αυξάνεται η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών που εκτιμώνται από την εφαρμογή κάθε κατανομής (κανονικής, Poisson και quasi-Poisson).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, με τη διατύπωση κάθε μαθηματικού μοντέλου παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των μεταβλητών, η τιμή του τυπικού σφάλματος και η τιμή του στατιστικού δείκτη t , που συνοδεύει κάθε μεταβλητή και δηλώνει τη στατιστική της σημαντικότητα.

4.5. Συλλογή στοιχείων και επιλογή παραμέτρων προς εξέταση

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί η συσχέτιση του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων αλλά και των θανατηφόρων με τα διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, δηλαδή ο προσδιορισμός των παραμέτρων και των γεωμετρικών στοιχείων που συντελούν στην πρόκληση των οδικών ατυχημάτων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η βάση ατυχημάτων της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος (ΕΣΥΕ) για τα έτη 1996 έως και το 2006, πραγματοποιώντας έτσι μια μακροσκοπική ανάλυση των διαφόρων παραγόντων (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, είδος ατυχήματος κ.λ.π.) που επηρεάζουν τον αριθμό και τη συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων. Για τα τρία οδικά τμήματα που επιλέχθηκαν προς εξέταση, αναφέρεται πως μελετήθηκαν προσεκτικά τα στοιχεία των ατυχημάτων για το χρονικό διάστημα των 10 ετών ώστε να μην έχει πραγματοποιηθεί καμία γεωμετρική βελτίωση που θα οδηγούσε σε λανθασμένα συμπεράσματα την παρούσα μελέτη.

Το σημαντικότερο πρόβλημα για τις μελέτες που πραγματοποιούνται στην Ελλάδα είναι η έλλειψη στοιχείων και πληροφοριών. Το θέμα αυτό αντιμετωπίζεται εφόσον δημιουργηθούν οι κατάλληλοι μηχανισμοί συλλογής και επεξεργασίας αξιόπιστων στοιχείων από αρμόδιους φορείς και υπηρεσίες. Καταρχάς, στοιχεία που αφορούν τα οδικά τροχαία ατυχήματα συλλέγονται από την Τροχαία η οποία συμπληρώνει το Δελτίο Οδικού Τροχαίου Ατυχήματος (ΔΟΤΑ), για κάθε ατύχημα που έχει σημειωθεί και έχει ως αποτέλεσμα τον τραυματισμό ή θάνατο ενός ή περισσότερων προσώπων. Το δελτίο αυτό εκδίδεται από της ΕΣΥΕ συμπληρώνεται από την τροχαία και ισχύει για όλη τη χώρα ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στα δεδομένα.

Στο ΔΟΤΑ περιλαμβάνονται πληροφορίες που περιγράφουν όλες τις παραμέτρους του ατυχήματος καθώς και τις συνθήκες που επικρατούσαν όταν συνέβη αυτό. Τα δεδομένα στοιχεία της πρακτικής εφαρμογής προέρχονται από την ΕΣΥΕ. Αναφέρεται, ωστόσο, πως η καταγραφή των στοιχείων κάθε ατυχήματος πραγματοποιείται από την Τροχαία, γεγονός που σημαίνει πως ορισμένα στοιχεία, που μπορεί να αφορούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής της οδού που σημειώθηκε το ατύχημα, χαρακτηρίζονται από υποκειμενική κρίση του αστυνομικού με αποτέλεσμα τα στοιχεία αυτά να χαρακτηρίζονται από μειωμένο βαθμό αξιοπιστίας.

Με βάση το μεγάλο αριθμό μελετών που έχει πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο σε σχέση με το εξεταζόμενο θέμα και με γνώμονα τα διαθέσιμα στοιχεία, επιλέχθηκαν ως παράμετροι προς εξέταση οι καιρικές συνθήκες, η ύπαρξη ή μη διαχωριστικής νησίδας, η ύπαρξη ή μη ερείσματος δεξιά και αριστερά, η ύπαρξη στηθαίου ασφαλείας δεξιά, η αριστερή ή δεξιά στροφή, ευθυγραμμία ή καμπύλη και ανωφέρεια, κατωφέρεια (πίνακας 12). Από τη βιβλιογραφική έρευνα οι παράμετροι αυτές τείνουν να εμφανίζουν το μεγαλύτερο βαθμό συσχέτισης με τη συχνότητα εμφάνισης και τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων.

Οι παράμετροι που ήταν διαθέσιμες από τα δεδομένα στοιχεία και επεξεργάστηκαν σε επόμενο στάδιο ήταν η διαχωριστική νησίδα, η ευθυγραμμία, η ανωφέρεια – κατωφέρεια, η ύπαρξη δεξιά ερείσματος και στηθαίου ασφαλείας καθώς και οι καιρικές συνθήκες. Στον πίνακα που παρουσιάζεται παρακάτω, εμφανίζεται ο κωδικός του υπό εξέταση οδικού τμήματος (κωδικός 1000001α για το τμήμα Κόρινθος – Πάτρα και 10000008α για το τμήμα Αθήνα – Εύζωνοι), η χιλιομετρική θέση κάθε ατυχήματος που έχει σημειωθεί στις αντίστοιχες χρονολογίες που παρουσιάζονται και τα διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθώς και οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά το συμβάν κάθε τροχαίου ατυχήματος (πίνακας 12).

Road	km	year	urban	weather	median	lighting	Right_side_barrier	Left_side_barrier	Accident_type	direction_markings	Right_side_shoulder	Left_side_shoulder	nr_directions	Straight	Right_turn	Left_turn	Level_crossing	Ascent	Descent	Nr_killed	Nr_vehicles	
10000001a	51	1996	2	2	1	1	1	1	8	4	2	2	2	2	1	3	3	2	3	3	0	1
10000001a	207	1996	2	1	1	1	2	2	2	4	1	1	2	1	3	3	2	3	3	0	2	
10000001a	238	1996	2	2	1	1	2	2	6	4	1	1	2	1	3	3	2	3	3	1	1	
10000001a	199	1996	2	3	2	1	2	2	5	1	2	2	2	1	3	3	1	3	3	0	1	
10000001a	19	1996	1	1	2	1	2	2	6	1	2	2	2	1	3	3	2	3	3	0	1	
10000001a	16,5	1996	2	2	1	1	2	2	3	4	2	2	2	1	3	3	2	3	3	0	2	
10000001a	51	1996	2	1	1	3	1	1	5	4	2	2	2	1	3	3	2	3	3	0	2	
10000001a	36	1996	2	2	2	3	1	1	8	4	2	2	1	2	3	3	2	3	3	0	1	
10000001a	33	1996	2	2	2	3	2	2	4	4	2	2	2	1	3	3	2	1	3	0	2	
10000001a	354	1996	2	3	1	2	2	2	2	4	1	1	2	1	3	3	1	3	1	0	3	
10000001a	363	1996	2	1	2	2	2	2	4	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	1	3	
10000001a	367	1996	2	1	2	1	2	2	7	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	1	1	
10000001a	355	1996	2	1	2	1	1	1	3	1	1	1	2	1	3	3	2	1	3	0	3	
10000001a	264	1996	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	3	2	2	3	3	2	2	
10000001a	307	1996	2	1	2	1	2	2	7	1	1	1	2	2	1	3	2	3	3	0	1	
10000001a	278	1996	2	2	2	1	2	2	4	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	0	2	
10000008a	1	1999	2	1	2	2	1	1	7	4	1	1	2	1	3	3	2	3	3	1	1	
10000008a	2	1996	2	1	1	1	2	2	3	4	2	2	2	1	3	3	1	3	3	0	3	
10000008a	2	2004	2	1	1	1	1	1	7	4	1	2	2	1	3	3	2	3	1	1	1	
10000008a	4,5	2003	1	3	1	3	1	1	3	4	2	2	2	1	3	3	2	3	3	0	3	
10000001a	59	1996	2	1	1	1	1	1	6	4	1	1	2	1	3	3	2	3	3	0	1	
10000001a	109	1996	2	1	2	1	1	1	7	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	0	1	
10000001a	96,3	1996	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	3	3	2	1	3	0	2	
10000001a	88,4	1996	2	2	2	3	2	2	2	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	1	2	
10000001a	432	1996	2	2	2	3	2	2	2	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	0	2	
10000001a	433	1996	2	2	2	1	2	2	5	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	1	1	
10000001a	200	1996	2	1	1	1	2	2	4	4	2	2	2	1	3	3	1	3	3	0	2	
10000001a	194	1996	2	1	2	1	2	2	5	1	2	2	2	1	3	3	2	3	3	3	1	
10000001a	251	1996	2	2	2	3	1	1	5	1	1	1	2	1	3	3	2	3	3	0	1	
10000001a	194	1996	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	3	3	2	3	3	1	2	
10000001a	199	1996	2	1	2	1	2	2	7	1	2	2	2	1	3	3	2	3	3	0	1	
10000001a	190	1996	1	2	2	3	2	2	2	1	2	2	2	1	3	3	2	3	3	0	2	

Πίνακας 12: Ενδεικτική παρουσίαση στοιχείων τροχαίων ατυχημάτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του οδικού άξονα ΠΑΘΕ
Πηγή: www.statistics.gr

Σε επόμενο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της ομαδοποίησης των παραπάνω στοιχείων ώστε να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους μετά την εισαγωγή τους στο στατιστικό πρόγραμμα R Project for Statistical Computing για τη δημιουργία των μαθηματικών μοντέλων. Το λογισμικό Excel αποτέλεσε ένα από τα βασικότερα εργαλεία για την εκπόνηση της εργασίας αυτής καθώς χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για την κατασκευή των πινάκων ομαδοποίησης των στοιχείων οι οποίοι αποτέλεσαν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των μαθηματικών προτύπων. Η χρήση του προγράμματος αυτού βοήθησε επίσης στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων κατά τα πρώτα στάδια της εργασίας αφού χρησιμοποιήθηκε για πρώιμες στατιστικές αναλύσεις.

Πριν την δημιουργία των μεταβλητών που θα χρησιμοποιούνταν για τις αναλύσεις πραγματοποιήθηκε έλεγχος της βάσης δεδομένων για τιμές που δεν παρουσιάζουν συνέπεια με τη λογική και αποτελούν πιθανώς λανθασμένες καταγραφές. Επίσης, εξαιρέθηκαν από τον πίνακα των δεδομένων όλες εκείνες οι περιπτώσεις (cases) οι οποίες είχε αποφασισθεί να μη ληφθούν υπόψη στην ανάπτυξη των μαθηματικών προτύπων ενώ στις περιπτώσεις όπου στον πίνακα δεδομένων μια ή περισσότερες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών ήταν άγνωστες (δεν είχαν καταγραφεί στο ΔΟΤΑ), οι τιμές αυτές εξήχθησαν από τον πίνακα.

Το Excel χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για το μετασχηματισμό των πινάκων των στοιχείων έτσι ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους από το λογισμικό R Project for Statistical Computing. Η εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε απευθείας από τους πίνακες αποτελεσμάτων του Excel ενώ στη συνέχεια ακολούθησε η μορφοποίηση των πινάκων αυτών. Η δομή τους αποτελείται από στήλες οι

οποίες αναπαριστούν τις διάφορες μεταβλητές και γραμμές κάθε μια από τις οποίες απεικονίζει μια περίπτωση (case). Οι μεταβλητές αυτές παίρνουν όλες αριθμητικές τιμές.

Η επιλογή των τριών υπό εξέταση οδικών τμημάτων του ΠΑΘΕ έγινε ύστερα από μελέτη του αριθμού των ατυχημάτων που έχουν σημειωθεί και επιλέχθηκαν δύο οδικά τμήματα που συγκεντρώνουν μεγάλο αριθμό τροχαίων ατυχημάτων και θεωρούνται από τα πιο επικίνδυνα τμήματα (Τμήμα Κόρινθος – Ξυλόκαστρο και Πέταλο Μαλιακού) καθώς και ένα τμήμα 40 χιλιομέτρων που ξεκινά από την περιοχή της Λάρισας. Πρόκειται για συνολικά 120 χιλιόμετρα του οδικού άξονα ΠΑΘΕ τα οποία εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσα εργασίας.

Η ομαδοποίηση έγινε αρχικά ανά 2 χιλιόμετρα, στη συνέχεια ανά χιλιόμετρο και ανά μισό χιλιόμετρο και εφόσον δεν κρίθηκε ικανοποιητική, πραγματοποιήθηκε εν τέλει ανά 200 μέτρα του κάθε οδικού τμήματος υπό εξέταση. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ως την τελική ομαδοποίηση ήταν πολλές, όμως το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό. Παρουσιάζεται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 13) η ομαδοποίηση που πραγματοποιήθηκε για το οδικό τμήμα Κορίνθου – Ξυλόκαστρου ανά 200 μέτρα και τα γεωμετρικά στοιχεία που επιλέχθηκαν προς εξέταση σε επόμενο στάδιο μέσω κατάλληλου στατιστικού προγράμματος. Τονίζεται ότι σε κάθε ομαδοποίηση υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται στα υπό εξέταση οδικά τμήματα του ΠΑΘΕ καθώς και ο συνολικός αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων αντίστοιχα. Επιπλέον, όπως φαίνεται και από τον πίνακα της ομαδοποίησης των στοιχείων, για ορισμένες περιοχές των οδικών τμημάτων που εξετάστηκαν (π.χ. 80.8-81, 83.6-83.8) δεν σημειώθηκε ατύχημα γι αυτό και δεν παρουσιάζονται στον πίνακα.

Κωδικός Οδικού τμήματος	Χιλιομετρική θέση (km)	Έτος (year)	Τμήμα (Segment)	Διαχωριστική νησίδα (Median)	Ευθυγραμμία (Straight)	Κατωφέρεια (Descent)	Αριθμός Νεκρών (Nr_Killed)	Συνολικός αριθμός ατυχημάτων (TotalAcc)	Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων (FatalAcc)
1000008α	80 - 80,2	1996	1	0	1	0	0	3	0
1000008α	80,2 - 80,4	1996	1	1	1	1	1	1	1
1000008α	80,4 - 80,6	1996	1	0	1	0	0	3	0
1000008α	80,6 - 80,8	2004	1	0	1	1	1	1	1
1000008α	81 - 81,2	1999	1	0	1	1	1	2	1
1000008α	81,2 - 81,4	1997	1	1	1	0	0	2	0
1000008α	81,4 - 81,6	2000	1	1	1	1	2	2	1
1000008α	81,6 - 81,8	1998	1	1	1	0	0	1	0
1000008α	81,8 - 82	1996	1	0	1	1	0	6	0
1000008α	82 - 82,2	1997	1	1	1	0	0	3	0
1000008α	82,2 - 82,4	1996	1	0	1	1	3	2	1
1000008α	82,4 - 82,6	2002	1	0	1	0	0	3	0
1000008α	82,6 - 82,8	2004	1	1	1	1	0	2	0
1000008α	83 - 83,2	2005	1	0	1	0	2	1	2
1000008α	83,2 - 83,4	2005	1	0	1	0	1	1	1
1000008α	83,4 - 83,6	2000	1	1	1	1	0	1	0
1000008α	84 - 84,2	2000	1	1	1	0	0	2	0
1000008α	84,2 - 84,4	2004	1	1	1	0	0	1	0
1000008α	85 - 85,2	1996	1	0	1	0	0	3	0
1000008α	85,2 - 85,6	1996	1	1	1	1	0	2	0
1000008α	85,6 - 85,8	1996	1	0	1	0	2	3	1
1000008α	86,6 - 86,8	1996	1	1	1	0	0	1	0
1000008α	86,8 - 87	1998	1	0	1	0	0	2	0
1000008α	87	1996	1	0	1	1	0	3	0

Πίνακας 13: Ενδεικτική παρουσίαση ομαδοποίησης στοιχείων οδικού τμήματος Κορίνθου – Ξυλόκαστρου ανά 200 μέτρα

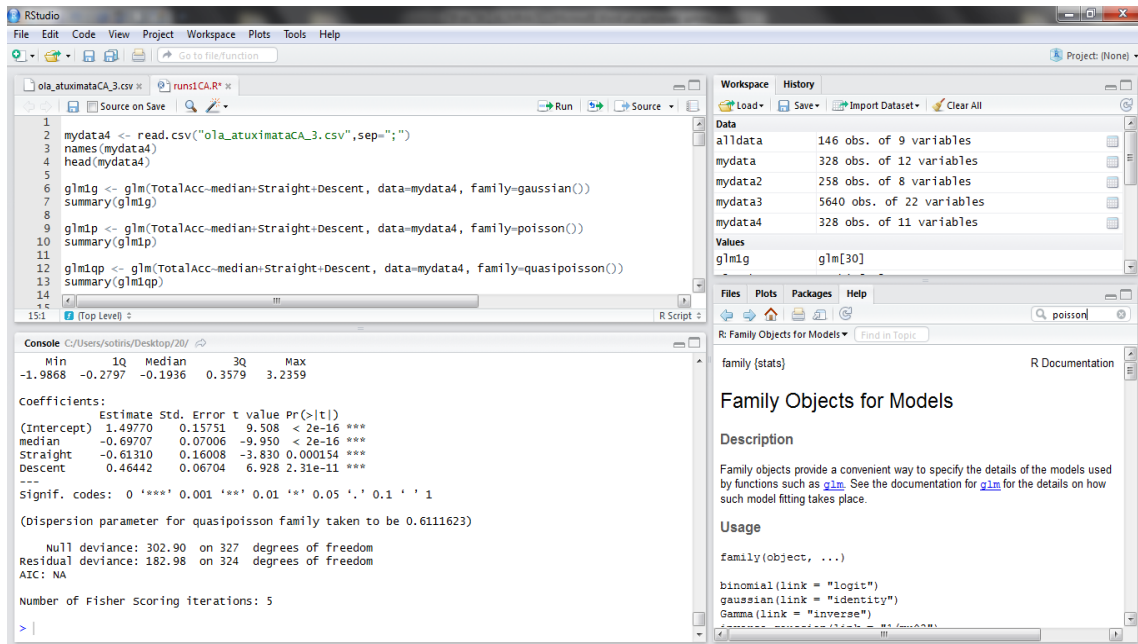
Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την κατασκευή των τελικών πινάκων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των μαθηματικών προτύπων περιελάμβαναν προχωρημένη επεξεργασία των δεδομένων πέρα από τα όρια των δυνατοτήτων του Microsoft Excel. Οι διαδικασίες αυτές ήταν απαραίτητες καθώς κατά την αρχική επεξεργασία προέκυπταν ανεπιθύμητα φαινόμενα στη δομή του πίνακα. Ακόμη, πριν την τελική εισαγωγή των δεδομένων σε αυτό ήταν απαραίτητο να γίνουν κατανοητές διάφορες ιδιότητες των δεδομένων (όπως η κατανομή που ακολουθούν) έτσι ώστε να είναι διαθέσιμες όλες οι πληροφορίες για την πραγματοποίηση της τελικής ανάλυσης. Σε επόμενο στάδιο ακολούθησε στο στατιστικό πρόγραμμα η προχωρημένη επεξεργασία των δεδομένων για την εξαγωγή των μαθηματικών μοντέλων.

4.6. Επεξεργασία στοιχείων - Ανάλυση

Στο παρόν υποκεφάλαιο πραγματοποιούνται στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων στοιχείων οι οποίες αφορούν στην ανάπτυξη μαθηματικών προτύπων παλινδρόμησης που συγκρίνουν τις παραμέτρους που εκφράζουν τη γεωμετρία των υπό εξέταση οδικών τμημάτων με τη χρήση τριών προτύπων, της γραμμικής παλινδρόμησης, της παλινδρόμησης Poisson και της quasi-Poisson. Τα πρότυπα αυτά αποτελούν συνήθεις μεθοδολογίες στις έρευνες οδικής ασφάλειας καθώς, όπως έχει αναφερθεί αναλυτικά και στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, η συμπεριφορά των οδικών ατυχημάτων περιγράφεται επιτυχώς και ικανοποιητικά από την κατανομή Poisson και την ευρύτερη οικογένεια κατανομών στην οποία αυτή ανήκει (*Lord et. al. 2004*).

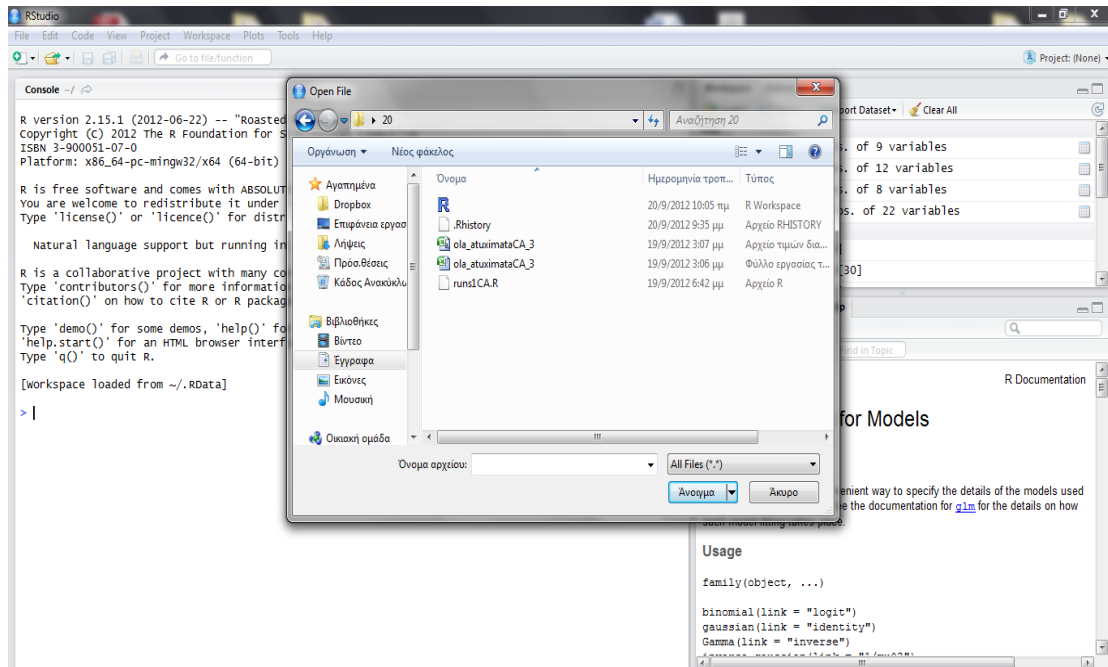
4.6.1. Στατιστικό πρόγραμμα R Project for Statistical Computing

Για την προχωρημένη στατιστική επεξεργασία των στοιχείων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα R Project for Statistical Computing, το οποίο αποτελεί ένα εύκολο και φιλικό ως προς τη χρήση του πρόγραμμα. Οι δυνατότητες που προσφέρει είναι πολλές προσφέροντας από παραγωγή απλών περιγραφικών στατιστικών, μέχρι ανάπτυξη πολύπλοκων μη γραμμικών προτύπων. Η επεξεργασία των δεδομένων γινόταν κυρίως με τη χρήση του Excel το οποίο σε κάθε φάση της επεξεργασίας δίνει τη δυνατότητα μορφοποίησης των δεδομένων ενώ αναφέρεται πως μπορεί να γίνει και μέσω του στατιστικού προγράμματος. Παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικά το παράθυρο εργασίας της διεπαφής του R Studio για το πρόγραμμα R, όπου πάνω αριστερά εισάγονται τα δεδομένα και πληκτρολογούνται οι επιθυμητές εντολές εφαρμογής ποικίλων μαθηματικών μοντέλων και ακριβώς από κάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων που έχουν εισαχθεί. Στη δεξιά στήλη φαίνονται στοιχεία των δεδομένων και ο αριθμός των μεταβλητών που έχουν εισαχθεί ενώ ακριβώς από κάτω προσφέρεται η δυνατότητα εύρεσης του επιθυμητού μοντέλου από την ηλεκτρονική βιβλιοθήκη του προγράμματος (*εικόνα 37*).



Εικόνα 37: Παράθυρο εργασίας της διεπαφής R Studio για το πρόγραμμα R

Το αρχείο εισαγωγής των επιθυμητών δεδομένων αποτελούσε αρχείο Excel αποθηκευμένο κάθε φορά στην κατάλληλη μορφή, αρχείο τιμών csv διαχωρισμένο με κόμματα, ώστε να είναι δυνατή η ανάγνωση και επεξεργασία του από το πρόγραμμα. Σε κάθε δοκιμή που πραγματοποιούνταν και κρινόταν απαραίτητη η εισαγωγή κι άλλων δεδομένων από τον πίνακα των δεδομένων στοιχείων, με στόχο τη λήψη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων, ήταν απαραίτητη η επεξεργασία του αρχείου Excel, η αποθήκευσή του στην κατάλληλη μορφή και η μετέπειτα εισαγωγή στο πρόγραμμα. Η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων ήταν απλή και μετά το άνοιγμα του αρχείου csv μπορούσε να πληκτρολογηθεί η επιθυμητή εντολή εφαρμογής του κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου (εικόνα 38).



Εικόνα 38: Διαδικασία εισαγωγής αρχείου δεδομένων

Στο σημείο αυτό αναφέρεται ότι τα δεδομένα εισαγωγής χαρακτηρίζονταν από τις τιμές 0 και 1. Η τιμή 1 χαρακτηρίζει την ύπαρξη της παραμέτρου που εξετάζεται κάθε φορά και αντίστοιχα η τιμή 0 δηλώνει την απουσία της. Πιο συγκεκριμένα και για να καταστεί αυτό σαφές αναφέρεται ότι η τιμή 1 στην παράμετρο Straight δηλώνει ύπαρξη ευθυγραμμίας ενώ η τιμή 0 δηλώνει απουσία αυτής και άρα ύπαρξη καμπύλων τμημάτων στην περιοχή που συνέβη το υπό εξέταση τροχάιο ατύχημα. Το αντίστοιχο συμβαίνει και για τις υπόλοιπες παραμέτρους. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα πραγματοποιούνται η ανάγνωσή τους και στη συνέχεια μπορούσαν να πληκτρολογηθούν οι απαραίτητες εντολές για τη δημιουργία των μαθηματικών μοντέλων. Αναφέρεται, επίσης, πως μετά τη δημιουργία των πρώτων μαθηματικών μοντέλων που συσχέτιζαν τον αριθμό των ατυχημάτων με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν και για τα τρία οδικά τμήματα που εξετάστηκαν, διατυπώθηκε και ένα μικτό γραμμικό μοντέλο το οποίο παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης διαφορετικής τιμής της παραμέτρου της κατωφέρειας για κάθε οδικό τμήμα που εξετάστηκε.

4.6.2. Επεξεργασία στοιχείων και παρουσίαση αποτελεσμάτων

Προκειμένου να διατυπωθούν τα πρότυπα που παρουσιάζονται στην παρούσα υποενότητα, πραγματοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός δοκιμών κατά τη διάρκεια των προκαταρκτικών αλλά και των προχωρημένων αναλύσεων μέχρι τα αποτελέσματα που εξάγονταν να θεωρηθούν αξιόπιστα και ικανοποιητικά. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας παρήχθησαν μέσα από μία συνεχή διαδικασία εμπλουτισμού των στοιχείων εισόδου και ανακατασκευής των εντολών που εκτελούνταν. Ο αριθμός των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν μέχρι τη δημιουργία των τελικών μοντέλων ήταν μεγάλος καθώς ορισμένες παράμετροι δεν προέκυπταν στατιστικά σημαντικές με αποτέλεσμα να πρέπει να αφαιρούνται ή να συνδυάζονται με την ύπαρξη άλλων, σύμφωνα με την σημαντικότητα αυτών στη διαμόρφωση των τελικών μοντέλων.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά εισήχθησαν τα δεδομένα του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων (TotalAcc) και οι παράμετροι καιρικές συνθήκες, η ύπαρξη ή μη διαχωριστικής νησίδας, η ύπαρξη ή μη ερείσματος δεξιά και αριστερά, η ύπαρξη στηθαίου ασφαλείας δεξιά, η αριστερή ή δεξιά στροφή, ευθυγραμμία ή καμπύλη και ανωφέρεια, κατωφέρεια. Ύστερα από πολλές δοκιμές με τα δεδομένα στοιχεία, ορισμένες παράμετροι προέκυψαν στατιστικά μη σημαντικές και εκείνες που παρέμειναν, και προέκυψε ότι επηρεάζουν σημαντικά τον αριθμό των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων, ήταν η ύπαρξη ή απουσία της διαχωριστικής νησίδας (Median), η ύπαρξη ευθυγραμμίας ή καμπύλων τμημάτων (Straight) καθώς και η ύπαρξη κατωφέρειας (Descent) ενώ όσον αφορά στον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων η παράμετρος της ευθυγραμμίας δεν ήταν στατιστικά σημαντική γι αυτό και απορρίφθηκε από το τελικό μοντέλο. Οι παράμετροι αυτές είναι στατιστικά σημαντικές στα μοντέλα που προέκυψαν ενώ αναφέρεται ότι η συσχέτισή τους με τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων είναι σύμφωνη με την ευρεία βιβλιογραφική έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

Αρχικά, εξετάστηκε ο συνολικός αριθμός των ατυχημάτων (TotalAcc) στα υπό εξέταση οδικά τμήματα και η συσχέτιση αυτού με τις τρεις παραμέτρους που αναφέρθηκαν και εφαρμόστηκε το μοντέλο της κανονικής κατανομής (κατανομή του Gauss), η οποία έδωσε σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα, ωστόσο σημειώθηκαν αποκλίσεις και αποφασίστηκε και η εφαρμογή της κατανομής Poisson και quasi-Poisson. Τα αποτελέσματα και των τριών μοντέλων που προέκυψαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τις τιμές των εκτιμήσεων (Estimates), τις τιμές των τυπικών σφαλμάτων (Std. Error) και τις τιμές του συντελεστή t (t-value) (πίνακας 14).

Normal			
Συντελεστής	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	t -value
Σταθερά	4.722	0.587	8.043
Διαχωριστική νησίδα	-1.262	0.150	-8.391
Ευθυγραμμία	-2.292	0.593	-3.864
Κατωφέρεια	1.389	0.207	6.701
<i>Null deviance:</i>		831.11	(327 d.o.f.)
<i>Residual deviance:</i>		555.60	(324 d.o.f.)
AIC: 1113.7			

Poisson			
Συντελεστής	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	z -value
Σταθερά	1.489	0.202	7.383
Διαχωριστική νησίδα	-0.681	0.090	-7.555
Ευθυγραμμία	-0.613	0.205	-2.993
Κατωφέρεια	0.495	0.089	5.591
<i>Null deviance:</i>		302.9	(327 d.o.f.)
<i>Residual deviance:</i>		181.0	(324 d.o.f.)
AIC: 1015.2			

Quasi-Poisson			
Συντελεστής	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	z -value
Σταθερά	1.489	0.157	9.493
Διαχωριστική νησίδα	-0.681	0.070	-9.714
Ευθυγραμμία	-0.613	0.159	-3.848
Κατωφέρεια	0.495	0.069	7.188
<i>Null deviance:</i>		302.9	(327 d.o.f.)
<i>Residual deviance:</i>		181.0	(324 d.o.f.)
AIC: -			

Πίνακας 14: Εφαρμογή μοντέλων και εκτίμηση αποτελεσμάτων για τον συνολικό αριθμό ατυχημάτων (TotalAcc)

Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής και των τριών κατανομών που παρατίθενται παραπάνω, φαίνεται ότι η ύπαρξη διαχωριστική νησίδα επιδρά σημαντικά στη μείωση του αριθμού των οδικών τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται κατά μήκος των υπό εξέταση οδικών τμημάτων (αρνητικός συντελεστής της παραμέτρου της διαχωριστικής νησίδας), κάτι που υποστηρίζεται σαφώς και από τα αποτελέσματα ποικίλων άλλων ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και παρατίθενται στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας.

Επιπλέον, η ύπαρξη ευθυγραμμίας προκύπτει πως συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του αριθμού των ατυχημάτων καθώς στην ευθυγραμμία παρέχεται μεγαλύτερη ορατότητα και ο οδηγός έχει καλύτερο έλεγχο του οχήματος. Αντίθετα, σε τμήματα του οδικού άξονα που χαρακτηρίζονται από καμπύλες, ο έλεγχος του οχήματος είναι πιο δύσκολος λόγω των φυγόκεντρων δυνάμεων και των επικλίσεων που συμβάλλουν σε αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων. Επιπλέον, στα καμπύλα τμήματα η αυξημένη παρουσία τροχαίων ατυχημάτων οφείλεται στη μειωμένη ορατότητα που επικρατεί.

Όσον αφορά στην παράμετρο της κατωφέρειας, παρατηρείται πως εμφανίζει θετικό συντελεστή γεγονός που σημαίνει πως συμβάλλει αυξητικά στον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων. Το αποτέλεσμα είναι λογικό καθώς η ύπαρξη κατωφέρειας σε συνδυασμό με υψηλές ταχύτητες δυσκολεύει σημαντικά τη διατήρηση του ελέγχου του οχήματος, αυξάνοντας την πιθανότητα εκτροπής του από την κανονική του πορεία. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί πως η ύπαρξη κατωφέρειας σε συνδυασμό με την ύπαρξη δυσμενών καιρικών συνθηκών μπορούν να αυξήσουν δραματικά την εμφάνιση των τροχαίων ατυχημάτων λόγω μείωσης της πρόσφυσης κατά μήκος του οδοστρώματος και ειδικά στα σημεία εκείνα που χαρακτηρίζονται από κατωφέρεια.

Μετά την εφαρμογή του μοντέλου της κανονικής κατανομής και της κατανομής του Poisson, εφαρμόστηκε το μοντέλο της κατανομής quasi-Poisson με στόχο τη διερεύνηση καλύτερης προσαρμογής των δεδομένων σε αυτό. Οι τιμές των εκτιμήσεων των συντελεστών (estimates) που προέκυψαν, είναι ίδιες με τις αντίστοιχες που προέκυψαν από το μοντέλο Poisson, ωστόσο οι τιμές των τυπικών σφαλμάτων είναι πολύ μικρότερες στην περίπτωση του quasi-Poisson. Η στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων, ωστόσο, και στις τρεις κατανομές που εφαρμόστηκαν είναι μεγάλη καθώς η τιμή του συντελεστή t (t -value) είναι μεγαλύτερη του 2.58 γεγονός που σημαίνει ότι οι παράμετροι είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο μεγαλύτερο από το 99%. Παρατηρείται, ακόμη πως η στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων στην περίπτωση του quasi-Poisson είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει για το μοντέλο του Poisson.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να πραγματοποιηθεί σύντομη αναφορά στον δείκτη AIC (Akaike Information Criterion) ο οποίος αποτελεί δείκτη εκτίμησης της μεγίστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood estimation) για τη σύγκριση μοντέλων. Στους πίνακες που παρατίθενται παραπάνω παρουσιάζεται η τιμή του AIC για κάθε μαθηματικό μοντέλο που εφαρμόστηκε. Ωστόσο, δεν παρουσιάζεται η τιμή του AIC για το μοντέλο quasi-Poisson, καθώς λόγω του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται η εκτίμηση αυτού, που δεν είναι με εκτίμηση μεγίστης πιθανοφάνειας, δεν ορίζεται η πιθανοφάνεια και συνεπώς δεν μπορεί να οριστεί το AIC.

Normal			
Συντελεστής	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	t -value
Σταθερά	0.773	0.063	12.267
Διαχωριστική νησίδα	-0.450	0.093	-4.844
Κατωφέρεια	0.467	0.129	3.626
<i>Null deviance:</i>		243.44	(327 d.o.f.)
<i>Residual deviance:</i>		214.75	(325 d.o.f.)
AIC: 799.9			

Poisson			
Συντελεστής	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	z -value
Σταθερά	-0.275	0.089	-3.077
Διαχωριστική νησίδα	-0.803	0.167	-4.810
Κατωφέρεια	0.533	0.158	3.373
<i>Null deviance:</i>		369.61	(327 d.o.f.)
<i>Residual deviance:</i>		326.38	(325 d.o.f.)
AIC: 678.1			

Quasi-Poisson			
Συντελεστής	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	z -value
Σταθερά	-0.275	0.088	-3.135
Διαχωριστική νησίδα	-0.803	0.164	-4.901
Κατωφέρεια	0.533	0.155	3.437
<i>Null deviance:</i>		369.61	(327 d.o.f.)
<i>Residual deviance:</i>		326.38	(325 d.o.f.)
AIC: -			

Πίνακας 15: Εφαρμογή μοντέλων και εκτίμηση αποτελεσμάτων για τον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων (FatalAcc)

Εξετάστηκε, επίσης, η συσχέτιση του αριθμού των θανατηφόρων ατυχημάτων με επιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδικών τμημάτων που μελετήθηκαν. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ύστερα από αρκετές δοκιμές προέκυψε ότι οι παράμετροι της ύπαρξης της διαχωριστικής νησίδας και της κατωφέρειας είναι στατιστικά σημαντικές και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αύξηση του αριθμού των θανατηφόρων ατυχημάτων (πίνακας 15). Η ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του αριθμού των θανατηφόρων, τροχαίων ατυχημάτων καθώς, όπως έχει αναφερθεί και στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, μειώνει τις πιθανότητες των μετωπικών συγκρούσεων που στο μεγαλύτερο ποσοστό τους οδηγούν σε θανατηφόρα ατυχήματα. Επιπλέον, η ύπαρξη κατωφέρειας αυξάνει τον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και στην περίπτωση των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων.

Η παράμετρος της ευθυγραμμίας, όπως αναφέρθηκε, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική στην περίπτωση των θανατηφόρων ατυχημάτων, ωστόσο η παράμετρος της κατωφέρειας είναι στατιστικά σημαντική και εμφανίζει θετικό συντελεστή, γεγονός που σημαίνει πως συμβάλλει αυξητικά στον αριθμό των τροχαίων, θανατηφόρων ατυχημάτων. Το αποτέλεσμα είναι λογικό για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν στην περίπτωση των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων.

Και στην περίπτωση των θανατηφόρων ατυχημάτων εφαρμόστηκαν οι τρεις κατανομές οι οποίες έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα (πίνακας 15). Όσον αφορά στις κατανομές Poisson και quasi-Poisson, όπως και στην περίπτωση του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων, οι τιμές των εκτιμήσεων των συντελεστών (estimates) που προέκυψαν για το μοντέλο από την εφαρμογή της κατανομής του Poisson, είναι ίδιες με τις αντίστοιχες που προέκυψαν από το μοντέλο quasi-Poisson, ωστόσο, οι τιμές των τυπικών σφαλμάτων είναι μικρότερες στην περίπτωση του quasi-Poisson. Η στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων και στις τρεις κατανομές που εφαρμόστηκαν είναι μεγάλη καθώς η τιμή του συντελεστή t (t -value) είναι μεγαλύτερη του 2.58 γεγονός που σημαίνει και πάλι ότι οι παράμετροι είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο μεγαλύτερο από το 99%. Παρατηρείται, ακόμη πως η στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων στην περίπτωση του quasi-Poisson είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει για το μοντέλο του Poisson. Όσον αφορά την τιμή του AIC ισχύουν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για την περίπτωση των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς των μοντέλων που εφαρμόστηκαν και στις δύο περιπτώσεις, του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων και των θανατηφόρων (διαγράμματα 50 και 51). Για κάθε κατανομή που εφαρμόστηκε (κανονική, κατανομή Poisson και quasi-Poisson) παρατίθενται το διάγραμμα της διασπορά των μοντέλων και μια γραφική παράσταση των στατιστικών του Cook (Cook Statistics) τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια για κάθε περίπτωση.

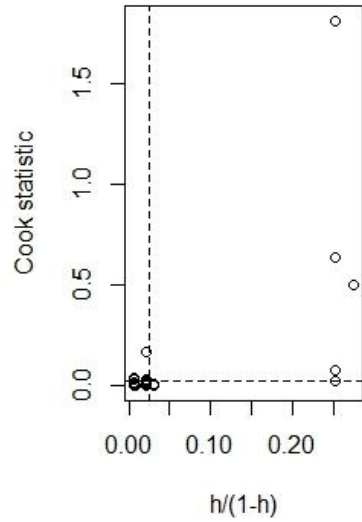
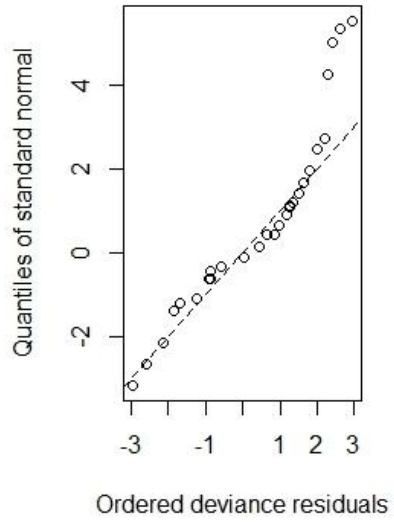
Όσον αφορά στα διαγράμματα της διασποράς, ο άξονας x αντιπροσωπεύει την απόκλιση των τυποποιημένων καταλοίπων των μεταβλητών (residuals) του κάθε μοντέλου, ενώ ο άξονας y αντιπροσωπεύει τα ποσοστιαία σημεία της κανονικής κατανομής. Η διακεκομμένη γραμμή που παρουσιάζεται στο διάγραμμα, είναι η γραμμή (με μηδενική τιμή σταθεράς και κλίση 1) που θα ακολουθούσαν τα κατάλοιπα του μοντέλου στην περίπτωση που κατανέμονταν κανονικά. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που τα κατάλοιπα ήταν κανονικά κατανεμημένα, όλα τα σημεία θα έπεφταν πάνω στη διακεκομμένη γραμμή. Ωστόσο, όπως φαίνεται από το διάγραμμα στην περίπτωση του μοντέλου της κανονικής κατανομής (Gaussian), τόσο στην περίπτωση των συνολικών ατυχημάτων όσο και στην περίπτωση των θανατηφόρων, οι αποκλίσεις των καταλοίπων δεν κατανέμονται κανονικά και παρατηρείται

σημαντική απόκλιση στην πάνω δεξιά περιοχή του διαγράμματος (*διάγραμμα 53*). Στην περίπτωση των θανατηφόρων ατυχημάτων παρατηρείται απόκλιση και στην κάτω αριστερά περιοχή του διαγράμματος (*διάγραμμα 54*).

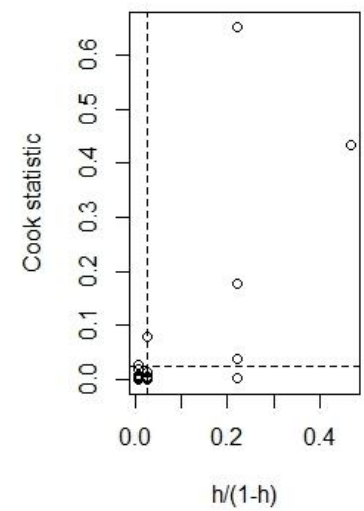
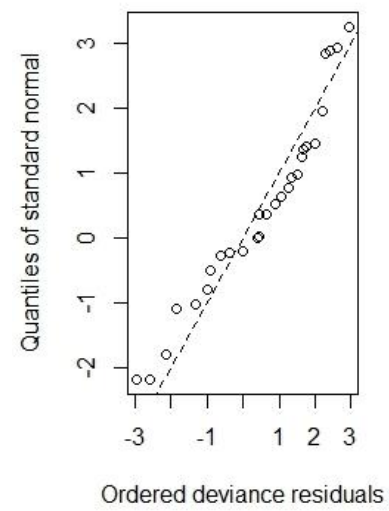
Ωστόσο, μετά την εφαρμογή της κατανομής Poisson και quasi-Poisson παρατηρείται καλύτερη προσαρμογή των δεδομένων καθώς τα κατάλοιπα δείχνουν να κατανέμονται κανονικά. Παρατηρείται η ικανοποιητικότερη προσαρμογή των δεδομένων σε αυτά, η οποία εκφράζεται μέσω της μικρότερης διασποράς τους. Δεν παρατηρείται, ωστόσο, σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα των μοντέλων του Poisson και του quasi-Poisson. Αυτό, όμως, δεν σημαίνει πως τα δύο μοντέλα δεν διαφέρουν καθώς όπως προέκυψε από τα παραπάνω αποτελέσματα (*πίνακες 14 και 15*), υπάρχει διαφορά στις τιμές των τυπικών σφαλμάτων και των συντελεστών t των παραμέτρων. Συνεπώς, δεν θα πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός αυτό, το οποίο θα μπορούσε υπό άλλες συνθήκες να οδηγήσει σε λάθος εκτίμηση της σημαντικότητας των παραμέτρων και συνεπώς αποδοχή τους ή όχι στο μοντέλο.

Ο δείκτης του Cook (Cook statistic) χρησιμοποιείται για να δείξει ποιες παρατηρήσεις έχουν μεγάλη επιρροή στα αποτελέσματα του μοντέλου και αποκλίνουν από τις προβλέψεις του (*Yannis et al. 2007*). Οι οριακές τιμές που επιλέγονται για τον εντοπισμό αυτών των παρατηρήσεων παρουσιάζονται στο σχήμα που παρατίθεται, με κάθε κατανομή που εξετάστηκε, ως μια κατακόρυφη και μια οριζόντια διακεκομμένη γραμμή. Οι τιμές που βρίσκονται πάνω και δεξιά των γραμμών αυτών, αντίστοιχα, είναι αυτές που έχουν αυξημένη επιρροή (leverage) στο μοντέλο. Όσο λιγότερες παρατηρήσεις βρίσκονται στην περιοχή αυτή, τόσο καλύτερα αποτυπώνει το μοντέλο το φαινόμενο. Όπως προκύπτει τα *διαγράμματα 50 και 51* και για τα τρία μοντέλα των κατανομών που εφαρμόστηκαν, η πλειοψηφία των παραμέτρων που εξετάστηκαν βρίσκονται κάτω από τον οριζόντιο άξονα και αριστερά του κατακόρυφου και άρα δεν έχουν μεγάλη επιρροή στα μοντέλα. Οι τιμές που βρίσκονται δεξιά του κατακόρυφου άξονα και στις τρεις περιπτώσεις είναι λίγες ενώ στα μοντέλα των κατανομών Poisson και quasi-Poisson είναι λιγότερες από τις τιμές του μοντέλου της κανονικής κατανομής, γεγονός που σημαίνει ότι τα δεδομένα προσαρμόζονται πιο ικανοποιητικά στις κατανομές των Poisson και quasi-Poisson (*διάγραμμα 50*). Τα ίδια ισχύουν και στην περίπτωση των θανατηφόρων ατυχημάτων (*διάγραμμα 51*).

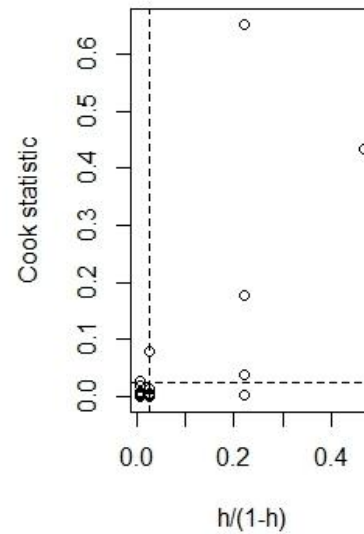
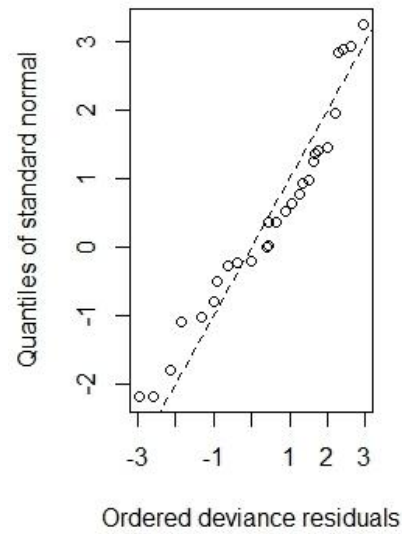
Gaussian



Poisson

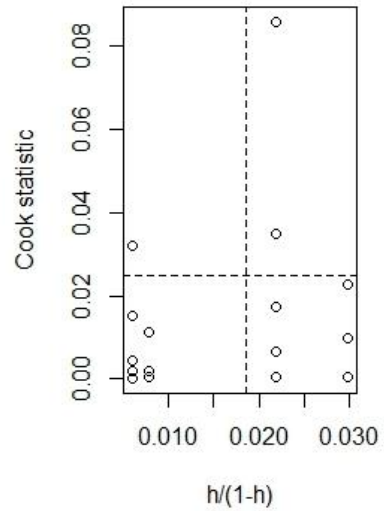
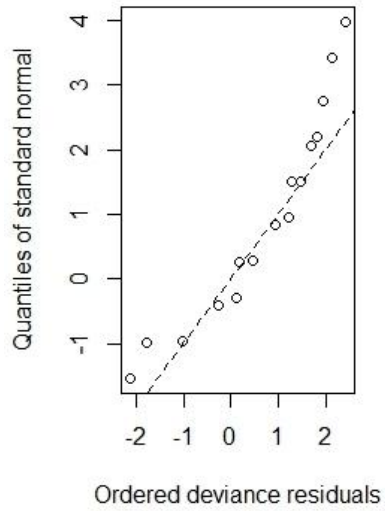


Quasi-Poisson

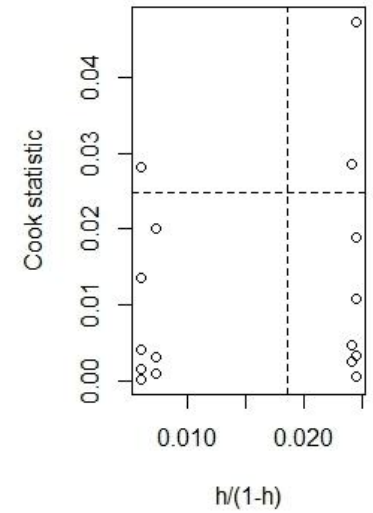
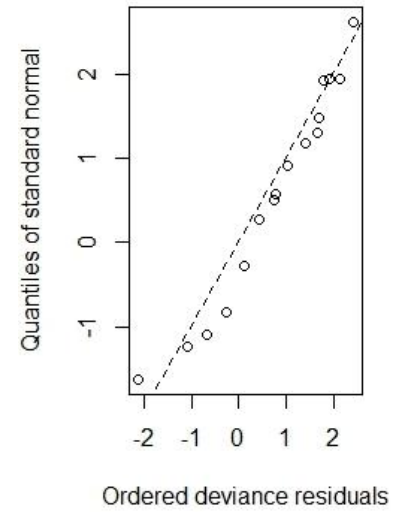


Διάγραμμα 50: Διαγράμματα διασποράς των μοντέλων που εφαρμόστηκαν για το συνολικό αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων (TotalAcc)

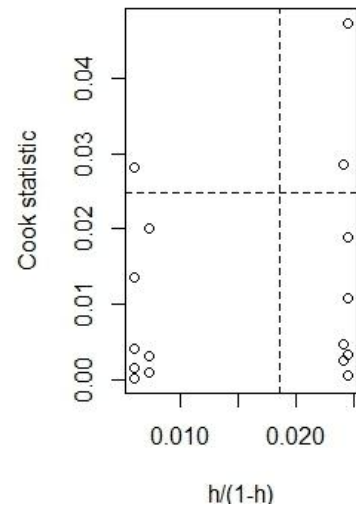
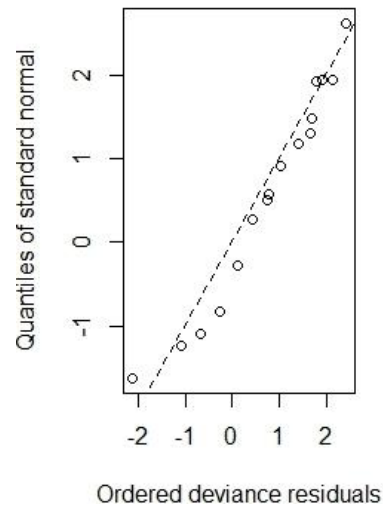
Gaussian



Poisson



Quasi-Poisson



Διάγραμμα 51: Διαγράμματα διασποράς των μοντέλων που εφαρμόστηκαν για το συνολικό αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων (FatalAcc)

Σε επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή του μικτού γραμμικού μοντέλου (Mixed Linear Model) για το συνολικό αριθμό των οδικών τροχαίων ατυχημάτων, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης διαφορετικών τιμών των παραμέτρων για κάθε οδικό τμήμα που εξετάστηκε και εφαρμόζεται μόνο για την κανονική κατανομή. Ύστερα από μεγάλο αριθμό δοκιμών προέκυψαν οι εκτιμήσεις για τις παραμέτρους της διαχωριστικής νησίδας και της ευθυγραμμίας και για τα τρία τμήματα καθώς και τρεις διαφορετικές εκτιμήσεις για την παράμετρο της κατωφέρειας για κάθε οδικό τμήμα (πίνακες 16 και 17).

Συντελεστής	Εκτίμηση	Τυπικό σφάλμα	t -value
Σταθερά	4.788	0.572	8.377
Διαχωριστική νησίδα	-1.204	0.147	-8.208
Ευθυγραμμία	-2.376	0.577	-4.115
<i>Null deviance:</i>		-	
<i>Residual deviance:</i>		1095	
AIC: 1110			

Πίνακας 16: Αποτελέσματα μικτού γραμμικού μοντέλου για τις παραμέτρους της διαχωριστικής νησίδας και της ευθυγραμμίας

Τμήμα	Κωδικός	Κατωφέρεια
Κόρινθος - Ξυλόκαστρο	1	0.828
Πέταλο Μαλιακού	2	2.958
Λάρισα (359° - 400° χιλ.)	3	1.061

Πίνακας 17: Αποτελέσματα μικτού γραμμικού μοντέλου για την παράμετρο της κατωφέρειας για κάθε οδικό τμήμα

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η διαχωριστική νησίδα και η κατωφέρεια επηρεάζουν σημαντικά τον αριθμό των συνολικών ατυχημάτων και είναι στατιστικά σημαντικές παράμετροι για επίπεδο μεγαλύτερο από το 99% (t -value >2.58), όπως είχε αποδειχθεί και στα προηγούμενα μοντέλα. Προέκυψαν, ακόμη, τρεις εκτιμήσεις για την παράμετρο της κατωφέρειας που δηλώνουν πως η υπαρξη κατωφέρειας στο Πέταλο του Μαλιακού επηρεάζει πιο πολύ τον αριθμό των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων από ότι στα άλλα δύο τμήματα καθώς η τιμή της παραμέτρου για το οδικό αυτό τμήμα είναι μεγαλύτερη. Για τις εκτιμήσεις των παραμέτρων της κατωφέρειας στην περίπτωση αυτή δεν ορίζεται τιμή για το τυπικό σφάλμα (St. Error).

4.7. Συμπεράσματα

Στην προηγούμενη υποενότητα πραγματοποιήθηκε η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων στοιχείων των ατυχημάτων και μέσω της εφαρμογής τριών μοντέλων παλινδρόμησης προέκυψαν τα μαθηματικά μοντέλα που συσχετίζουν τον αριθμό των τροχαίων και των θανατηφόρων ατυχημάτων που εμφανίζονται σε τρία οδικά τμήματα του ΠΑΘΕ, με την ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας, ευθύγραμμων τμημάτων και κατωφέρειας. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε το μοντέλο της απλής, γραμμικής παλινδρόμησης (μοντέλο Gauss), της παλινδρόμησης Poisson καθώς και της quasi-Poisson. Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε πως και οι τρεις παράμετροι είναι σημαντικές για τον συνολικό αριθμό των ατυχημάτων που σημειώνονται στα οδικά τμήματα, ενώ μόνο η ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας και κατωφέρειας είναι στατιστικά σημαντικές παράμετροι στην περίπτωση των θανατηφόρων ατυχημάτων.

Όσον αφορά στα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η μελέτη που πραγματοποιήθηκε, η **ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας** μειώνει σημαντικά τον αριθμό των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων αλλά και των θανατηφόρων. Αποτρέπονται οι μετωπικές συγκρούσεις ανάμεσα στα διερχόμενα οχήματα αντίθετων ρευμάτων κυκλοφορίας και αυξάνεται η οδική ασφάλεια της οδού. Τα οδικά τμήματα του ΠΑΘΕ που εξετάστηκαν χαρακτηρίζονται σε ορισμένα μόνο σημεία από ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας με αποτέλεσμα ο αριθμός των συνολικών και θανατηφόρων ατυχημάτων στις περιοχές αυτές να εμφανίζεται σημαντικά μικρότερος σε σχέση με τα τμήματα της οδού όπου απουσιάζει η διαχωριστική νησίδα. Η κατασκευή διαχωριστικής νησίδας και σε άλλα τμήματα της οδού θα οδηγούσε σε μείωση του αριθμού των παρατηρούμενων ατυχημάτων ειδικά στις επικίνδυνες περιοχές του Πετάλου του Μαλιακού και του τμήματος Κορίνθου – Πατρών.

Επιπλέον, όσον αφορά στα τμήματα της οδού που χαρακτηρίζονται από **ευθυγραμμία**, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, τα ατυχήματα που σημειώνονται σε τέτοιες περιοχές του υπό εξέταση οδικού άξονα εμφανίζονται μειωμένα σε σχέση με εκείνα που σημειώνονται σε καμπύλα τμήματα της οδού. Αυτό, σύμφωνα με τη βιβλιογραφική μελέτη που παρουσιάζεται στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, οφείλεται στο ότι στις ευθύγραμμες περιοχές ενός οδικού άξονα, παρέχεται καλύτερη ορατότητα για την πραγματοποίηση ελιγμών ενώ στα καμπύλα τμήματα η φυγόκεντρος δύναμη σε συνδυασμό με την επίκλιση καθιστά τον έλεγχο του οχήματος δύσκολη υπόθεση με αποτέλεσμα οι πιθανότητες εκτροπής του να είναι αυξημένες. Ωστόσο, στην περίπτωση των θανατηφόρων ατυχημάτων, τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι δεν επηρεάζεται ο αριθμός τους από την ύπαρξη ευθύγραμμων και καμπύλων τμημάτων καθώς η παράμετρος της ευθυγραμμίας προέκυψε στατιστικά μη σημαντική.

Τέλος, η ύπαρξη **κατωφέρειας** στα υπό εξέταση οδικά τμήματα του ΠΑΘΕ, προέκυψε πως επηρεάζει σημαντικά τον αριθμό των συνολικών και των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων αυξάνοντάς τον. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε οδικούς άξονες παγκοσμίως, η ύπαρξη τμημάτων κατωφέρειας κατά μήκος μιας οδού απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή στη διατήρηση του ελέγχου του οχήματος και στην περίπτωση όπου ο οδηγός αυξάνει την ταχύτητα του οχήματός του, αυξάνονται και οι πιθανότητες εκτροπής αυτού με συνέπεια να σημειώνονται τροχαία ατυχήματα πολλά από τα οποία είναι θανατηφόρα λόγω μετωπικών συγκρούσεων με τα αντιθέτως διερχόμενα οχήματα. Επιπλέον, σε περιπτώσεις που η πρόσφυση έχει μειωθεί στην επιφάνεια του οδοστρώματος είτε λόγω έλλειψης συντήρησης της οδού είτε λόγω βροχής ή παγετού, τα ατυχήματα αυξάνονται σημαντικά σε σημεία της οδού που χαρακτηρίζονται από κατωφέρεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

5.1. Προτάσεις

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας είναι δυνατό να διατυπωθούν ορισμένες προτάσεις που αφορούν σε παρατηρήσεις και πιθανές δράσεις για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας τόσο του οδικού άξονα ΠΑΘΕ όσο και άλλων ελληνικών αυτοκινητοδρόμων που εμφανίζουν παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά με αυτόν.

Τόσο μέσω της ευρείας βιβλιογραφικής έρευνας πάνω στο ζήτημα της οδικής ασφάλειας όσο και μέσω της εξέτασης του θέματος στον οδικό άξονα ΠΑΘΕ, προκύπτει πως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός οδικού άξονα διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην οδική ασφάλεια επηρεάζοντας άμεσα τον αριθμό και τη συχνότητα των οδικών τροχαίων ατυχημάτων. Η οδική ασφάλεια αποτελεί κρίσιμο ζήτημα και η ενίσχυσή της τόσο στο ελληνικό οδικό δίκτυο όσο και στο οδικό δίκτυο κάθε χώρας παγκοσμίως καθίσταται άμεσα δυνατή μέσω της σωστής γεωμετρικής χάραξης ενός οδικού άξονα. Ο ανθρώπινος παράγοντας σε συνδυασμό με την κατάσταση του οχήματος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν βασικούς συντελεστές των τροχαίων ατυχημάτων που είναι, ωστόσο, απρόβλεπτοι. Η γεωμετρία της οδού αποτελεί σημαντικό παράγοντα της οδικής ασφάλειας που μπορεί να προβλεφθεί και να καθοριστεί συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων ήδη από τα στάδια κατασκευής ενός οδικού άξονα. Γι αυτό και κάθε χώρα οφείλει να μεριμνά για τη συντήρηση, βελτίωση και ανακατασκευή των υπάρχοντων οδικών τμημάτων που παρουσιάζουν προβλήματα και ελλείψεις όσον αφορά στα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά.

Συνεπώς, η βελτίωση των υφιστάμενων τμημάτων τόσο του ΠΑΘΕ αλλά και ενός οδικού άξονα σε γενικότερο επίπεδο μπορεί να μειώσει την επικινδυνότητα του υπεραστικού οδικού δικτύου. Στο σχεδιασμό των υπεραστικών οδών είναι σημαντική και απαραίτητη διαδικασία ο επαναπροσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, όπως παραδείγματος χάρη, η κατασκευή διαχωριστικής νησίδας, μεγαλύτερων ακτίνων και επικλίσεων, πιο ικανοποιητικών και επαρκών μηκών ορατότητας, καταλληλότερων τόξων ορατότητας, συχνών προειδοποιητικών επισημάνσεων για οποιαδήποτε αλλαγή στη πορεία μιας οδού κ.α. με βάση τις κυκλοφοριακές απαιτήσεις των μελλοντικών μετακινήσεων.

Πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, η κατασκευή διαχωριστικής νησίδας κατά μήκος ενός οδικού άξονα μειώνει σημαντικά τόσο τον αριθμό των συνολικών τροχαίων ατυχημάτων όσο και τον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων καθώς περιορίζονται σε μεγάλο ποσοστό οι μετωπικές συγκρούσεις. Ο οδικός άξονας ΠΑΘΕ από τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του στα τμήματα Κορίνθου – Πάτρας και Πετάλου Μαλιακού, που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, χαρακτηριζόταν από πλήρη έλλειψη διαχωριστικής νησίδας. Ο μεγάλος, ωστόσο, αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονταν κάθε έτος οδήγησε στην κατασκευή αυτής σε ορισμένα μόνο τμήματα της οδού. Η θετική της επιρροή έγινε εμφανής μέσω των αποτελεσμάτων της εργασίας, ενώ καθίσταται απαραίτητη η κατασκευή της και στον υπόλοιπο οδικό άξονα.

Όσον αφορά στα καμπύλα τμήματα του υπό εξέταση οδικού άξονα, όπως έχει προκύψει τόσο από μελέτες σε διεθνές επίπεδο όσο και από την παρούσα, συγκεντρώνουν μεγαλύτερο αριθμό τροχαίων ατυχημάτων από ότι τα ευθύγραμμα τμήματα. Η τοποθέτηση κατάλληλων προειδοποιητικών σημάνσεων στα σημεία που παρουσιάζουν αυξημένο αριθμό ατυχημάτων θα οδηγούσε σε σημαντική αύξηση της οδικής ασφάλειας τόσο κατά μήκος του οδικού άξονα που εξετάστηκε όσο και στο υπόλοιπο εθνικό, οδικό δίκτυο. Η ύπαρξη κατωφέρειας αποτελεί βασικό παράγοντα πρόκλησης οδικών ατυχημάτων ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου συντελούν δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Η ομαλοποίηση των οδικών αυτών τμημάτων καθώς και η ύπαρξη προειδοποιητικών σημάνσεων θα μείωνε σημαντικά τον παρατηρούμενο αριθμό τροχαίων ατυχημάτων.

Η πιο σημαντική, ωστόσο, συνεισφορά της παρούσας πρακτικής εφαρμογής αποτελεί η δημιουργία μοντέλων για ορισμένα οδικά τμήματα του ΠΑΘΕ, τα οποία υπολογίζουν τον αριθμό των συνολικών τροχαίων και θανατηφόρων ατυχημάτων για μια δεκαετία, ανά 200 μέτρα του οδικού άξονα. Συνεπώς, μέσω αυτών παρέχονται πληροφορίες για το μέγεθος της μείωσης τόσο του αριθμού των συνολικών ατυχημάτων όσο και των νεκρών για τα επόμενα χρόνια ενώ παράλληλα με τη χρήση της αξίας ζωής, προσφέρεται η δυνατότητα εκτίμησης του μεγέθους των κερδών που θα σημειωθούν στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί κάποια γεωμετρική βελτίωση σε περιοχές του οδικού άξονα (κατασκευή διαχωριστικής νησίδας, ενίσχυση της τριβής του οδοστρώματος μέσω επένδυσής του με υλικά που αυξάνουν την αντιολισθηρότητα στις περιοχές της κατωφέρειας κ.λ.π.). Συνεπώς, μέσω των μοντέλων που δημιουργήθηκαν μπορεί να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση των επεμβάσεων που εξετάζονται για περιοχές του οδικού άξονα ΠΑΘΕ.

5.2. Περαιτέρω έρευνα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των τροχαίων ατυχημάτων του οδικού άξονα ΠΑΘΕ με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατά μήκος τριών οδικών του τμημάτων. Μια πρόταση για περαιτέρω έρευνα σε αυτήν την κατεύθυνση θα ήταν η μελέτη της συσχέτισης αυτής και στα υπόλοιπα τμήματα του εν λόγω οδικού άξονα αλλά και κατά μήκος κι άλλων εθνικών αυτοκινητοδρόμων με στόχο τον εντοπισμό των γεωμετρικών στοιχείων που συμβάλλουν είτε θετικά είτε αρνητικά στον αριθμό και τη συχνότητα εμφάνισης των οδικών τροχαίων ατυχημάτων και τη βελτίωση αυτών.

Συνεπώς, η παράδοση μεγάλων συνεχόμενων τμημάτων στην κυκλοφορία θα επιτρέψει τη διεξαγωγή πιο ολοκληρωμένων ερευνών και μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μιας μελλοντικής διπλωματικής εργασίας καθώς το μεγάλο συνολικό μήκος του αυτοκινητόδρομου αυτού προσφέρει ποικιλία δυνατών θεμάτων προς εξέταση. Τα στοιχεία των ατυχημάτων τόσο για τον αυτοκινητόδρομο που εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσο για άλλους ελληνικούς αυτοκινητοδρόμους είναι ακόμη συγκεχυμένα και η οργάνωση και ομαδοποίηση τους με συστηματικότερο τρόπο μπορεί να βοηθήσει στην πραγματοποίηση ενδιαφερουσών ερευνών.

Ακόμη, περισσότερη πληροφορία θα οδηγούσε σε πιο πλήρη μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, πληροφορία που σχετίζεται με τον τύπο του στηθαίου (διαχωριστική νησίδα), τη σοβαρότητα των ατυχημάτων αλλά και με διάφορα χαρακτηριστικά του οδηγού (π.χ. ηλικία) θα οδηγούσε σε πιο πλούσια μοντέλα και σε πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ακόμη μια πρόταση για μελλοντική έρευνα, η οποία αφορά στην επιτόπια μέτρηση ποικίλων χαρακτηριστικών οδικών τμημάτων αυτοκινητοδρόμων μέσω της χρήσης του mobile scanner, το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα εκτίμησης γεωμετρικών στοιχείων μιας οδού, όπως πλάτος λωρίδων, μεγέθη επικλίσεων, ύψος και πλάτος διαχωριστικής νησίδας, όπου αυτή υπάρχει, κ.λ.π. αλλά και άλλων στοιχείων όπως τύπος διαχωριστικής νησίδας, προειδοποιητικές σημάσεις κ.α. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η αξιοπιστία των εξεταζόμενων στοιχείων, καθώς αφορούν σύγχρονες μετρήσεις και όχι δεδομένα που έχουν προκύψει από μελέτες πολλών ετών, μελετώνται ενδεχόμενες γεωμετρικές και λειτουργικές βελτιώσεις που μπορεί να έχουν σημειωθεί σε περιοχές ενός οδικού άξονα και τα αποτελέσματα των ερευνών που προκύπτουν καθίστανται περισσότερο αξιόπιστα.

Η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με τη μελέτη ενός μόνο οδικού άξονα. Ωστόσο, θα ήταν δυνατή η μελέτη και σύγκριση δύο ή και περισσότερων οδικών αξόνων του ελληνικού δικτύου με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την επικινδυνότητά τους αλλά και το επίπεδο της οδικής ασφάλειας που επικρατεί σε κάθε οδικό άξονα. Υπάρχουν πολλές μεθοδολογίες προσέγγισης που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα σε διεθνείς έρευνες (relative risks) οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν επιτυχημένους τρόπους προσέγγισης παρόμοιων ερευνών στο μέλλον. Ακόμη, θα μπορούσε να μελετηθεί η επιρροή κι άλλων παραγόντων εκτός του παράγοντα της γεωμετρίας της οδού στην πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να εξεταστεί ο ανθρώπινος παράγοντας που αποτελεί μια απρόβλεπτη παράμετρο στη συνεισφορά του στα τροχαία ατυχήματα.

Ακόμη, όπως έχει αναφερθεί στην πρακτική εφαρμογή της εργασίας, η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στον οδικό άξονα ΠΑΘΕ είχε ως περιορισμό την έλλειψη των κυκλοφοριακών φόρτων για τα υπό εξέταση οδικά τμήματα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική έρευνα, ωστόσο, τα στοιχεία των κυκλοφοριακών φόρτων ενός οδικού άξονα που εκφράζονται μέσω της ΕΜΗΚ, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον αριθμό και τη

συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων που σημειώνονται. Συνεπώς, μια ακόμη ενδιαφέρουσα πρόταση για μελλοντική έρευνα θα αποτελούσε διερεύνηση της επιρροής διάφορων γεωμετρικών στοιχείων ενός ή περισσότερων οδικών αξόνων σε συνδυασμό με την ΕΜΗΚ στον αριθμό και τη συχνότητα των παρατηρούμενων τροχαίων ατυχημάτων. Η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου μιας οδού έχει αποδειχθεί πως αυξάνει σημαντικά τα τροχαία ατυχήματα λόγω της αυξημένης πιθανότητας συγκρούσεων. Συνεπώς, ο συνδυασμός του παράγοντα αυτού με το γεωμετρικό σχεδιασμό της οδού πιθανώς να οδηγούσε σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Τέλος, στο θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε εκτενής αναφορά στις επιπτώσεις του γεωμετρικού σχεδιασμού μιας οδού στο φυσικό περιβάλλον μιας περιοχής. Ωστόσο, δεν πραγματοποιήθηκε πρακτική εφαρμογή πάνω στο θέμα αυτό λόγω έλλειψης σχετικών στοιχείων. Συνεπώς, μια ακόμη ενδιαφέρουσα πρόταση θα ήταν η διερεύνηση της επιρροής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός ελληνικού, οδικού άξονα στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής την οποία διατρέχει. Στην Ελλάδα, υπάρχουν πολλές προστατευόμενες περιοχές με οδικούς άξονες που βρίσκονται σε εγγύτητα με αυτές, όπως παραδείγματος χάρι η Εγνατία οδός, και θα παρουσίαζε μεγάλο ενδιαφέρον η διερεύνηση της επιρροής των οδικών αυτών αξόνων στη ζωή των οικοσυστημάτων εκατέρωθεν αυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. **Αιγινίτη Μ.** (2009). *Χρηματοοικονομική λογιστική και περιβαλλοντισμός: Διερεύνηση της χρηματοοικονομικής αποτύπωσης περιβαλλοντικών πληροφοριών και μέτρηση της επίδοσης των εισηγμένων επιχειρήσεων στο Χ.Α.Α.*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
2. **Αναγνώστου Β. και Ξαγοράκη Α.** (2008). *Οδική Ασφάλεια σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της οδού*, Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογίας Εφαρμογών, Τμήμα Έργων Υποδομής, Αθήνα.
3. **Βαβίζος Γ. και Μερτζάνης Α.** (2003). *Περιβάλλον - Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων*, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
4. **Βαλερά Κ.** (2009). *Επιπτώσεις των μεγάλων οδικών αξόνων σε ευαίσθητες οικολογικά περιοχές: Η περίπτωση της Ιόνιας οδού στην προστατευόμενη περιοχή του Αμβρακικού κόλπου για το τμήμα 2, Α/Κ Αμφιλοχίας-Α/Κ Ν. Κομποτίου (Χ.Θ. 101+200 έως 129+053). Μια στρατηγικής σημασίας κριτική περιβαλλοντική προσέγγιση*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού, Αθήνα.
5. **Βογιατζής Κ., Χαϊκάλη Σ., Τζίκα - Χατζοπούλου Α.** (2009). *Προστασία του Ελληνικού Ακουστικού Τοπίου - Θεσμικό πλαίσιο για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο*, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
6. **Δρόσος Β.** (2010). *Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη διάνοιξη δασικού δρόμου*, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Θράκη.
7. **Εγνατία Οδός Α.Ε.** (2009). *Μέτρηση και χαρτογράφηση θορύβου στις κατοικημένες περιοχές πέριξ της Εγνατίας οδού*, Αθήνα, Σεπτέμβριος.
8. **Εσκίογλου Β.** (2011). *Η εφαρμογή της βιώσιμης ανάπτυξης στην κατασκευή οδικών δικτύων*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνική Σχολή, Θεσσαλονίκη Οκτώβριος.
9. **Ευσταθιάδης Σ., Ανδρουλιδάκης Μ.** (2012). *Αποτίμηση οδικής ασφάλειας για το Διερωπαϊκό Οδικό Δίκτυο της Ελλάδας*, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Αθήνα.
10. **Ζαγκλέ Ε. και Ζαμπάρας Μ.** (2012). *Η ιστορική εξέλιξη του δικαίου περιβάλλοντος στην Ελλάδα*, Άρθρο, Κατηγορία 03: Βιοποικιλότητα / Διαπολιτισμικότητα, Αθήνα: Περιοδικό «Monumenta».

11. **Ζάνης Π.** (2008). *Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
12. **Ζαφειριάδης Κ. και Τζώρτζη Ν.Τ.** (2005). *Περιβαλλοντική διαχείριση και αποκατάσταση στα μεγάλα έργα υποδομής. Παραδείγματα από την εφαρμογή σε μεγάλα γραμμικά έργα από την ΕΡΓΟΣΕ ΑΕ ('Σιδηροδρομικός ΠΑΘΕ') και την Ε.Ο.Α.Ε. ('Εγνατία Οδός')*, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, Μάιος.
13. **Θεοφίλης Ι.** (2002). *Εγκαταστάσεις εξαερισμού σε σήραγγες*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανολόγων και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
14. **Καζαγλή Ε.** (2009). *Έλεγχος παραμέτρων σχεδιασμού σιμοειδών καμπύλων ως προς την κίνηση βαρέων οχημάτων με εφαρμογή μεθόδου προσομοίωσης*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
15. **Καλούδη Ε.** (2007). *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της Εγνατίας Οδού: Η περίπτωση της αποκοπής του φυσικού περιβάλλοντος*, Διπλωματική Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνική Σχολή, Θεσσαλονίκη Νοέμβριος.
16. **Κανελλαΐδης Γ. και Κοζομπόλης Α.** (2004). *Σύγκριση της αντίληψης των οδηγών Αυτοκινήτων και Μοτοσυκλετών για την Επικινδυνότητα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών σε Υπεραστικές οδούς*, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, 1 τεύχ. 1.
17. **Καπότσης Γ.** (2002). *Διερεύνηση σχετικής επικινδυνότητας οδού ανά ηλικία οδηγού συναρτήσει επιλεγμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών με τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
18. **Κοσμάκη, Π., Αραβαντινός Α., Βλαστός Θ., Εμμανουήλ Δ., Μαρίνος - Κουρής Δ., Μέμος Κ., Σκίκος Γ., Σμπόνιας Κ., Τσούτσος Θ.** (1999). *Εισαγωγή στο Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον: Το Ανθρωπογενές Περιβάλλον*, Τόμος Β, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
19. **Κασσιός Κ.** (2000). *Επιπτώσεις στο περιβάλλον από έργα και προγράμματα*, Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.
20. **Κιτσιούλης Θ.Α.** (2008). *Εναλλακτικές λύσεις κατασκευής δασικών δρόμων με βάση τα εδαφομηχανικά χαρακτηριστικά και την προστασία του περιβάλλοντος*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.
21. **Κοτσώνης Α., Τσουγλαράκη Α. και Αρχοντάκη Κ.** (2005). *Περιβαλλοντική αξιολόγηση επιπτώσεων αυτοκινητόδρομου Π.Α.Θ.Ε. – Τμήμα ευρείας παράκαμψης Πατρών*, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, Μάιος.

22. **Κούκης Γ.** (1994). *Γεωτεχνική έρευνα της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Πατρών*, Δ.Ε.Υ.Α. Πατρών, Πάτρα.
23. **Κωτσόβολος Κ. Χ.** (1997). *Συγκοινωνιακά έργα – Οδοποιία*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
24. **Λάμπρος Ν.** (2007). *Διερεύνηση των Μεταβλητών ορίων ταχύτητας με τη χρήση Μεθόδων κυκλοφοριακής προσομοίωσης*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών, Τμήμα Συγκοινωνιακής Τεχνικής, ΕΜΠ, Αθήνα.
25. **Λοΐζος Α.** (2011). *Οδοποιία IV: Κατασκευαστικά στοιχεία έργων οδοποιίας*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
26. **Μανωλιάδης Ο.** (2002). *Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός, Μελέτη και Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων*, Εκδόσεις: Ίων.
27. **Ματσούκης Ε. και Μπαλαδήμας Δ.** (2008). *Συσχέτιση οδικής ασφάλειας στις οριζόντιες καμπύλες και γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Η περίπτωση των υπεραστικών δρόμων*, Σπουδαστήριο Τεχνικής Μεταφορών και Κυκλοφορίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
28. **Μαυρομάτης Σ., Ψαριανός Β. Μερτζάνης Φ., Τσιούγκος Γ., Σουπιώνας Γ.** (2012). *Αξιολόγηση Επάρκειας Ορατότητας σε Τρισδιάστατο Οδικό Περιβάλλον*, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Αθήνα.
29. **Μερτζάνης Α., Marabini F., Παπαδόπουλος Α.** (2002). *Μεταβολές στους υδάτινους πόρους και στα γεωλογικά-γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των ορεινών περιοχών από την κατασκευή και λειτουργία οδικών έργων. Η περίπτωση του οδικού άξονα Λαμίας-Καρπενησίου*, 3^ο Πανελλήνιο Λιβαδοπονικό «Λιβαδοπονία και Ανάπτυξη ορεινών περιοχών» - Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία, Καρπενήσι, Σεπτέμβριος.
30. **Μερτζάνης Α. και Παπαδόπουλος Α.** (2004). *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία έργων οδοποιίας, σε τμήματα του οδικού άξονα Θερμοπυλών – Ναυπάκτου*, Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη.
31. **Μερτζάνης Α., Παπαδόπουλος Α, Marabini F. και Φουντούλης Ι.** (2005). *Παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε τμήματα του εθνικού οδικού δικτύου της Στερεάς Ελλάδας*, Πρακτικά HELECO 2005, 5^η Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, Φεβρουάριος.
32. **Μπαλαδήμας Δ.** (2006). *Οδική Ασφάλεια και γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπεραστικών οδών δύο λωρίδων κυκλοφορίας*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών μηχανικών, Τομέας Τεχνολογίας του Περιβάλλοντος και Συγκοινωνιών, Σπουδαστήριο τεχνικής των Μεταφορών και Κυκλοφορίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

33. **Μπουρνελάκη Ε.** (2002). *Διερεύνηση της επιρροής της κεντρικής νησίδας στη σχετική επικινδυνότητα υπεραστικών οδικών τμημάτων*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Αθήνα.
34. **Μπούσμπουρας Δ.** (2005). *Οι επιπτώσεις στην ορνιθοπανίδα και τα ενδιαυμμάτά της από την κατασκευή των δρόμων. Αντιμετώπιση των επιπτώσεων και επανορθωτικά μέτρα*, Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία, Θεσσαλονίκη.
35. **Μπρόφας Γ.** (1987). *Έρευνα για την αποκατάσταση του τοπίου στο λατομικό χώρο Πεντέλης*, Δασική έρευνα, 149-186.
36. **Ξενάκης Ν.** (2008). *Επικαιροποίηση λειτουργικών ταχυτήτων V85 υπεραστικών οδών δύο λωρίδων κυκλοφορίας*, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
37. **Παναγόπουλος Θ.Ι.** (2004). *Δίκαιο Περιβάλλοντος*, Βιβλιοθήκη Δημοσίου Δικαίου: Τρίτος Τόμος, Δ' Έκδοση, Αναθεωρημένη - Συμπληρωμένη, Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλης.
38. **Σγούρος Δ.** (2010). *Αποκατάσταση βραχώδους τοπίου στην Εγνατία οδό*, Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Ήπειρος.
39. **Στεφανόπουλος Ν., Λεμπέσης Κ. και Φλώρου Δ.** (2009). *Αστικά οικοσυστήματα, αστικοποίηση, ατμοσφαιρική ρύπανση, μεταφορές*, Προγράμματα ανοικτών Περιβαλλοντικών τάξεων «ΚΑΛΛΙΣΤΩ».
40. **Τζώρτζη Ν. και Μαρινάκη Αικ.** (2004). *Εκτίμηση και Μέτρα αντιμετώπισης κυκλοφοριακού θορύβου σε υπεραστική οδό*, Τεχνικά χρονικά, Αθήνα, Νοέμβριος - Δεκέμβριος.
41. **Τσάγκα Ε., Λάτσιος Α., Πατρίς Γ. και Αλεξάκης Ι.** (2007). *Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.)*, Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, Αθήνα.
42. **Τσαμπούλας Δ.** (2004). *Στοιχεία για την αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων υποδομής*, Σχολή Πολιτικών μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Αθήνα.
43. **Τσέλια Ζ. και Νικολάου Κ.** (2001). *Στρατηγική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συνόλου της Εγνατίας οδού*, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Πάτρα.
44. **Τσινίκας Ν.Π.** (2002). *Συζήτηση κοινωνικών θεμάτων από την άσκηση αντιθορυβικής πολιτικής*, Πρακτικά 1^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος.
45. **Τσώχος Γ.** (1997). *Περιβαλλοντική οδοποιία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press.
46. **Τσώχος Γ., Κεχαγιά Φ., Σατραζέμης Α.** (2005). *Η οδηγική συμπεριφορά των Ελλήνων οδηγών και οι επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια*, Αθήνα.

47. **Φραντζεσκάκης Ι.Μ. και Γκόλιας Ι.Κ.** (1994). *Οδική Ασφάλεια*, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
48. **Χαρισούδης Α., Μίντσης Γ., Ταξιλάρης Χ.** (2012). *Ελεγχοι οδικής ασφάλειας: εφαρμογές στο αστικό περιβάλλον στην Ελλάδα*, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Αθήνα.
49. **Ψαριανός Β.** (2001). *Σημειώσεις Οδοποιίας Ι*, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
50. **Ψαριανός Β. και Σταματιάδης Κ.** (2005). *Εναισθητοποιημένος ως προς τον παρόδιο χώρο γεωμετρικός σχεδιασμός οδών (Context Sensitive Design)*, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος.
51. **Ψαριανός Β.** (2005). *Ανάπτυξη πλαισίου διαμόρφωσης συστήματος ταχυτήτων στο εθνικό οδικό δίκτυο*, 1^ο Τεύχος, Α Ενότητα, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, για το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Αθήνα, Δεκέμβριος.
52. **Ψαριανός Β., Σπέντζας Κ., Καστής Α., Σταθά Β., Φωλιά Ζ., Κουλοχέρης Δ.** (2006). *Οδική Ασφάλεια, Οδική Υποδομή – Οχημα, Εγχειρίδιο Τροχαίας*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
53. **Ψαριανός Β.** (2008). *Οι Νέοι Γερμανικοί Κανονισμοί Μελετών Αυτοκινητοδρόμων RAA 2008. Μία Νέα Προσέγγιση και Φιλοσοφία στις Μελέτες Αυτοκινητοδρόμων. Εφαρμογή στον ΒΟΑΚ*, Ημερίδα Οδικής Ασφάλειας, ΤΕΕ/ΤΑΚ, Ηράκλειο.
54. **Ψαριανός Β. και Σιώρα Ε.** (2012). *Διερεύνηση Πραγματικής Καμπυλότητας Τροχιάς Οχημάτων Σε Σχέση Με Την Καμπυλότητα Σχεδιασμού Υπεραστικών Οδών Διο Λωρίδων Κυκλοφορίας*, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Αθήνα.
55. **Ψαριανός Β. και Μαυρομάτη Σ.** (2012). *Αξιολόγηση Επάρκειας Ορατότητας για Στάση σε Τρισδιάστατο Οδικό Περιβάλλον*, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Αθήνα.
56. **Ψαριανός Β. και Αντωνίου Κ.** (2012). *Ο ρόλος της λειτουργικής ταχύτητας στην σύγχρονη οδοποιία και οι προοπτικές της*, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Αθήνα, Φεβρουάριος.
57. **Pietzsch W.** (1976). *Σχεδιασμός και χάραξη των οδών*, Αθήνα: Εκδότης Γκιούρδας Μ.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

58. **Abdel-Aty M. and M. Abdalla** (2004). *Linking Roadway Geometrics and Real-Time Traffic Characteristics to Model Daytime Freeway Crashes Using Generalized Estimating Equations for Correlated Data*, 83rd Annual Meeting of Transportation Research Board.
59. **Abdel-Aty M. and C. Lee** (2006). *Identification of Intersections' Crash Profiles/Patterns*, Department of Civil and Environmental Engineers, University of Central Florida, Contract No. B.C. 335, UCF acct no. 16-50-7018.
60. **Adams, L.W. and Geis, A.D.** (1973). *Effects of roads on small mammals*, J.Appl.Ecol. 20, 403-415.
61. **Ahn K., Rakha H., Trani A., and Van Aerde M.** (2002). *Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels*, Journal of Transportation Engineering, vol. 128, pp. 182-190.
62. **American Association of State Highway Transportation Officials** (1984/2001/2005). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Washington, D.C.
63. **Andrén, H.** (1994). *Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review*, Oikos 71, 355-366.
64. **Andrews A.** (1990). *Fragmentation of Habitat by roads and Utility Corridors: A Review*, Australian Zoologist, Vol. 26 (3 and 4), September.
65. **Andrews K.M., Gibbons J.W. and Jochimsen D.M.** (2008). *Ecological Effects of Roads on Amphibians and Reptiles: A Literature Review*, Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Herpetological Conservation 3:121-143.
66. **Barry , T. M. and Reagan J.A.** (1978). *FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model*, FHWA-RD-77-108 US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Research, Office of Environmental Policy. Washington, DC.
67. **Bauske B. and Goetz D.** (1993). *Effects of deicing-salts on heavy metal mobility*. Acta Hydrochim Hydrobiol 21:38-42.
68. **Beckx C., Panis L.I., Broekx S., Vlioger I.D., Schrooten L., Degrauwe B., Pelkmans L.,** (2011). *PM, NOx and CO2 emission reductions from speed management policies in Europe*, Transport Policy 18, 32-37.
69. **Bellis ED, Graves HB.** (1971). *Deer mortality on a Pennsylvania interstate highway*, J. Wildl. Manage. 35:232-37.

70. **Bennett A.F.** (1991). *Roads, roadsides and wildlife conservation: a review*, In: Saunders, D.A. and Hobbs, R.J., (Eds.) *Nature conservation 2: The role of corridors*, pp. 99-118. Chipping Norton: Surrey Beatty & Sons.
71. **Bitzel I.F.** (1957). *Accident Rates on German Expressways in Relation to Traffic Volumes and Geometric Design*, Roads and Road Construction.
72. **Brannolte U.** (1993). *Sicherheitsbewertung von Querschnitten ausserortlicher Strassen*, BASt, Verkohtstechnik heft V. 5.
73. **Brinkman, C. and Perchonok, K.** (1979). *Hazardous Effects of Highway Features and Roadside Objects Highlights*, Public Roads. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
74. **Brotos, L. and Herrando, S.** (2001). *Reduced bird occurrence in pine forest fragments associated with road proximity in a Mediterranean agricultural area*. *Landscape and Urban Planning*. 57: 77-89.
75. **Brude U., Lassen J. and Thulin H.** (1980). *Influence of Road Alignment on Traffic Accidents*, VTI Meddelande 235.
76. **Cairney P.** (2005). *Further aspects of the relationship between geometric features and crashes*, Austroads Project No. SS1108, Austroads Research Report, Austroads Publication No. AP-R279/05.
77. **Carr L.W., Fahrig L., and Pope S.E.** (2002). *Impacts of Landscape Transformation by Roads*, K. J. Gutzwiller, (ed.), *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*, Springer-Verlag New York.
78. **Gaudry M. and Vernier K.** (2002). *Effects of road geometry and surface on speed and safety*, *Département de sciences économiques*, Université de Montréal, Agora Jules Dupuit, Publication AJD-18.
79. **C.E.C.** (1999). *Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*, DGXI.
80. **Chan C.C. and Nien C.K.** (1996). *Receptor modeling of VOCs, CO, NOx and THC in Taipei*, Institute of Occupational Medicine and Industrial Hygiene, College of Public Health, National Taiwan University.
81. **Coffin W.A.** (2007). *From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads*, *Journal of Transport Geography* 15 (2007) 396-406, Department of Geography, University of Florida, USA.
82. **Council F.M. and Stewart R.** (2000). *Safety Effects of the Conversion of Rural Two-Lane to Four-Lane Roadways Based on Cross-Sectional Models*, *Transportation Research Record* 1665. Transportation Research Board, Washington, D.C. pp. 35-43.

83. **Deacon, J.** (1986). *Relationship between accidents and horizontal curvature*. Appendix D in *Designing safer roads*. Special Report 214, Transportation Research Board, Washington, D.C.
84. **DeMaynadier PG, Hunter ML Jr.** (1995). *The relationship between forest management and amphibian ecology: a review of the North American literature*, *Environ. Rev.* 3:230-61.
85. **Disney, J. and Fullagar, P.J.** (1978). *A note on road kills*, *Corella* 2:89.
86. **Dobson, A.J.** (1990). *An Introduction to Generalized Linear Models. Second edition*, Chapman and Hall, London.
87. **Dunne T., Leopold L.B.** (1978). *Water in Environmental Planning*, W.H. Freeman, San Francisco.
88. **Ellenberg H., Müller, K. and Stottele, T.** (1981). *Strassen-Ökologie: Auswirkungen von Autobahnen und Strassen auf Ökosysteme deutscher Landschaften*, Bonn: Deutsche Strassenliga.
89. **Erritzoe, J., Mazgajski, T.D., Rejt, L.** (2003). *Birds casualties on European roads - a review*. *Acta Ornithologica* 38, 77-93.
90. **European Environment Agency** (2011). *Landscape Fragmentation in Europe*, EEA Report No 2/2011.
91. **Evink G.L., Garret P., Zeigler D., Berry J.** (1996). *Trends in Addressing Transportation Related Wildlife Mortality*, No. FL-ER-58-96. Florida Dep. Transp. Tallahassee, FL. 395 pp.
92. **Faller, Ronald K., John D. Reid and John R. Rohde** (1998). *Approach guardrail transition for concrete safety shape barriers*, *Transportation Research Record* 1647, 111-121.
93. **Farmer A.M.** (1993). *The effects of dust on vegetation, a review*, *Environmental Pollution* 79 (1993) 63-75.
94. **Findlay, C.S. and Bourdages, J.** (2000). *Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands*. *Conserv. Biol.* 14: 86-94.
95. **Findley D .J., Hummerb J. E., Rasdorf W., Zegeer C. V., Fowler T. J.** (2011). *Modeling the impact of spatial relationships on horizontal curve safety*, *Accident Analysis and Prevention* 45 (2012) 296–304.
96. **Fink, K.L. and Krammes, R.A.** (1995). *Tangent Length and Sight Distance Effects on Accident Rates at Horizontal Curves on Rural Two-lane Highways*, *Transportation Research Record* 1500, Transportation Research Board, Washington, D.C.

97. **Fishburn B. and Jordan P.** (2000). *Relationship between crash risk and geometric characteristics of Rural highways*, Austroads Project No. N.RS.9609, Austroads Publication No. AP-R162/01, Sydney.
98. **Foody, T. J. and M. D. Long** (1974). *The Specification of Relationships Between Safety and Roadway Obstructions*, Report OHIO-DOT-06-74, Ohio Department of Transportation.
99. **Forman T.T.R., Friedman D.S., Fitzhenry D., Martin J.D., Chen A.S. and Alexander L.E.** (1997). *Ecological Effects of roads: Toward three summary indices and an overview for North America*, Harvard University, U.S.A.
100. **Forman T.T.R. and Alexander L.E.** (1998). *Roads and their major ecological effects*, Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 29, pp. 207-231+C2, Accessed: 25/06/2012.
101. **Forman T.T.R. and Deblinger R.D.** (2000). *The Ecological Road – Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway*, Conservation Biology, Pages 36 – 46, Vol. 14 No. 1, February.
102. **Frey H.C., Zhang K. and Roupail N.M.** (2008). *Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Time of Day, Road Grade, and Vehicles Based on In-Use Measurements*, Environ. Sci. Technol. 2008, 42, 2483–2489.
103. **Fu W., Liu S. and Dong S.** (2010). *Landscape pattern changes under the disturbance of road networks*, International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS), Procedia Environmental Sciences 2 (2010) 859–867.
104. **Garber N.J., Ehrhart A.A.** (2000). *The Effect of Speed, Flow and Geometric Characteristics on Crash Rates for Different Types of Virginia Highways*, Virginia Transportation Research Council, VTRC 00-R15.
105. **Garner, G. R. and Deen, R. C.** (1973). *Elements of median design in relation to accident occurrence*, In Highway Research Record 432, National Research Council, Highway Research Board, Washington,DC, pp. 1–11.
106. **Gattis, J. L., John P. Varghese and Larry E. Toothaker** (1993). *Analysis of guardrail-end accidents in Oklahoma*, Transportation Research Record 1419, 52-62.
107. **Gill, J.** (2000). *Generalized Linear Models: A Unified Approach*, Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-134, Thousand Oaks, CA: Sage.
108. **Glennon** (1987). *Relationship between Safety and Key Highway Features A Synthesis of prior Research*, State of the Art Report 6, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C.

109. **Godefroid S. and Koedam N.** (2004). *The impact of forest paths upon adjacent vegetation: effects of the path surfacing material on the species composition and soil compaction*, *Biological Conservation* 119 (2004) 405–419.
110. **Hamerslag, R., J. P. Roos and M. Kwakernaak** (1982). *Analysis of Accidents in traffic Situations by Means of Multiproportional Weighted Poisson Model*. *Transportation Research Record* 847, pp.29-36.
111. **Hardwood D.W., Mason J.M. and Graham J.L.** (1994). *Conceptual Plan for an Interactive Highway Safety Design Model*, Report No. FHWA-RD-93-122, Federal Highway Administration.
112. **Hardwood D.W. and Bauer K.M.** (1997). *Statistical Models Of Accidents on Interchange Ramps and Speed-Change Lanes*. FHWA-RD-97-106 Midwest Research Institute. Kansas City.
113. **Harwood D.W., Neuman T and Leisch J.** (2000). *Summary of Design Speed, Operating Speed, and Design Consistency Issues*, *Journal of the Transportation Research Board*, 1701, pp. 116-120.
114. **Hearne, R.** (1976). *Selected Geometric Elements and Accident Densities on the National Network*, Environmental Research Unit, Dublin.
115. **Hedman, K.O.** (1990). *Road Design and Safety. Proceedings of Strategic Highway Research Program and Traffic Safety on Two Continents*, Gothenburg, 1989, VIT Report 315A.
116. **Highway Safety Manual, First Edition**, (2010. Transportation Research Board.
117. **Hodson N.L.** (1966). *A survey of road mortality in mammals (and including data for the grass snake and common frog)*, *J. Zool., Lond.* 148:576-79.
118. **Hughes W.E.** (1995). *Safety and Human Factors Worldwide Review, International Symposium on Highway Geometric Design Practices*, Transportation Research Board, Boston.
119. **Ihab El-Shawarbya et al.** (2005). *Comparative field evaluation of vehicle cruise speed and acceleration level impacts on hot stabilized emissions*, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Volume 10, Issue 1, Pages 13-30.
120. **Iyınam A.F., Iyınam S. and Ergun M.** (1997). *Analysis of Relationship Between Highway Safety and Road Geometric Design Elements: Turkish Case*, Faculty of Civil Engineering, Technical University of Istanbul, Turkey.
121. **Jaeger J., Fahrig L. and Ewald K.** (2005). *Does the configuration of road networks influence the degree to which roads affect wildlife populations?*, Road Ecology Center, UC Davis, California.
122. **Jones J.A., Swanson F.J., Wemple B.C. and Snyder U.** (2000). *Effects of Roads on Hydrology, Geomorphology and Disturbance Patches in Stream Networks*, *Conservation Biology*, Pages 76 – 85, Vol. 14, No 1, February, Oregon State University, Corvallis.

123. **Jorgensen R.E.** (1966). *Evaluation of Criteria for Safety Improvements on the Highway*, U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington D.C.
124. **Joumard R.** (1987). *Influence of speed limits on road and motorway on pollutant emissions*, *The Science of the Total Environment* 59 (1987) 87 – 96, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, B.V.
125. **Karlaftis M. G. and Golias I.** (2002). *Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates*, *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002) 357–365.
126. **Kellera J. et al.** (2008). *The impact of reducing the maximum speed limit on motorways in Switzerland to 80 km h⁻¹ on emissions and peak ozone*, *Environmental Modelling & Software* Volume 23, Issue 3, March 2008, Pages 322-332.
127. **Kihlberg J.K. and Tharp K.J.** (1968). *Accident rates as related to design elements of rural highways*, National Cooperative Highway Research Program, National Research Council, Washington D.C.
128. **Knuiman M.W., Council F.M. and Reinfurt D.** (1993). *Association of median Width and Highway Accident Rates*, *Transportation Research Record* 140, Australia.
129. **Ko M., Lord D. and Zietsman J.** (2011). *Environmental Conscious Highway Design for Vertical Crest Curves*, TRB 2012 Annual Meeting.
130. **Ko M., Lord D. and Zietsman J.** (2012). *Environmental conscious Highway Design for Vertical grades*, submitted for potential publication, Department of Civil Engineering, Texas, USA.
131. **Kopelias P., Papadimitriou F., Papandreou K., Prevedouros P.** (2007). *Urban Freeway Crash Analysis – Geometric, Operational and Weather Effects on Crash Number and Severity*, Annual Meeting of the TRB, 07-0878, Athens, November.
132. **Krammes R.A. and Glasscock S.W.** (1992). *Geometric Inconsistencies and Accident Experience on Two-Lane Rural Highways*, *Transportation Research Record* 1356. Transportation Research Board, Washington, D.C. pp. 1-10.
133. **Labi S.** (2006). *Effects of Geometric Characteristics of Rural Two – Lane Road on Safety*, Joint Transportation Research Program Technical, Indiana Department of Transportation and Purdue University, FHWA/IN/JTRP-2005/2.
134. **Laden F., Schwartz J., Speizer F.E. and Dockery D.W.** (2006). *Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality. Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study*, *Am J Respir Crit Care Med* Vol 173. pp 667–672.

135. **Lamm, R., Choueiri, E.M., Mailaender, T.** (1988). *Accident rates on curves as influenced by highway design elements - an international review and an in-depth study*, Proceedings, Road safety in Europe. VTI Rapport 344A. VTI, Linköping, Sweden.
136. **Lamm R., Psarianos B., Choueiri E. M. and Soilemezoglou G.** (1998). *A practical safety approach to highway geometric design international case studies: Germany, Greece, Lebanon and the United States*.
137. **Langton T.** (1989). *Amphibians and Roads*, ACO Polymer Products, Shefford, Bedfordshire, UK.
138. **Lee J. and Mannering F.** (1999). *Analysis of roadside accident frequency and severity and roadside safety management*, Research Project T9903, Task 97, Analysis of Roadside Accident Severity & Roadside Safety Management, Washington State Transportation Center (TRAC), University of Washington, U.S.A.
139. **Leisch, J.E. & Associates** (1971). *Traffic control and roadway elements - their relationship to highway safety/ revised*, Chapter 12, Alignments. Highway Users federation for Safety and Mobility.
140. **Long, G., Gan C-T., and Morrison, B. S.,** (1993). *Safety impacts of selected median and access design features*, Florida Department of Transportation, University of Florida.
141. **Mader H.J.** (1984). *Animal Habitat Isolation by Roads and Agricultural Fields*, Institut für Naturschutz und Tierökologie, Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, Bonn, West Germany, Biological Conservation 29 (1984) 81-96.
142. **Mader H.J.** (1987). *Direckte und indirekte einflüsse des Strassennetzes auf die freilebende tierwelt und auf die Populationsdynamik*, In: **Bernard J.M., Lansiaart M., Kempf C. and Tille M.,** (1985). *Actes du colloques "Route et fauna sauvage"*. Strasbourg, pp. 19-29. Colmar, France.: Ministère de l'Equipement, du Longement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports.
143. **Mader H.J., Schell C. and Kornacker P.** (1990). *Linear Barriers to Arthropod Movements in the Landscape*, Biological Conservation 54 (1990) 209-222.
144. **Maher M.J. and I. Summersgill** (1996). *A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models*. Accident Analysis and Prevention 28(3), pp. 281-296.
145. **Martin and Voorthees Associates** (1978). *Crawler Lane Study: An Economic Evaluation*, Department of the Environment, London.
146. **Matthews, L.R., and Barnes, J.W.** (1988). *Relation between road environment and curve accidents*, Proceedings, 14th ARRB Conference, Part 4, pp. 105-120.
147. **Mathew T.V. and Krishna Rao K.V.** (2006). *Introduction to geometric design*, Traffic Signal Design-I.

148. **Maycock, G., and Hall, R. D.** (1984). *Accidents at 4-Arm Roundabouts*. TRRL Laboratory Report 1120, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK.
149. **McCullagh, P. and Nelder, J.A.** (1989). *Generalized Linear Models. Second edition*. Chapman Hall, New York.
150. **MetroCount Traffic Data Specialists** (2006). *Speed Analysis 1 – The 85th Percentile Speed*.
151. **Miaou S. P., Hu P.S., Wright T., Rathi A.K. and Davis S.C.,** (1992). *Relationship between truck accidents and highway geometric design: A Poisson regression approach*, Transportation research record 1376, 10-18.
152. **Miaou S.P. and Lum H.** (1993). *Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships*. Accident Analysis and Prevention, Prev. 25 (6), 689 – 709.
153. **Miaou S. P.** (1993). *The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial Regressions*, Center for Transportation Analysis and Energy Division, Oak Ridge National Laboratory.
154. **Michie, J. D.** (1971). *NCHRP Report 115: Guardrail Performance and Design*, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
155. **Monroe, J.S. and Vicander, R.** (1989). *Physical Geology. Exploring the earth*. Wadsworth Publishing Company. U.S.A.
156. **Mullins B.F.K. and Keese C.J.** (1961). *Freeway Traffic Accident Analysis and Safety Study*, Highway Research Bulletin 2915, Highway Research Board. (96)
157. **Nagham Naji Mehaibes** (2012). *The Comparison between IHSDM and NSM to Assess the Safety Performance of Two-Lane Rural Roads*, Department of Transportation and Traffic Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Duisburg-Essen University.
158. **Nelson, P.** (1997). *Transportation Noise Reference Book*. Butterworth and Co. (Publishers) Ltd.
159. **Nicholson, A., and Y-D. Wong** (1993). *Are accidents Poisson distributed? A statistical test*. Accident Analysis & Prevention, Volume 25, Issue 1, February 1993, Pages 91- 93.
160. **O’ Cinneide D.** (1998). *The Relationship between geometric design standards and safety*, Transportation Research Record 44-1, 44-6, University College – Cork.
161. **Ogden K.W.** (1989). *Crashes at Bridges and Culverts*, Accident Research Centre, Monash University.

162. **Ogden, K.W.** (1997). *The effects of paved shoulders on accidents on rural highways*. In: Accident Analysis and Prevention, vol. 29, nr. 3, p. 353-362.
163. **Okamoto, H. and Koshi, M.** (1989). *A method to cope with the random errors of observed accident rates in regression analysis*. Accident Analysis and Prevention, 21:317-332.
164. **Olde-MJT** (2005). *Reducing speed limits on highways: Dutch experiences and impact on air pollution, noise-level, traffic safety and traffic flow*, Transport policy and Operations, London.
165. **O'Loughlin** (1989). *Predicting erosion hazard areas using digital terrain analysis*, Research Needs and Applications to Reduce Erosion and Sedimentation in Tropical Steeplands, Publ. No.192.
166. **O'Neill Robert V., Kurt H. Riitters, James D. Wickham, Bruce Jones K., Elizabeth R. Smith, John W. Coulston, Timothy G. Wade and Jonathan H. Smith.** (2002). *Fragmentation of Continental United States Forests*, Ecosystem (2002) 5: 815-822.
167. **Oxley DJ, Fenton M.B. and Carmody G.R.** (1974). *The effects of roads on populations of small mammals*, J. Appl. Ecol. 11:51- 59.
168. **Panis L.I., Broekx S., Ronghui L.** (2006). *Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits*, Science of the Total Environment 371 (2006) 270–285.
169. **Panis L.I., Beckx C., Broekx S., De Vlieger I., Schrooten L. Degraeuwe B., Pelkmans L.** (2006). *PM, NOx and CO₂ emission reductions from speed management policies in Europe*, Transport Policy 18 (2011) 32–37.
170. **Panis L.I. and Broekx D.** (2006). *Impact of 30 km/h zone introduction on vehicle exhaust emissions in urban areas*, Proceedings of the European Transport Conference 2006, Strasbourg, 9p, France.
171. **Park S. and Rakha H.** (2005). *Energy and Environmental Impacts of Roadway Grades*, TRB 06-0628 November.
172. **Psarianos B.** (2002). *European Arterial Speed Control Measures*, 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
173. **Psarianos B.** (2004). *Actual Issues about Road Safety, EU Policies, Perspectives and Advanced Approaches of Research*, Second SIIV Summer School, Titignano - Orvieto, Italy.
174. **Rakha H., Van Aerde M., Ahn K. and Trani A.A.** (2000). *Requirements for evaluating traffic signal control impacts on energy and emissions based on instantaneous speed and acceleration measurements*, Transportation Research Board, 79th Annual Meeting, Paper No. 00-1134, January, Washington, D.C.

175. **Rakha H. and Ding Y.** (2003). *Impact of Stops on Vehicle Fuel Consumption and Emissions*, Journal of Transportation Engineering, vol. 129, pp. 23-32.
176. **Reck H. and Kaule G.** (1993). *Strassen und Lebensräume: Ermittlung und Beurteilung strassenbedingter Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume*. Bonn-Bad Godesberg, Germany: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Strassenbau.
177. **Reijnen, R., Foppen, R., Ter Braak, C., Thissen, J.** (1995). *The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads*. Journal of Applied Ecology 32: 187-202.
178. **Retting, R.** (2003). *Center Line Rumble Strips Reduce Crash Risk on Rural Two-Lane Roads*, The Pothole Gazette Vol. 21 No. 3. Indiana Local Technical Assistance Program (LTAP). West Lafayette, IN.
179. **Romin LA and Bissonette JA.** (1996). *Temporal and spatial distribution of highway mortality of mule deer on newly constructed roads at Jordanelle Reservoir, Utah*. Gt. Basin Nat. 56: 1-11.
180. **Root-Bernstein, R. S. and Dillon, P. F.** (1997). *Journal of Theoretical Biology*, 188, 447–479.
181. **Saunders S., Mislivets R., Chen J. and Cleland T.D.** (2002). *Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA*, Biological Conservation 103 (2002) 209–225.
182. **Scanlon P.F.** (1987). *Heavy metals in small mammals in roadside environments - implications for food chains*, Science of the Total Environment 59, 317-323.
183. **Seiler A.** (2001). *Ecological Effects of roads*, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
184. **Servin O., Boriboonsomsin K., Barth M.** (2006). *An Energy and Emissions Impact Evaluation of Intelligent Speed Adaptation*, Department of Electrical Engineering and CE-CERT, University of California, California. (31)
185. **Simpson D. and Kerman J.A.** (1982). *The Research and Development Background to Highway Link Design*, Traffic Engineering and Control 23.
186. **Smita R., Poelmanb M. and Schrijver J.** (2008). *Improved road traffic emission inventories by adding mean speed distributions*, Atmospheric Environment Volume 42, Issue 5, Pages 916-926.
187. **Smith D.J.** (2003). *Ecological Effects of Roads: Theory, Analysis, Managements and Planning Considerations*, University of Florida, USA.
188. **Spellerberg F. Ian** (1998). *Ecological effects of roads and traffic: a literature review*, Global Ecology and Biogeography Letters 317–333.

189. **Srinivasan S.** (1982). *Effect of Roadway Elements and Environment on Road Safety*, Institution of Engineers, Vol. 63.
190. **Stamatiadis N., Jones, S. and Aultman-Hall L.** (1999). *Causal Factors for Accidents on Southeast Low-volume Roads*, Transportation Research Record 1652, Transportation Research Board, pp. 111-117.
191. **Stamatiadis N.** (2000). *International Scanning Tour on Highway Geometric Design*, FHWA-PL-01-026, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
192. **Stevanovic A., Kergaye C and Stevanovic J.** (2011). *Environmental Benefits of an Adaptive Traffic Control System: Assessment of Fuel Consumption and Vehicular Emissions*, TRB 2012 Annual Meeting, 12-0749.
193. **Strahler, A.N.** (1957). *Quantitative analysis of watershed geomorphology*, American Geophysical Union Transactions, Vol. 38.
194. **Strathman J., Duecker K., Zhang J. and Williams T.** (2001). *Analysis of Design Attributes and Crashes on the Oregon Highway System*, Final Report, SPR 321, Center for Urban Studies, Portland State University.
195. **SWOV Fact sheet** (2010a). *Speed choice the influence of man, vehicle, and road*, Institute for Road Safety Research.
196. **SWOV Fact sheet** (2010b). *Towards credible speed limits*, Institute for Road Safety Research.
197. **SWOV Fact sheet** (2010c). *Measures for speed management*, Institute for Road Safety Research.
198. **SWOV Fact sheet** (2010d). *Recognizable road design*, Institute for Road Safety Research.
199. **Tate F. and Turner S.** (2007). *Road Geometry and Drivers Speed Choice*, IPENZ Transportation Group Conference, Tauranga.
200. **Taylor M. C., Lynam D. A. and Baruya A.** (2000). *The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents*, Prepared for Road Safety Division, Department of the Environment, Transport and the Regions, TRL Report 421. (55)
201. **The Roads Directorate** (1981). *Traffic Engineering. Roads and Path Types. Catalogue of Types for new roads and Paths in Rural areas*. The Technical Committee on Road Standards, Copenhagen.
202. **Theobald D.M., Miller J.R. and Hobbs N.T.** (1997). *Estimating the cumulative effects of development on wildlife habitat*, Landscape and Urban Planning 39, 25-36.

203. **Tighe S., Li N., Falls L. and Haas R.** (2000). *Incorporating Road Safety into Pavement Management*, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1699, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
204. **Tillmann J.E.** (2005). *Habitat Fragmentation and Ecological Networks in Europe*, GAIA 14/2 (2005): 119 – 123, Institute for Wildlife Research, University of Veterinary Medicine Hannover.
205. **Transportation Research Board** (1978). *Cost and Safety Effectiveness of Highway Design Elements*, NCH RPT 197.
206. **Trombulak S.C. and Frissell C.A.** (1999). *Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities*, Conservation Biology, Pages 18 – 30, Vol. 14, No 1, February, Middlebury, U.S.A.
207. **Tsamboulas D. and Mikroudis G.** (2000). *Effect - evaluation framework of environmental impacts and costs of transport initiatives*, Transportation Research, Athens.
208. **Turner, Daniel S.** (1984). *Prediction of bridge accident rates*, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 110, No. 1, 45-54.
209. **Turner G.M.** (2005). *Landscape Ecology: What Is the State of the Science?*, Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, Vol. 36 (2005), pp. 319-344, Accessed: 26/06/2012.
210. **Turner S.** (2009). *Relationship between Road Geometry, Observed Travel Speed and Rural Accidents*, NZ Transport Agency Research Report 371.
211. **US-EPA.** (1997). *Terms of Environment*, National Service Center for Environmental Publications, U.S.
212. **US-EPA.** (1999). *Considering Ecological Processes in Environmental Impact Assessment*, National Service Center for Environmental Publications, U.S.
213. **Vestjens, W.J.M.** (1973). *Wildlife mortality on a road in New South Wales*. Emu. 73:107--112.
214. **Voigt A. P. and Krammes R. A.** (1994). *An Operational and Safety evaluation of alternative Horizontal Curve design approaches on Rural Two – Lane Highways*, Texas Transportation Institute, Texas.
215. **Wang A., Ge Y., Tan J., Fu M., Shah A.N., Ding Y., Zhao H. and Liang B.** (2011). *On-road pollutant emission and fuel consumption characteristics of buses in Beijing*, Journal of Environmental Sciences 2011, 23(3) 419–426.

216. **Wang-Zhong and Walton-C.Michael** (2009). *An Investigation on the Environmental Benefits of a Variable Speed Control Strategy*, U.S. Department of Transportation, University Transportation Centers Program.
217. **Wim van Beek** (2006). *The effects of speed measures on air pollution and traffic safety*, Province of Noord-Brabant, The Netherlands.
218. **Wood, G.R.** (2002). *Generalized Linear Accident Models and Goodness of Fit Testing*. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 34, pp. 417-427.
219. **Yager, M. and Van Aerde, R.** (1983). *Geometric and Environmental Effects on Speeds of 2-Lane Highways*. *Transportation Research*, Vol 17A, No4.
220. **Yannis G., Antoniou C. and Papadimitriou E.** (2007). *Road Casualties and Enforcement: Distributional Assumptions of Serially Correlated Count Data*, National Technical University of Athens, Department of Transportation Planning and Engineering, *Traffic Injury Prevention*, 8:300–308, Athens, Greece.
221. **Yannis G., Papadimitriou E. and Antoniou C.** (2007). *Impact of enforcement on traffic accidents and fatalities: A multivariate multilevel analysis*, *Safety Science*, 46, pp. 738-750.
222. **Yu L. E., Hildemann L.M., Ott W.R.** (1996). *A Mathematical Model for Predicting Trends in Carbon Monoxide Emissions and Exposures on Urban Arterial Highways*, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 46, Pages 430-440, ISSN 1047-3289, California.
223. **Zador, P, Stein, H., Hall, J. and Wright, P.** (1985). *Superelevation and Roadway Geometry: Deficiency at Crash Site and on Grades (Abridgement)*, Insurance Institute for Highway Safety, Washington, D.C.
224. **Zegeer C. and Deacon J.** (1987). *Effect of Lane Width, Shoulder Width, and Shoulder Type on Highway Safety*, State of the Art Report 6, Transportation Research Board, Washington, D.C. pp. 1-21.
225. **Zegeer, C.V., Stewart, R.J., Council, F.M., Reinfurt, D.W., and Hamilton, E.** (1992). *Safety effects of geometric improvements on horizontal curves*, *Transportation Research Record 1356*, Transportation Research Board, Washington D.C.
226. **Zegeer C., Stewart R., Council F. and Neuman T.** (1994). *Accident Relationships of Roadway Width on Low-Volume Roads*, *Transportation Research Record 1445*, Transportation Research Board, pp. 160-168.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

227. <http://www.egnatia.eu/page/>
228. <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>
229. <http://www.cmfclearinghouse.org>
230. TRB Access Management Committee: <http://www.accessmanagement.info/>
231. European Commission: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/index_en.htm
232. Department of Transport: <http://www.dft.gov.uk/statistics/series/road-accidents-and-safety/>