



Κριτική ανασκόπηση της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου στα οδικά ατυχήματα

Χριστίνα Παναγολιά¹, Αθανάσιος Θεοφιλάτος¹, Γιώργος Γιαννής¹

¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα
Email: geyannis@central.ntua.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η κριτική ανασκόπηση της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου στα οδικά ατυχήματα. Αρχικά, παρουσιάζεται μια γενική εισαγωγή στο θέμα, με σχολιασμό των μελετών τόσο σε μικροσκοπική όσο και μακροσκοπική κλίμακα. Εν συνεχεία, αναλύονται οι σχετικές μελέτες που σχετίζονται με την επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου στη συχνότητα των ατυχημάτων αλλά και στο δείκτη ατυχημάτων, τόσο για αστικές – υπεραστικές περιοχές καθώς και για κόμβους. Επίσης, παρατίθεται η σχετική βιβλιογραφία των μελετών που αναφέρονται στη σοβαρότητα των ατυχημάτων συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου. Τέλος, παρατίθεται η κριτική αξιολόγηση των προαναφερθέντων μελετών. Η συχνότητα των ατυχημάτων δείχνει να έχει μια γραμμική θετική συσχέτιση με την ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία (ΕΜΗΚ). Σε ό,τι αφορά στο δείκτη ατυχημάτων, η σχέση που προκύπτει είναι μη γραμμική. Τέλος, η επιρροή στη σοβαρότητα των ατυχημάτων δεν είναι σαφής και χρίζει περαιτέρω έρευνας. Γενικά διαπιστώνεται ότι η μεγάλη πλειοψηφία των μελετών αφορά μακροσκοπική κλίμακα. Συνεπώς, κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου στην οδική ασφάλεια σε επίπεδο μικροσκοπικής κλίμακας, όπου οι μελέτες είναι περιορισμένες.

Λέξεις κλειδιά: Κυκλοφοριακός φόρτος, ατυχήματα, σοβαρότητα, οδική ασφάλεια

A review of the impact of traffic volume on road accidents

Abstract

The aim of the present paper is a critical review of the effect of traffic flow to road accidents. Firstly, an introduction is provided, including macroscopic as well as microscopic studies. Afterwards, relevant studies are discussed regarding the effect of traffic flow to accident frequency and rates, inside and outside urban areas and in junctions as well. A review of studies which examine accident severity is also illustrated and discussed. Lastly, a critical assessment of the studies reviewed is provided. Accident frequency seems to have a linear positive relationship with Annual Average Daily Traffic (AADT). Concerning accident rates, a non-linear relationship exists. Lastly, the effect of traffic flow on accident severity is not clear and needs further research. In general, the great majority of existing studies are macroscopic. Consequently, it is suggested that further microscopic investigation of the effect of traffic flow to road safety is performed where existing studies are few.

Keywords: Traffic flow, accidents, severity, road safety.

1. Εισαγωγή

Η οδική ασφάλεια αποτελεί ένα θέμα μείζονος σημασίας αφού τα οδικά ατυχήματα είναι ένα παγκόσμιο κοινωνικό πρόβλημα που αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αιτίες θανάτων και τραυματισμών. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (2013), ο ετήσιος συνολικός αριθμός των νεκρών παγκοσμίως παραμένει σε υψηλά επίπεδα (1,24 εκ.). Ο αριθμός των θυμάτων σε οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα υψηλός σε σχέση με τους αντίστοιχους αριθμούς των άλλων Ευρωπαϊκών Κρατών. Το γεγονός αυτό, αναδεικνύει ως

επιτακτική την αντιμετώπιση των οδικών ατυχημάτων που θα οδηγήσει στη βελτίωση του επιπέδου της οδικής ασφάλειας.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των οδικών ατυχημάτων, προϋποθέτει καταρχήν τη σαφή γνώση των παραγόντων που υπεισέρχονται στην πρόκληση των ατυχημάτων και στη συνέχεια την ανάλυσή τους με στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας. Οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην οδική ασφάλεια, είναι: ο χρήστης της οδού, η οδός και το οδικό περιβάλλον και το όχημα.

Μια άλλη διάσταση στο θέμα της μελέτης των οδικών ατυχημάτων καταγράφεται με γνώμονα την επίδραση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών της οδού. Συνεπώς, στόχος της παρούσας ενότητας της εργασίας, είναι η διερεύνηση της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου στα οδικά ατυχήματα. Δεδομένης της σημασίας της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου στην οδική ασφάλεια, όπως καταδεικνύεται και από την έρευνα διεθνώς αλλά και σε εθνικό επίπεδο, η οποία παρατίθεται ακολούθως, σε επόμενη φάση θα επιχειρηθεί η περαιτέρω διερεύνηση της επιρροής των παραμέτρων αυτών στις ελληνικές συνθήκες κυκλοφορίας, όπου οι σχετικές έρευνες είναι περιορισμένες.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η επιρροή των κυκλοφοριακών παραμέτρων και πιο συγκεκριμένα του κυκλοφοριακού φόρτου στην οδική ασφάλεια, διενεργείται μια εκτεταμένη βιβλιογραφική κριτική ανασκόπηση του θέματος. Αρχικά, παρουσιάζεται μια γενική εισαγωγή στο θέμα, με σχολιασμό των μελετών τόσο σε μικροσκοπική όσο και μακροσκοπική κλίμακα. Εν συνεχεία, παρατίθενται οι σχετικές μελέτες που σχετίζονται με την επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου στον αριθμό των ατυχημάτων και στη συχνότητα και πυκνότητα των ατυχημάτων αλλά και στο δείκτη ατυχημάτων, με διαχωρισμό για αστικές – υπεραστικές περιοχές καθώς και κόμβους. Επίσης, γίνεται αναφορά στην επιρροή της κυκλοφοριακής ροής στα οδικά ατυχήματα και αναλύεται η σχετική βιβλιογραφία των μελετών που αναφέρονται στη σοβαρότητα των ατυχημάτων συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου. Τέλος, παρατίθεται η κριτική αξιολόγηση των προαναφερθέντων μελετών.

2. Επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου στην οδική ασφάλεια

2.1 Γενικά

Όταν μελετάται το σύστημα μεταφορών τα στοιχεία του αναλύονται σε τέσσερις ομάδες: την οδό, το όχημα, τον οδηγό και το οδικό περιβάλλον (Pakalnis et al., 2003; Qin et al., 2004). Ο δείκτης ατυχημάτων εξαρτάται από το τετράπτυχο αυτό (Wicaksono et al., 2009), αφού και τα ατυχήματα μπορούν να προκληθούν από όλους τους προαναφερθέντες παράγοντες που διακατέχουν την λειτουργία του συστήματος.

Μια άλλη διάσταση στο θέμα της μελέτης των οδικών ατυχημάτων καταγράφεται με γνώμονα την επίδραση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών της οδού. Υπάρχουν ατυχήματα όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι ένας βασικός παράγοντας πρόκλησης οδικών ατυχημάτων και ατυχήματα όπου κυκλοφοριακός φόρτος δεν έχει επιρροή ή δεν είναι ο κύριος παράγοντας πρόκλησης ατυχημάτων (Pakalnis et al., 2003).

Πολλά από τα μοντέλα πρόβλεψης ατυχημάτων έχουν μακροσκοπική μορφή, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ατυχήματα μαζί και όχι χωριστά κάθε μεταβλητή όπως για παράδειγμα τον τύπο του ατυχήματος (Qin et al., 2004). Σε μακροσκοπική κλίμακα υπάρχει ευθεία συσχέτιση μεταξύ του κυκλοφοριακού φόρτου και του δείκτη ατυχημάτων. Όσο αυξάνεται ο

κυκλοφοριακός φόρτος τόσο αυξάνεται η αναλογία μεταξύ του αριθμού των ατυχημάτων και του μήκους του οδικού τμήματος. Η σχέση αυτή είναι σταθερή και την αποδέχονται πολλές χώρες (Pakalnis et al., 2003). Ενώ, σε μικροσκοπική κλίμακα, όταν εξετάζονται συγκεκριμένες περιοχές υψηλής συγκέντρωσης ατυχημάτων, αυτή σχέση δεν είναι τόσο ξεκάθαρη (Pakalnis et al., 2003).

2.2 Σχέση αριθμού ατυχημάτων και κυκλοφοριακού φόρτου

Ο αριθμός των ατυχημάτων αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό όσο αυξάνεται η ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία (ΕΜΗΚ) της οδού, μιας και ο κυκλοφοριακός φόρτος της οδού επηρεάζει την ταχύτητα αλλά και την “ένταση” κατά τη διάρκεια της οδήγησης (Frantzeskakis and Golias, 1994; Karlaftis and Golias, 2002). Από την άλλη πλευρά, η σχέση μεταξύ των ατυχημάτων και της ΕΜΗΚ είναι μη γραμμική με μια κλίση που σημειώνει μείωση όταν αυξάνεται η ΕΜΗΚ σύμφωνα με τους Cafiso et al. (2010).

Επίσης, η έρευνα των Qin et al. (2004) καταδεικνύει ότι η σχέση μεταξύ του αριθμού των ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου είναι μη γραμμική. Συνεπώς, ένας απλός δείκτης ατυχημάτων, που υπολογίζεται ως ο λόγος του αριθμού ατυχημάτων προς τον κυκλοφοριακό φόρτο, δεν είναι κατάλληλος για τη σύγκριση της ασφάλειας των περιοχών με διαφορετικούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, περιγράφηκε μια νέα προσέγγιση για τον κυκλοφοριακό φόρτο που αφορά και την επίπτωση του ατυχήματος. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε εξατομίκευση των ατυχημάτων σε τέσσερις κατηγορίες: (1) ενός οχήματος, (2) πολλών οχημάτων ίδιας κατεύθυνσης, (3) πολλών οχημάτων αντίθετης κατεύθυνσης, και (4) διασταύρωση πολλών οχημάτων.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Martin (2002), για ένα ισοδύναμο επίπεδο ελαφριάς κυκλοφορίας, ο αριθμός των ατυχημάτων είναι υψηλότερος στις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας από ότι στις δύο λωρίδες κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους και υψηλότερος κατά τα Σαββατοκύριακα (όταν η κίνηση των φορτηγών είναι περιορισμένη) από ότι τις καθημερινές. Σε βαριά κυκλοφορία, ο αριθμός των ατυχημάτων είναι υψηλότερος κατά τις εργάσιμες ημέρες. Δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ του αριθμού των ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, ανεξάρτητα από την κυκλοφορία (Martin, 2002).

Προκειμένου να καταστεί δυνατός ο καθορισμός του μέτρου έκθεσης σε κίνδυνο υποθέτουμε ότι η σχέση αυτή θα είναι γραμμική ανάλογα με κάθε τύπο ατυχήματος. Η παρούσα μελέτη των Qin et al. (2004), περιέγραψε την αρχική έρευνα με την χρήση των χαρακτηριστικών των ατυχημάτων και φυσικών χαρακτηριστικών για τα τμήματα της εθνικής οδού στο Μίσιγκαν. Βρέθηκε ότι η σχέση μεταξύ των ατυχημάτων και τον ημερήσιο κυκλοφοριακού φόρτου είναι μη γραμμική και διαφέρει ανάλογα με τον τύπο ατυχήματος και είναι σημαντικά διαφορετική από την σχέση μεταξύ ατυχημάτων και του μήκους του τμήματος για όλους τους τύπους ατυχημάτων.

Τέλος, η σχέση μεταξύ αριθμού ατυχημάτων ανά χιλιόμετρο και της ετήσιας μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας (ΕΜΗΚ) καταδεικνύεται ως γραμμική με αυξητική τάση, εκτός ορισμένων οδικών τμημάτων όπου ο αριθμός των ατυχημάτων εμφανίζεται αφύσικα υψηλός (Martin, 2002).

Η εργασία της Hiselius (2004), εκτίμησε τη σχέση μεταξύ της συχνότητας των ατυχημάτων και της κυκλοφοριακής ροής, για την αντιμετώπιση εμπειρικά της ωριαίας κυκλοφοριακής ροής με δύο διαφορετικούς τρόπους. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο, η κυκλοφορία θεωρείται

ότι συντίθεται από ομοιογενή οχήματα και σύμφωνα με το δεύτερο από αυτοκίνητα και βαρέα οχήματα. Οι υπεραστικοί οδοί στη Σουηδία μελετήθηκαν με τη χρήση μοντέλων παλινδρόμησης Poisson και αρνητικής διωνυμικής. Βρέθηκε ότι χάνεται σημαντική πληροφόρηση, εάν δεν ληφθούν υπόψη οι διαφορές μεταξύ των τύπων οχημάτων κατά την εκτίμηση της οριακής επίδρασης της κυκλοφοριακής ροής. Ο δείκτης ατυχημάτων μειώνεται όταν η κυκλοφοριακή ροή αντιμετωπίζεται ως ένα ομοιογενές σύνολο. Ωστόσο, όταν τα αυτοκίνητα μελετούνται ξεχωριστά, τότε το αποτέλεσμα δείχνει ότι ο δείκτης ατυχημάτων είναι σταθερός ή αυξάνεται. Το αποτέλεσμα σε σχέση με τα βαρέα οχήματα αντιστρέφεται, δείχνοντας μείωση του αριθμού των ατυχημάτων καθώς ο αριθμός των βαρέων οχημάτων αυξάνεται.

Ο σκοπός της εργασίας των Ceder and Livneh (1978), ήταν η περαιτέρω κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων των σχετικών με τα ατυχήματα (πυκνότητα και δείκτης ατυχημάτων) και της μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας για 20 υπεραστικά οδικά τμήματα. Τα οδικά τμήματα που μελετήθηκαν επελέγησαν βάσει προσεκτικά καθορισμένων κριτηρίων. Η μελέτη κάλυψε τόσο τα συνολικά ατυχήματα όσο και τα ξεχωριστά είδη ατυχημάτων: ατυχήματα πολλών εμπλεκόμενων οχημάτων, ενός οχήματος και με τη συμμετοχή πεζών. Η γενική μορφή είναι ότι η συνολική πυκνότητα των ατυχημάτων βρέθηκε να αυξάνεται με την αύξηση της μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας, μιας και είναι το συνδυασμένο αποτέλεσμα της απότομης αύξησης των ατυχημάτων με εμπλοκή πολλών οχημάτων, μέτριας μείωσης σε ατυχήματα με την εμπλοκή ενός οχήματος και αμελητέας επίδρασης των ατυχημάτων με εμπλοκή πεζών.

Η μελέτη των Kononov et al. (2012) κατέδειξε ότι η αύξηση της κυκλοφοριακής ροής και της πυκνότητας κυκλοφορίας (density) χωρίς αξιοσημείωτη μείωση στην ταχύτητα έχει σημαντική επιρροή στην ασφάλεια. Παρόλα αυτά, αυτή η επιρροή δεν έχει μελετηθεί εκτεταμένα και έχει απασχολήσει περιορισμένο αριθμό ερευνητών μέχρι σήμερα.

2.3 Σχέση δείκτη ατυχημάτων και κυκλοφοριακού φόρτου

Ο Chaziris (2005), διερεύνησε συγκριτικά την επιρροή διαφόρων παραμέτρων στο επίπεδο οδικής ασφάλειας των Ελληνικών αυτοκινητοδρόμων και με τη χρήση των στοιχείων του κυκλοφοριακού φόρτου της Αττικής οδού, έγινε δυνατή η συσχέτιση του δείκτη επικινδυνότητας της οδού συναρτήσει της μηνιαίας μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας και η επαλήθευση και επικαιροποίηση της ήδη γνωστής μορφής καμπύλης U που ακολουθεί η συσχέτιση αυτή.

Η τάση που παρατηρείται μελετώντας το σύνολο των τύπων ατυχημάτων φαίνεται να είναι μια καμπύλη η οποία έχει τη μορφή U. Αρχικά παρατηρείται πτώση του δείκτη επικινδυνότητας με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, ενώ με περαιτέρω αύξηση αυτού ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται και σε μερικές περιπτώσεις παρατηρείται ξανά πτώση του όταν η ΕΜΗΚ φτάσει σε μια υψηλή τιμή, φαινόμενο που πιθανώς οφείλεται στον κορεσμό της οδού. Από την κοίλη μορφή της καμπύλης στην περίπτωση του συνόλου των ατυχημάτων, συμπεραίνεται ότι σε χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους παρατηρούνται περισσότερα ατυχήματα με συμμετοχή ενός οχήματος (ανατροπές, εκτροπές) γεγονός που πιθανώς οφείλεται στην ανάπτυξη υψηλότερων ταχυτήτων, ενώ όσο η ΕΜΗΚ μεγαλώνει επικρατέστεροι γίνονται οι τύποι ατυχημάτων με την εμπλοκή δύο ή περισσότερων οχημάτων (μετωπικές, πλαγιομετωπικές, νωτομετωπικές, πλάγιες συγκρούσεις), γεγονός που συμφωνεί με τη λογική αφού κυκλοφορούν περισσότερα οχήματα στην οδό (Chaziris, 2005).

Σύμφωνα με το Highway Safety Manual (2010), υπάρχει έντονη συσχέτιση ανάμεσα στον κυκλοφοριακό φόρτο και στο δείκτη επικινδυνότητας της οδού. Συγκεκριμένα, υπάρχει διαφοροποίηση στην τάση που ακολουθούν τα ατυχήματα ενός οχήματος, τα ατυχήματα δύο ή περισσότερων οχημάτων και το σύνολο των ατυχημάτων σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο. Στην πρώτη περίπτωση η υψηλότερη τιμή του δείκτη επικινδυνότητας παρατηρείται για χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους ενώ όσο αυξάνεται η ΕΜΗΚ ο δείκτης επικινδυνότητας τείνει να μειωθεί. Αντιθέτως, εάν μελετηθούν τα ατυχήματα δύο ή περισσότερων οχημάτων παρατηρείται αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο μετά το οποίο παρατηρείται σταθεροποίηση και έπειτα πτώση του.

Η μελέτη των Belmont and Forbes (1953), ασχολήθηκε με οδικά τμήματα με δύο λωρίδες κυκλοφορίας, αλλά η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση ατυχημάτων σε ευρύτερες συνθήκες. Τα ατυχήματα χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες: ενός οχήματος, νωτομετωπική και μετωπική σύγκρουση. Για κάθε τύπο ατυχήματος, αναπτύχθηκε μια θεωρία που συνδέει την πρόκληση του ατυχήματος με την ταχύτητα και τον κυκλοφοριακό φόρτο. Η θεωρία στη συνέχεια συγκρίθηκε με την εμπειρία των ατυχημάτων σε μια ομάδα οδών στην Πολιτεία της Καλιφόρνια, που επελέγησαν για την ομοιομορφία τους σε σημαντικά χαρακτηριστικά της κατάστασης της οδικής κυκλοφορίας και του σχεδιασμού της. Οι παραπάνω θεωρίες, φαίνεται να παρέχουν έναν εύλογο λεπτομερή απολογισμό της σχέσης μεταξύ της ταχύτητας και του κυκλοφοριακού φόρτου για διάφορους τύπους ατυχημάτων. Οι θεωρίες περιλαμβάνουν κάποιες παραδοχές οι οποίες είναι συζητήσιμες. Ειδικότερα, η άμεση σχέση μεταξύ της ταχύτητας και των ατυχημάτων έχει συχνά αμφισβητηθεί και τα διαθέσιμα στοιχεία ατυχημάτων φαίνεται ότι είναι ανεπαρκή, για μια ικανοποιητική γενική απάντηση. Οι μετωπικές συγκρούσεις καταδεικνύεται ως πειστική απόδειξη ότι δεν μπορούν να είναι ανεξάρτητες από την ταχύτητα κυκλοφορίας.

Η μελέτη των Qin et al. (2006), περιέγραψε την έρευνα της σχέσης μεταξύ της εμφάνισης των ατυχημάτων και του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου, για μικρά δείγματα των τμημάτων αυτοκινητοδρόμου, για τις δύο Πολιτείες του Μίσιγκαν και του Κονέκτικατ. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν πώς η σχέση μεταξύ των ατυχημάτων και του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου ποικίλλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ακόμη και αν υπολογίζεται η ώρα της ημέρας, η σύνδεση του μέτρου έκθεσης δηλαδή ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος, είναι πράγματι μη-γραμμικός για καθένα από τους τέσσερις τύπους ατυχημάτων. Αυτό συνεπάγεται, ότι σε οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας, η εμφάνιση των ατυχημάτων δεν είναι ανάλογη προς τον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο.

Μια άλλη μελέτη (Golob and Recker, 2004), εστίασε σε ατυχήματα ενός οχήματος. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν, ότι η ένταση της κυκλοφορίας εξηγεί τις διαφορές στους δείκτες ατυχημάτων ακόμη και κατά τον έλεγχο για την ώρα της ημέρας και τις συνθήκες φωτός και ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι αρκετά διαφορετικά για ατυχήματα ενός οχήματος και πολλών οχημάτων. Η ωριαία έκθεση σε κίνδυνο, ήταν επίσης σημαντική και για τους δύο τύπους ατυχημάτων αλλά οδηγεί σε διαφορετικής μορφής αντιπροσώπευση.

Επιπρόσθετα, η μελέτη των Wicaksono et al. (2009), είχε ως στόχο να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά των ατυχημάτων, να εντοπίσει τις επικίνδυνες θέσεις ατυχημάτων και να εξάγει τη σχέση μεταξύ του δείκτη ατυχημάτων και των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας και της οδικής γεωμετρίας σε δύο διαφορετικούς τύπους τοπογραφίας, πεδινών και ορεινών περιοχών και για επαρχιακές – δημοτικές οδούς. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η μεταβολή των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας και της γεωμετρίας της οδού μπορεί

σημαντικά να αυξήσει ή να μειώσει τον δείκτη ατυχημάτων, ωστόσο τα διάφορα αποτελέσματα ελήφθησαν από διαφορετικά είδη τοπογραφιών.

Στην μελέτη των Dickerson et al. (1998), αναπτύχθηκε ένα εμπειρικό μοντέλο για τη σχέση μεταξύ των οδικών ατυχημάτων και της κυκλοφοριακής ροής. Η ανάλυση εστίασε στη διαφορά μεταξύ της οριακής και μέσης τιμής της επικινδυνότητας. Η σχέση ατυχημάτων-κυκλοφοριακής ροής παρατηρήθηκε ότι ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών οδών και των διαφόρων γεωγραφικών περιοχών. Ακόμα και αν ελέγχονται αυτές ή άλλες διαφορές, η επικινδυνότητα παρατηρήθηκε ότι ποικίλλει σημαντικά με την κυκλοφοριακή ροή. Πιο συγκεκριμένα, ενώ η επικινδυνότητα είναι συνήθως κοντά στο μηδέν για χαμηλή έως μέτρια κυκλοφοριακή ροή, αυξάνει σημαντικά σε υψηλές τιμές της κυκλοφοριακής ροής.

Στην μελέτη των Anastasopoulos et al. (2008), εφαρμόζεται η παλινδρόμηση tobit ως μια μεθοδολογική προσέγγιση για να αποκτηθούν νέες γνώσεις σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τους δείκτες ατυχημάτων. Με τη χρήση δεδομένων οδικών ατυχημάτων για 5 χρόνια στην Ινδιάννα, η εκτίμηση των αποτελεσμάτων τους παρέχει μερικά ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Οι μεταβλητές της ετήσιας μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας και το ποσοστό των κυκλοφορούντων φορτηγών, βρέθηκαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στους δείκτες ατυχημάτων (Anastasopoulos et al., 2012).

Στη μελέτη των Karlaftis and Golias (2002), επανήλθε το ζήτημα της σχέσης μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών σε υπεραστικές οδούς, των δεικτών ατυχημάτων και της πρόβλεψής τους. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αν και η σημασία των μεμονωμένων μεταβλητών διαφέρει μεταξύ οδών με δύο λωρίδες κυκλοφορίας και πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας, οι μεταβλητές του γεωμετρικού σχεδιασμού και της κατάστασης του οδοστρώματος είναι οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τους δείκτες ατυχημάτων. Είναι σαφές ότι τόσο για την υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας και πολλαπλών λωρίδων η ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία (EMHK) είναι η πιο στατιστικά σημαντική μεταβλητή.

Στη μελέτη των Choueiri et al. (1994), παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα μιας εκτεταμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με την ασφάλεια των υπεραστικών αυτοκινητοδρόμων με δύο λωρίδες κυκλοφορίας και με χαμηλό-μεσαίο επίπεδο κυκλοφοριακού φόρτου. Μεταξύ του κυκλοφοριακού φόρτου και των οδικών ατυχημάτων βρέθηκε ότι υπάρχει αρνητική συσχέτιση. Οι έρευνες καταδεικνύουν μια κατανομή μορφής U μεταξύ των δεικτών ατυχημάτων και του κυκλοφοριακού φόρτου τόσο σε αυτοκινητόδρομους πολλών λωρίδων κυκλοφορίας (Pfundt, 1969; Gwynn, 1967; Leutzbach, 1970) όσο και σε υπεραστικούς αυτοκινητόδρομους με δύο λωρίδες κυκλοφορίας (Goldberg, 1962; Knoflachner, 1975; Leutzbach, 1983).

Επίσης, η μελέτη του Martin (2002), περιέγραψε τη σχέση μεταξύ των δεικτών ατυχημάτων και του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου και εξέτασε την επίδραση της κυκλοφορίας στη σοβαρότητα των ατυχημάτων, με βάση τις παρατηρήσεις που έγιναν σε 2.000 χιλιόμετρα στους Γαλλικούς υπεραστικούς αυτοκινητοδρόμους για πάνω από 2 χρόνια με χρήση της μεθόδου παλινδρόμησης κατανομής Poisson και παλινδρόμηση αρνητικής διωνυμικής κατανομής. Οι δείκτες ατυχημάτων αφορούσαν σε ατυχήματα μόνο με υλικές ζημιές και σε ατυχήματα με τραυματισμούς, όπου αυξάνονται όταν η κίνηση είναι χαμηλότερη από 400 οχήματα/ώρα. Οι δείκτες αυτοί των ατυχημάτων είναι στα χαμηλότερα επίπεδα όταν η κυκλοφοριακή ροή είναι 1.000-1.500 οχήματα/ώρα..

Όσον αφορά στους κόμβους, η παρούσα έρευνα του McDonald (1953), παρουσίασε μια γραφική απεικόνιση της σχέσης των ατυχημάτων με τον κυκλοφοριακό φόρτο σε κόμβους αυτοκινητοδρόμου, με διαχωρισμένα ρεύματα κυκλοφορίας. Η απεικόνιση, παρήχθη από το μέσο όρο της προηγούμενης εμπειρίας των ατυχημάτων, σε 150 κόμβους. Τα δεδομένα περιελάμβαναν συνολικά 1.811 ατυχήματα. Η χρήση του γραφήματος περιελάμβανε: 1) την εκτίμηση του πιθανού αριθμού των ατυχημάτων που θα συμβούν σε μελλοντική περίοδο 2) τη διόρθωση της επίδρασης της μεταβολής του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τη σύγκριση του δείκτη ατυχημάτων του ενός κόμβου με τον άλλο. Η ερμηνεία της απεικόνισης οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα: 1) τα ποσοστά των ατυχημάτων στους κόμβους είναι πολύ πιο ευαίσθητα στις μεταβολές του κυκλοφοριακού φόρτου του διασταυρούμενου δρόμου (δευτερεύουσα οδός) από ό, τι στις αλλαγές του κυκλοφοριακού φόρτου στο διαχωρισμένο αυτοκινητόδρομο (κύριος οδικός άξονας). 2) δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ των δεικτών ατυχημάτων των κόμβων και του αθροίσματος των δύο κυκλοφοριακών φόρτων της εισόδου του κόμβου. Η ύπαρξη μιας τέτοιας σχέσης υπονοείται όταν οι κόμβοι συγκρίνονται με βάση τα «ατυχήματα ανά εκατομμύριο οχήματα». 3) Χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου κόμβοι έχουν υψηλότερους δείκτες ατυχημάτων, ανά διασταυρούμενο όχημα, από ότι οι υψηλότερου κυκλοφοριακού φόρτου κόμβοι.

Στην Ελλάδα, στη μελέτη του Golias (1992) διερευνήθηκε η επίπτωση της κυκλοφοριακής ροής σε σχέση την δυνητικότητα των ατυχημάτων σε ελεγχόμενης προτεραιότητας τετρασκελείς κόμβους. Σαράντα τρεις αστικοί κόμβοι προτεραιότητας επιλέχθηκαν προσεκτικά ούτως ώστε οι παράμετροι της κυκλοφοριακής ροής που αναμένεται να επηρεάσουν την πιθανότητα ατυχημάτων να έχουν παρόμοιες τιμές (οδικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά) στους εξεταζόμενους κόμβους. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των οδικών ατυχημάτων για πενταετή χρονική περίοδο και την αντίστοιχη 24-ωρη κυκλοφοριακή ροή, ένας νέος δείκτης έκθεσης σε κίνδυνο προτάθηκε, ο οποίος αποτελείται από μια έκφραση αλληλεπίδρασης της κυκλοφοριακής ροής που αλληλεπιδρούν στον κόμβο. Η παλινδρόμηση του παρόντος δείκτη έκθεσης σε κίνδυνο για τον αναμενόμενο αριθμό των ατυχημάτων ανά έτος στους κόμβους που εξετάστηκαν, παράγει ένα αρκετά ικανοποιητικό συντελεστή συσχέτισης, καλύτερο από εκείνους που επιτυγχάνονται όταν άλλοι προτεινόμενοι δείκτες χρησιμοποιούνται.

Με γνώμονα της αστικές περιοχές, στη μελέτη των Golob and Recker (2003), ποσοτικοποιήθηκε η σχέση μεταξύ του τύπου των οδικών ατυχημάτων, που λαμβάνουν χώρα σε αστικούς αυτοκινητόδρομους και της διαμόρφωσης της κυκλοφοριακής ροής, λαμβάνοντας υπόψη τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες φωτισμού. Τα δεδομένα αφορούν σε 1.200 ατυχήματα που έλαβαν χώρα σε έξι αυτοκινητόδρομους στην Νότια Καλιφόρνια κατά τη διάρκεια του 1998. Τα αποτελέσματα της πρώτης κανονιστικής περιγραφής καταδεικνύουν ότι οι διαφορές σε ορισμένες περιπτώσεις του φωτισμού και των καιρικών συνθηκών είναι στενά συνδεδεμένες με τον μέσο κυκλοφοριακό φόρτο και τη διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας κάτω από συνθήκες ατυχήματος, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν την θέσεις των ατυχημάτων. Η δεύτερη κανονιστική περιγραφή, είναι ευθυγραμμισμένη με τη διαφορά μεταξύ του ατυχήματος και των συνθηκών κυκλοφορίας σε βρεγμένο οδόστρωμα των αυτοκινητόδρομων κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε αντίθεση με τις συνθήκες σε στεγνό οδόστρωμα στους αυτοκινητόδρομους κατά τη διάρκεια της νύχτας και αιχμαλωτίζει την επιρροή της μεταβολής του κυκλοφοριακού φόρτου στην αριστερή και στην εσωτερική λωρίδα κυκλοφορίας κυρίως στις συγκρούσεις στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας, διαχωρίζοντας τις συνθήκες υγρού οδοστρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας από τις συνθήκες στεγνού οδοστρώματος κατά τη διάρκεια της νύχτας. Εκτιμήθηκε, ότι τα ατυχήματα στην αριστερή

λωρίδα είναι πιο πιθανό να επηρεάζονται από τον κυκλοφοριακό φόρτο ενώ τα ατυχήματα στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας συνδέονται πιο στενά με τις διακυμάνσεις της ταχύτητας στις παρακείμενες λωρίδες κυκλοφορίας.

Η μελέτη των Golob et al. (2004), είχε ως στόχο να καταδείξει τις δυνατότητες της εφαρμογής ενός εργαλείου για την αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο του επιπέδου ασφαλείας προερχόμενο από οποιαδήποτε σχέδιο της κυκλοφοριακής ροής σε αστικό αυτοκινητόδρομο. Τα βασικά στοιχεία της κυκλοφοριακής ροής που φάνηκε να επηρεάζουν την οδική ασφάλεια είναι ο μέσος κυκλοφοριακός φόρτος, η μέση ταχύτητα και οι διακυμάνσεις του κυκλοφοριακού φόρτου και της ταχύτητας, όπου οι μεταβολές πρέπει να διακρίνονται με βάση τις λωρίδες κυκλοφορίας.

Η διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου είναι ένα σημαντικό θέμα, το οποίο συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες ατυχημάτων. Όταν μελετάται η κατανομή των ατυχημάτων στον χρόνο για τον προσδιορισμό του νόμου μεταβολής του κυκλοφοριακού φόρτου στο χρόνο είναι πολύ σημαντικό να προσδιορίζεται το χρονικό διάστημα. Ο νόμος της διακύμανσης του κυκλοφοριακού φόρτου είναι στενά συνδεδεμένος με το χρονικό διάστημα και το χρονικό βήμα σε αυτό το διάστημα (Pakalnis et al., 2003).

2.4 Επιρροή της κυκλοφοριακής ροής στην οδική ασφάλεια

Από την πλευρά της κυκλοφοριακής ροής, η έρευνα των Ceder and Livneh (1982), επιχείρησε να βρει ποσοτικά μοντέλα (power functions) που να αντιπροσωπεύουν τη πιθανή εξάρτηση μεταξύ των δύο μέτρων των ατυχημάτων (πυκνότητα και δείκτης) και της ωριαίας κυκλοφοριακής ροής για οκτώ υπεραστικά οδικά τμήματα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 8 ετών στο Ισραήλ. Από αυτές τις προσπάθειες για την αναζήτηση της σωστής σχέσης μεταξύ των μέτρων των ατυχημάτων και της ωριαίας κυκλοφοριακής ροής, είναι προφανές ότι η τεχνική διαδικασία εμπλέκει ένα συνδυασμό δύο πρωτογενών τύπων αναλύσεων: την ανάλυση της ωριαίας-ακολουθίας (time-sequence analysis) για κάθε οδικό τμήμα και τη διατμηματική ανάλυση (cross sectional analysis) σε ετήσια βάση. Για κάθε τύπο ανάλυσης, το σύνολο των ατυχημάτων πρωτίστως διαχωρίζεται σε ατυχήματα με εμπλοκή πολλών οχημάτων ή ενός οχήματος. Ο τελευταίος διαχωρισμός δίνει τη δυνατότητα: (1) να διακριθεί το κόστος των ατυχημάτων για κάθε είδος ατυχήματος και για κάθε κατηγορία κυκλοφοριακού φόρτου. (2) να βρεθούν οι διαφορετικές επιρροές της κυκλοφοριακής ροής σε κάθε είδος ατυχήματος και (3) να υπάρξει μια πιο αξιόπιστη αξιολόγηση της ασφαλείας για τις μελέτες "πριν και μετά".

Οι φάσεις I και II της συνολικής μελέτης, ενασχολούνται με την επίδραση της ετήσιας μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας στα ατυχήματα. Ωστόσο, αυτή η εξέταση από μόνη της δεν μπορεί να εξηγήσει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οδικών ατυχημάτων και της κυκλοφοριακής ροής, δεδομένου ότι βασίζεται μόνο σε ένα ημερήσιο μέσο όρο. Η εξέταση των ωριαίων κυκλοφοριακών ροών παρέχει μια καλύτερη κατανόηση αυτών των αλληλεπιδράσεων. Επιπλέον, προκύπτει η δυνατότητα για την περαιτέρω κατανόηση της εξάρτησης των ατυχημάτων με την κυκλοφοριακή ροή, με τον διαχωρισμό της σε ωριαία ελεύθερη ροή και ροή συμφόρησης. Αυτός ο διαχωρισμός σε συνιστώσες των δύο τύπων κυκλοφοριακής ροής και του τύπου του ατυχήματος οδηγούν τελικά προς μια πιο ακριβή πρόβλεψη των ατυχημάτων με βάση τη κυκλοφοριακή ροή (Ceder and Livneh, 1982).

Επίσης, στην έρευνα του Ceder (1982), πρόκειται για μια συνέχιση της έρευνας σχετικά με τη σχέση μεταξύ δείκτη ατυχημάτων και ωριαίας κυκλοφοριακής ροής, όπως περιγράφεται στο

Μέρος I της έρευνας. Οι βασικές προσπάθειες της μελέτης καθόρισαν τα κατάλληλα μοντέλα για τους δείκτες ατυχημάτων ενός εμπλεκόμενου οχήματος και πολλών εμπλεκόμενων οχημάτων σε συνδυασμό με την ελεύθερη κυκλοφοριακή ροή και την κυκλοφοριακή ροή συμφόρησης. Τα δεδομένα για την ελεύθερη κυκλοφοριακή ροή δείχνουν ότι η καμπύλη του συνολικού δείκτη ατυχημάτων με την ωριαία κυκλοφοριακή ροή έχει τη μορφή U. Αυτή η μορφή είναι το αποτέλεσμα ενός κυρτού προς τα κάτω και μια κυρτής προς τα άνω καμπύλης για ένα εμπλεκόμενο όχημα και πολλά εμπλεκόμενα οχήματα, αντίστοιχα. Για την περίπτωση των δεδομένων συμφόρησης στη κυκλοφοριακή ροή (που χαρακτηρίζεται από ατυχήματα πολλών εμπλεκόμενων οχημάτων), ο δείκτης ατυχημάτων αυξάνει απότομα με την ωριαία κυκλοφοριακή ροή.

Στη μελέτη των Golob and Recker (2004), αναπτύχθηκε μια μέθοδος για να καθοριστεί πώς τα χαρακτηριστικά των ατυχημάτων, σχετίζονται με τις συνθήκες της κυκλοφοριακής ροής, τη στιγμή εμφάνισης τους. Περιλαμβάνονται πληροφορίες όπως για παράδειγμα ο τύπος και η θέση του ατυχήματος, ο αριθμός των εμπλεκόμενων οχημάτων, των κινήσεων των οχημάτων αυτών πριν από το ατύχημα και η σοβαρότητα. Η κυκλοφοριακή ροή χαρακτηρίζεται από τις κύριες τάσεις και τη διακύμανση της κυκλοφοριακής ροής και του λόγου κυκλοφοριακής ροής/χωρητικότητας για τρεις διαφορετικές διαδρομές κατά το χρόνο και τον τόπο του ατυχήματος. Γίνεται χρήση δεδομένων για περισσότερα από 1.000 ατυχήματα στη Νότια Καλιφόρνια, στην οποία εντοπίστηκαν 21 κινήσεις κυκλοφοριακής ροής για τρεις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες: στεγνό οδόστρωμα κατά τη διάρκεια της ημέρας, στεγνό οδόστρωμα κατά τη διάρκεια της νύχτας και συνθήκες βροχής. Τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, καταδεικνύουν ότι υπάρχουν σαφώς καθορισμένες συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών των ατυχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους και των επικρατούσων συνθηκών κυκλοφοριακής ροής.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση και τα οδικά ατυχήματα είναι δύο αρνητικές επιπτώσεις των μεταφορών. Η σχέση μεταξύ της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των οδικών ατυχημάτων, ωστόσο, δεν είναι εμφανής και δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά. Η μελέτη των Wang et al. (2009), είχε ως στόχο να διερευνήσει τις επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης στη συχνότητα των οδικών ατυχημάτων, με τη χρήση μιας προσέγγισης χωρικής ανάλυσης και να ελέγξει όλους τους σχετικούς παράγοντες, που μπορεί να επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα. Ο M25 αυτοκινητόδρομος στο Λονδίνο, ο οποίος χωρίστηκε σε 70 τμήματα, επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή αυτής της μελέτης, οπότε συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με τα οδικά ατυχήματα, την κυκλοφορία και τα χαρακτηριστικά της οδού. Μια ισχυρή τεχνική αναπτύχθηκε για τη χαρτογράφηση των ατυχημάτων σε τμήματα της περιοχής μελέτης. Οι υπάρχουσες μελέτες χρησιμοποιούν συχνά μια μεταβλητή ώστε να επιτευχθεί εμμέσως η μέτρηση του επιπέδου της κυκλοφοριακής συμφόρησης, η μελέτη αυτή προσέλαβε μια ακριβή μέτρηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση έχει μικρή έως καθόλου επίδραση στην συχνότητα των οδικών ατυχημάτων στον αυτοκινητόδρομο M25.

Πιο συγκεκριμένα, ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι άμεσα συσχετισμένος με την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και δημιουργεί διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας σε αυτή. Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να προσδιορίσουν τη σχέση μεταξύ του κυκλοφοριακής ικανότητας και του δείκτη ατυχημάτων.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι ένα μέτρο της έκθεσης, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση των οδικών ατυχημάτων. Παρόλα αυτά, ο ίδιος κυκλοφοριακός φόρτος σε οδικά τμήματα με διαφορετικές κυκλοφοριακές ικανότητες δημιουργεί διαφορετικές

λειτουργικές συνθήκες και ως εκ τούτου διαφορετική πιθανότητα εμπλοκής σε ατύχημα. Οπότε, ο λόγος του κυκλοφοριακού φόρτου προς την κυκλοφοριακή ικανότητα μπορεί να προσφέρει ένα καλύτερο μέτρο της έκθεσης σε κίνδυνο από ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος καθ' αυτός (Frantzeskakis and Iordanis, 1987).

Συνεπώς, ο στόχος της μελέτης των Chang et al. (2000), ήταν να διευκρινιστεί η σχέση μεταξύ του δείκτη κυκλοφοριακού φόρτου/ κυκλοφοριακής ικανότητας (v/c) και του δείκτη ατυχημάτων σε διάφορα τμήματα εγκαταστάσεων των αυτοκινητόδρομων. Οι σχέσεις αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως βασικό σημείο αναφοράς για την πρόβλεψη και την πρόληψη των τροχαίων ατυχημάτων. Ο κυκλοφοριακός φόρτος και ο αριθμός των ατυχημάτων, για τη χρονική περίοδο 1992 – 1997, στον αυτοκινητόδρομο της Shingal-Ansan στην Κορέα, αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη. Τα μοντέλα του δείκτη ατυχημάτων, που έχουν ως ανεξάρτητη μεταβλητή τον λόγο v/c , δομήθηκαν μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης και πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ τους. Η σχέση μεταξύ των δεικτών ατυχημάτων και του δείκτη v/c είχαν τη μορφή σχήματος U για όλα τα υπό εξέταση τμήματα. Οι δείκτες ατυχημάτων είναι υψηλότεροι σε χαμηλές τιμές του ωριαίου εύρους v/c , ενώ μειώνονται με την αύξηση της αναλογίας v/c και στη συνέχεια αυξάνονται με την αύξηση της αναλογίας v/c . Ο δείκτης ατυχημάτων του τμήματος της πύλης διοδίων είναι γενικά υψηλότερος από εκείνο των άλλων τμημάτων.

Η γενική σχέση μεταξύ του ωριαίου δείκτη ατυχημάτων και του λόγου του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου προς την κυκλοφοριακή ικανότητα (v/c) εξετάστηκε στη μελέτη των Zhou και Sisioriku (1997). Επιλέχθηκε να μελετηθεί ένα οδικό τμήμα 26 χιλιομέτρων της διαπολιτειακής οδού I-94 στη περιοχή του Ντιτρόιτ. Ο λόγος v/c υπολογίστηκε από τα στοιχεία του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου, για τα έτη 1993 και 1994, που αντλήθηκαν από τρεις μόνιμους σταθμούς μέτρησής του. Τα δεδομένα των ατυχημάτων προήλθαν από την ωριαία κατανομή των ατυχημάτων για την ίδια χρονική περίοδο των δύο ετών. Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών v/c και του δείκτη ατυχημάτων ακολουθεί μια γενική μορφή καμπύλης U. Η μελέτη όλων των ατυχημάτων καταδεικνύει ότι οι δείκτες ατυχημάτων είναι υψηλότεροι σε πολύ χαμηλά επίπεδα τιμών v/c , και εν συνεχεία μειώνονται απότομα όταν αυξάνονται οι τιμές του v/c και μετά αυξάνονται όταν οι τιμές του v/c συνεχίζουν να αυξάνονται. Η σχέση μορφής U επίσης εξηγεί τη σχέση μεταξύ v/c και δεικτών ατυχημάτων για τις ημέρες της εβδομάδας και τα σαββατοκύριακα, συγκρούσεις μεταξύ πολλών οχημάτων, οπίσθια σύγκρουση και ατυχήματα με υλικές ζημιές μόνο. Ενώ, σε ατυχήματα με ένα εμπλεκόμενο όχημα, σε ατυχήματα με πρόσκρουση σε σταθερό αντικείμενο και ατυχήματα που εμπλέκουν τραυματισμούς και θανάτους ακολουθούν μια γενική μειωτική τάση όταν αυξάνεται ο λόγος v/c . Οι κυκλοφοριακές εμπλοκές είναι ο κύριος παράγοντας που συμβάλει στους υψηλούς δείκτες ατυχημάτων, οι οποίες παρατηρούνται σε υψηλές τιμές του v/c , ενώ παράμετροι όπως οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας και απόσπαση του οδηγού είναι επεξηγηματικοί για την καταγραφή υψηλών δεικτών ατυχημάτων σε χαμηλά επίπεδα του v/c .

Σημαντική προσπάθεια έχει γίνει τα τελευταία χρόνια για στην ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ των διαφόρων ατυχημάτων και των χαρακτηριστικών της κυκλοφοριακής ροής για τμήματα αυτοκινητόδρομων. Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας έχει επικεντρωθεί στον καθορισμό της σχέσης μεταξύ ατυχημάτων και κυκλοφοριακού φόρτου, ενώ μικρή βαρύτητα έχει δοθεί στις σχέσεις της πυκνότητας των οχημάτων, του επιπέδου εξυπηρέτησης, του λόγου κυκλοφοριακή ροή/ κυκλοφοριακή ικανότητα (v/c) και στην κατανομή της ταχύτητας. Παρά τη συνολική πρόοδο, εξακολουθεί να μην υπάρχει σαφής κατανόηση σχετικά με τις επιπτώσεις των διαφορετικών χαρακτηριστικών της κυκλοφοριακής ροής στην ασφάλεια.

Στην πραγματικότητα, πολλές μελέτες που εξετάστηκαν στην εργασία των Lord et al. (2005, 2006) διαπιστώθηκε ότι είχαν μεθοδολογικούς περιορισμούς. Αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση έξυπνων μοντέλων με μια κανονική δομή σφάλματος, συγκεντρωτικούς δείκτες ατυχημάτων και ανεπαρκείς λειτουργικές μορφές για τα δεδομένα που προσδιορίζονται χειροκίνητα.

Η αρχική έρευνα στην οποία βασίζονται οι μελέτες των Lord et al. (2005, 2006), είχε ως στόχο να καθορίσει τη στατιστική σχέση με τη χρήση συνήθως εφαρμοζόμενων μοντέλων πρόβλεψης μεταξύ των ατυχημάτων και των ωριαίων χαρακτηριστικών της κυκλοφοριακής ροής, όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, η πυκνότητα κυκλοφορίας και ο λόγος v/c , για τμήματα του υπεραστικού και αστικού αυτοκινητόδρομου, αντίστοιχα. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, αναπτύχθηκαν μοντέλα πρόβλεψης με βάση τα δεδομένα που συλλέχτηκαν για τα τμήματα που βρίσκονται στον αυτοκινητόδρομο στο κέντρο της πόλης και έξω από το Μόντρεαλ του Καναδά. Αξιολογήθηκαν τρεις διαφορετικές λειτουργικές μορφές. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν, ότι τα μοντέλα πρόβλεψης που χρησιμοποίησαν τον κυκλοφοριακό φόρτο ως τη μόνη επεξηγηματική μεταβλητή, δεν μπόρεσαν να περιγράψουν επαρκώς τη διαδικασία του ατυχήματος στα τμήματα των αυτοκινητόδρομων. Οι λειτουργικές μορφές, που ενσωματώνουν την πυκνότητα κυκλοφορίας και τον δείκτη v/c προσφέρουν μια πιο πλούσια περιγραφή των ατυχημάτων που συμβαίνουν είτε σε υπεραστικό ή αστικό περιβάλλον.

Για τα ατυχήματα ενός οχήματος, βρέθηκε αρνητική-εκθετική σχέση με το v/c του οδικού τμήματος, υποδεικνύοντας ότι η ταχύτητα πρόσκρουσης είναι υψηλότερη σε χαμηλές τιμές του v/c , πέφτει απότομα ως ένα σημείο, και στη συνέχεια αυξάνεται, γεγονός που είναι συνεπές με προηγούμενα ευρήματα (Golob and Recker, 2004). Αντίθετα, για τα ατυχήματα πολλών οχημάτων ο λόγος v/c του τμήματος δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Αντίθετα, ο πρόσθετος εκθέτης για την έκθεση πολλών οχημάτων είναι σημαντικός ως παράγοντας πρόβλεψης (Golob and Recker, 2004).

2.5. Σχέση σοβαρότητας ατυχημάτων και κυκλοφοριακού φόρτου

Όσον αφορά στη σοβαρότητα του ατυχήματος, έχει διαπιστωθεί ότι ελέγχοντας τον καιρό και τις συνθήκες φωτισμού, υπάρχουν ενδείξεις ότι η σοβαρότητα επηρεάζεται περισσότερο από τον κυκλοφοριακό φόρτο παρά από την ταχύτητα (Golob και Recker, 2003).

Επίσης, δεν παρατηρείται διαφορά στη σοβαρότητα των ατυχημάτων σε σχέση με τον αριθμό των λωρίδων ή της περιόδου κατά την εβδομάδα, για ένα δεδομένο επίπεδο κυκλοφορίας (Martin, 2002). Ωστόσο, είναι μεγαλύτερη η σοβαρότητα των ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας και όταν ωριαία κυκλοφορία είναι ελαφριά (Martin, 2002). Σε σύγκριση με τον αριθμό των οχημάτων στην οδό, η ελαφριά κυκλοφορία είναι ένα σοβαρό πρόβλημα ασφαλείας σε ό,τι αφορά στη συχνότητα και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων, οπότε οι εκστρατείες οδικής ασφάλειας πρέπει να στοχεύουν στους χρήστες του αυτοκινητόδρομου για να επηρεάσουν τη συμπεριφορά τους σε αυτές τις συνθήκες οδήγησης (Martin, 2002).

Στη μελέτη των Brodsky et al. (1983), διατυπώθηκε ότι ο δείκτης ατυχημάτων με τραυματισμούς σε υπεραστικές περιοχές θεωρητικά αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας κυκλοφορίας. Αναλύσεις παλινδρόμησης των δεδομένων εγκάρσιας τομής στις κύριες και δευτερεύουσες εθνικές οδούς των ΗΠΑ δείχνουν μια μετρίως θετική συσχέτιση. Οι δείκτες θανατηφόρων ατυχημάτων, από την άλλη πλευρά, συσχετίζονται αρνητικά με την πυκνότητα κυκλοφορίας. Η εξήγηση αυτών των αποτελεσμάτων μπορεί να αποδοθεί σε μεταβλητές που

σχετίζονται με την πυκνότητα της κυκλοφορίας όπως είναι η ταχύτητα, η μεταβολή της ταχύτητας, οι τύποι ατυχημάτων κτλ.

Η έρευνα του Wang (2010) είχε ως στόχο να διερευνήσει τη σχέση μεταξύ της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των οδικών ατυχημάτων με τη χρήση οικονομετρικών και GIS προσεγγίσεων. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα από τον αυτοκινητόδρομο M25 στο Λονδίνο και των γύρω του κυρίως οδικών αξόνων για την χρονική περίοδο 2003-2007. Μια σειρά οικονομετρικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν για να διερευνηθεί η επίδραση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και στη συχνότητα των ατυχημάτων (αρνητική διωνυμική και χωρικά μοντέλα Bayesian) αλλά και στη σοβαρότητα των ατυχημάτων (λογαριθμική και μικτά μοντέλα λογαριθμικής). Το χωρικό μοντέλο Bayesian και το μικτό μοντέλο λογαριθμικής είναι τα «καλύτερα» μοντέλα που υπολογίζουν τη συχνότητα των ατυχημάτων και τη σοβαρότητα του ατυχήματος, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης, έδειξαν ότι το μοντέλο της κυκλοφοριακής συμφόρησης, συνδέεται θετικά με τη συχνότητα των ατυχημάτων με θανάτους και σοβαρούς τραυματισμούς ενώ παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τη σοβαρότητα. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση βρέθηκε να έχει μικρή επιρροή στη συχνότητα ατυχημάτων με ελαφρά τραυματίες. Το συμπέρασμα είναι ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση συνολικά έχει αρνητική επίδραση στην οδική ασφάλεια. Αυτό μπορεί να οφείλεται εν μέρει στην υψηλότερη διακύμανση της ταχύτητας μεταξύ των οχημάτων εντός και μεταξύ των λωρίδων κυκλοφορίας και στην ακανόνιστη συμπεριφορά οδήγησης όταν υφίσταται κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Τέλος, χρησιμοποιώντας πενταετή δεδομένα από τους αυτοκινητόδρομους στην πολιτεία της Washington, η μελέτη των Anastasopoulos et al. (2012), υπολόγισε ένα πολύ-παραγοντικό μοντέλο tobit, του δείκτη ατυχήματος-τραυματισμού-σοβαρότητας, και τα εμπειρικά αποτελέσματα δείχνουν ότι το πολύ-παραγοντικό μοντέλο tobit, υπερτερεί του μονό-παραγοντικού ομολόγού του και ότι είναι σχεδόν ισοδύναμο με το μοντέλο πολύ-μεταβλητής αρνητικής διωνυμικής και έχει τη δυνατότητα να παράσχει μια πληρέστερη κατανόηση των παραγόντων που καθορίζουν ατυχήματα-τραυματισμό-σοβαρότητα, συγκεκριμένου τμήματος οδικών αξόνων.

3. Κριτική αξιολόγηση

Μια άλλη διάσταση στο θέμα της μελέτης των οδικών ατυχημάτων καταγράφεται με γνώμονα την επίδραση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών της οδού. Υπάρχουν ατυχήματα όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι ένας βασικός παράγοντας πρόκλησης οδικών ατυχημάτων και ατυχήματα όπου κυκλοφοριακός φόρτος δεν έχει επιρροή ή δεν είναι ο κύριος παράγοντας πρόκλησης ατυχημάτων. Οπότε, κρίνεται σκόπιμη η διερεύνηση αυτής της σχέσης ούτως ώστε να μελετηθεί καλύτερα το φαινόμενο των οδικών ατυχημάτων όσον αφορά τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά της οδού.

Σε μακροσκοπική κλίμακα υπάρχει ευθεία συσχέτιση μεταξύ του κυκλοφοριακού φόρτου και του δείκτη ατυχημάτων. Όσον αφορά τον αριθμό των ατυχημάτων, αυτός αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό όσο αυξάνεται η ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία (ΕΜΗΚ) της οδού, αφού ο κυκλοφοριακός φόρτος της οδού επηρεάζει την ταχύτητα αλλά και την “ένταση” κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Από την άλλη πλευρά, η σχέση μεταξύ των ατυχημάτων και της ΕΜΗΚ είναι μη γραμμική με μια κλίση που σημειώνει μείωση όταν αυξάνεται η ΕΜΗΚ. Σε αυτή την περίπτωση, η μελέτη της σχέσης του αριθμού των ατυχημάτων και των οδικών ατυχημάτων, μπορεί να λάβει ρόλο επιβεβαιωτικό ή μη, όσον αφορά την καθολικότητα των συμπερασμάτων στις υπό εξέταση μελέτες.

Από τη βιβλιογραφική κριτική ανασκόπηση, που παρατέθηκε ανωτέρω, καταδεικνύεται ότι η αύξηση της κυκλοφοριακής ροής και της πυκνότητας κυκλοφορίας (density) χωρίς αξιοσημείωτη μείωση στην ταχύτητα έχει σημαντική επιρροή στην οδική ασφάλεια. Παρόλα αυτά, αυτή η επιρροή δεν έχει μελετηθεί εκτεταμένα και έχει τραβήξει την προσοχή περιορισμένου αριθμού ερευνητών μέχρι σήμερα.

Σχετικά με το δείκτη ατυχημάτων σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο, η τάση που παρατηρείται μελετώντας το σύνολο των τύπων ατυχημάτων έχει τη μορφή U. Αρχικά παρατηρείται πτώση του δείκτη επικινδυνότητας με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, ενώ με περαιτέρω αύξηση αυτού ο δείκτης επικινδυνότητας αυξάνεται και σε μερικές περιπτώσεις παρατηρείται ξανά πτώση του όταν η ΕΜΗΚ φτάσει σε μια υψηλή τιμή, φαινόμενο που πιθανώς οφείλεται στον κορεσμό της οδού και που χρήζει περαιτέρω μελέτη. Ο δείκτης ατυχημάτων μειώνεται όταν η κυκλοφοριακή ροή αντιμετωπίζεται ως ένα ομοιογενές σύνολο. Ωστόσο, όταν τα οχήματα μελετούνται ξεχωριστά το αποτέλεσμα δείχνει ότι ο δείκτης ατυχημάτων είναι σταθερός ή αυξάνεται. Οπότε, περαιτέρω μελέτη είναι σκόπιμο να διενεργηθεί για την εξέταση της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου και των εμπλεκόμενων αυτών παραγόντων στην οδική ασφάλεια με γνώμονα ομοιογενή σύνολα εξεταζόμενων στοιχείων.

Η διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου είναι ένα επίσης σημαντικό θέμα, το οποίο συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες ατυχημάτων και κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί περαιτέρω σε επόμενες έρευνες.

Στο θέμα επιρροής της κυκλοφοριακής ροής στην οδική ασφάλεια, είναι δυνατόν να προχωρήσουμε ένα βήμα προς τα εμπρός για την περαιτέρω κατανόηση της εξάρτησης των ατυχημάτων με την κυκλοφοριακή ροή, με τον διαχωρισμό της σε ωριαία ελεύθερη ροή και ροή συμφόρησης. Αυτός ο διαχωρισμός σε συνιστώσες των δύο τύπων κυκλοφοριακής ροής και του τύπου του ατυχήματος οδηγούν τελικά προς μια πιο ακριβή πρόβλεψη των ατυχημάτων με βάση τη κυκλοφοριακή ροή. Τα δεδομένα για την ελεύθερη κυκλοφοριακή ροή δείχνουν ότι η καμπύλη του συνολικού δείκτη ατυχημάτων με την ωριαία κυκλοφοριακή ροή έχει τη μορφή U.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι άμεσα συσχετισμένος με την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και δημιουργεί διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας σε αυτή. Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να προσδιορίσουν τη σχέση μεταξύ του κυκλοφοριακής ικανότητας και του δείκτη ατυχημάτων παρόλα αυτά η περαιτέρω μελέτη αυτής της σχέσης θα προσέφερε έργο στην πλευρά της επιστήμης της οδικής ασφάλειας.

Πολλές μελέτες ασχολήθηκαν με την επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου στην οδική ασφάλεια σε μακροσκοπική κλίμακα και σημαντικά λιγότερες σε μικροσκοπική κλίμακα. Σκόπιμη κρίνεται η διερεύνηση της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου στην οδική ασφάλεια σε επίπεδο μικροσκοπικής κλίμακας, όπου οι μελέτες είναι περιορισμένες και αρκετά πρόσφατες (Abdel-Aty and Pande, 2005; Abdel-Aty et al., 2007; Ahmed and Abdel-Aty, 2012). Η σημερινή ευκολία στην πρόσβαση αλλά και στην ανάλυση πολύ λεπτομερών μικροσκοπικών κυκλοφοριακών δεδομένων συνέβαλε στο αναπτυχθεί αυτή η ιδιαίτερως μικροσκοπική προσέγγιση που μόλις πρόσφατα ξεκίνησε να διαδίδεται ευρέως. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να μελετηθεί περαιτέρω η επιρροή των παραπάνω παραμέτρων στην οδική ασφάλεια τόσο ξεχωριστά όσο και συνδυαστικά. Μια άλλη λεπτομέρεια είναι ότι μέσω αυτής της προσέγγισης είναι δυνατόν να εξεταστεί η επιρροή των μετεωρολογικών παραμέτρων

συνδυαστικά με τις κυκλοφοριακές. Πιο πολλές λεπτομέρειες αναφέρονται στην εργασία των Theofilatos and Yannis (2014).

Τέλος, όσον αφορά στη σοβαρότητα του ατυχήματος, οι μελέτες είναι περιορισμένες. Ωστόσο, ελέγχοντας τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες φωτισμού, υπάρχουν ενδείξεις ότι η σοβαρότητα επηρεάζεται περισσότερο από τον κυκλοφοριακό φόρτο παρά από την ταχύτητα και αυτό το θέμα είναι σκόπιμο να μελετηθεί εκτενέστερα σε μελλοντικές μελέτες μιας και δεν έχει τραβήξει την απαιτούμενη προσοχή όπως στην περίπτωση της επιρροής της ταχύτητας στη σοβαρότητα των ατυχημάτων.

Αναφορές

AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st Edition.

Abdel-Aty, M., Pande, A., 2005. Identifying crash propensity using specific traffic speed conditions. *Journal of Safety Research*. 36, 97–108.

Abdel-Aty, M., Pande, A., Lee, C., Gayah, V., Dos Santos, C., 2007. Crash risk assessment using intelligent transportation systems data and real-time intervention strategies to improve safety on freeways. *Journal of Intelligent Transport Systems*. 11 (3), 107–120.

Ahmed, M., Abdel-Aty, M., 2012. The viability of using automatic vehicle identification data for real-time crash prediction. *IEEE Trans. Intelligent Transport Systems*. 13 (2), 459–468.

Anastasopoulos P.Ch., Mannering F.L., Shankar V.N. and Haddock J.E., 2012. A study of factors affecting highway accident rates using the random-parameters Tobit model. *Accident Analysis and Prevention*. 45, 628-633.

Anastasopoulos P.Ch., Shankar V.N., Haddock J.E. and Mannering F.L., 2012. A multivariate Tobit analysis of highway accident-injury-severity rates. *Accident Analysis and Prevention*. 45, 110-119.

Anastasopoulos P.Ch., Tarko A.P. and Mannering F.L., 2008. Tobit analysis of vehicle accident rates on interstate highways. *Accident Analysis and Prevention*. 40, 768-775.

Belmont D.M. and Forbes T.W., 1953. Effect of Average Speed and Volume on Motor-Vehicle Accidents on Two-Lane Tangents. *Highway Research Board Proceedings*. 32, 383-395.

Brodsky H. and Hakkert A.S., 1983. Highway accident rates and rural travel densities. *Accident Analysis and Prevention*. 15 (1), 73-84.

Cafiso S., Di Graziano A., Di Silvestro G., La Cava G. and Persaud B., 2010. Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis and Prevention*. 42, 1072-1079.

Ceder A., 1982. Relationships between road accidents and hourly traffic flow – II. Probabilistic Approach. *Accident Analysis and Prevention*. 14 (1), 35-44.

Ceder A. and Livneh M., 1978. Further evaluation of relationships between road accidents and average daily traffic. *Accident Analysis and Prevention*. 10, 95-109.

Ceder A. and Livneh M., 1982. Relationships between road accidents and hourly traffic flow – I. Analyses and interpretation. *Accident Analysis and Prevention*. 14 (1), 19-34.

Chang J., Oh C. and Chang M., 2000. Effects of Traffic Condition (v/c) on Safety at Freeway Facility Sections. In: *Proceedings of the Fourth International Symposium on Highway Capacity*, June 27 – July 1, 2000. Maui, Hawaii.

Chaziris A., 2005. Comparative investigation of parameters influencing road accident risk in Greek motorways, National Technical University of Athens, October.

Choueiri E.M., Lamm R., Kloeckner J.H. and Mailaender T., 1994. Safety aspects of individual design elements and their interactions on two-lane highways: international perspective. *Transportation Research Record*. 1445, 34-46.

Dickerson A., Peirson J. and Vickerman R., 1998. Road accident and traffic flows: An econometric investigation. *Economica*. London School of Economics and Political Science. 67(265), 101-21.

Frantzeskakis I. and Golias J., 1994. *Road Safety*, Papasotiriou Eds, Athens.

Frantzeskakis J.M. and Iordanis D.I., 1987. Volume-to-Capacity Ratio and Traffic Accidents on Interurban Four-Lane Highways in Greece. *Transportation Research Record*. 1112, 29-38.

Goldberg S., 1962. Detailed investigation of accidents on National roads in France. *International Road Safety and Traffic Review*. 10, 23-31.

Golias J.C., 1992. Establishing relationships between accidents and flows at urban priority road junctions. *Accident Analysis and Prevention*. 24 (6), 689-694.

Golob T.F. and Recker W.W., 2003. Relationships among Urban Freeway Accidents. Traffic Flow, Weather and Lighting Conditions. *Journal of Transportation Engineering*. 129 (4), 342-353.

Golob T.F. and Recker W.W., 2004. A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. *Transportation Research Part A*. 38, 53-80.

Golob T.F., Recker W. W. and Alvarez V. M., 2004. Freeway safety as a function of traffic flow. *Accident Analysis and Prevention*. 36, 933-946.

Gwynn D. W., 1967. Relationship of accident rates and accident involvements with hourly volumes. *Traffic Quarterly*. 29, 407-418.

Ivan J.N. , Wang C. and Bernardo N.R., 2000. Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure. *Accident Analysis and Prevention*. 32, 787-795.

Karlaftis M. G. and Golias I., 2002. Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates, *Accident Analysis & Prevention*, 34 (3), p.p. 357-365.

Knoflach H., 1975. Interrelation between road construction and traffic safety. *Strasse und Verkehr*. 61, 414-420.

Kononov J., Durso C., Reeves D. and Allery B.K., 2012. Relationship between traffic density, speed and safety and its implication on setting variable speed limits on freeways. In: *Proceedings of TRB 91th Annual Meeting*, 22-26 January 2012. Washington, D.C.

Leutzbach W., Wiedemann R. and Siegener W., 1970. About the relationship between traffic accidents and traffic volume on German Interstate section. *Accident Analysis and Prevention*. 2, 92-103.

Leutzbach W. et al., 1983. Relationship between traffic accidents and traffic conditions on two-lane rural roads. Research Reports FA 3.123, fa 3.021 AND fa 3.607. For the Minister of Transportation, Federal Republic of Germany.

Lord D., Manar A. and Vizioli A., 2005. Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. *Accident Analysis and Prevention*. 37, 185-199.

Lord D., Manar A. and Vizioli A., 2006. Erratum to "Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments". *Accident Analysis and Prevention*. 38, 422-423.

Martin J.L., 2002. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways. *Accident Analysis and Prevention*. 34, 619-629.

McDonald J.W., 1953. Relation between number of accidents and traffic volume at divided-highway intersections. *Highway Research Board Bulletin*. 74, 7-17.

McGuigan D.R.D., 1987. An examination of relationships between road accidents and traffic flow. PhD Thesis. Newcastle University.

Michaels R. and Schneider C., 1976. The energy crisis, characteristics of traffic flows, and highway safety. *Accident Analysis and Prevention*. 8, 263-270.

Pakalnis A., Dimaitis M. and Guzys A., 2003. Interactions between accident rate and traffic volume. In: *Proceedings of the Baltic Road Association 25th Conference*, 25-27 August, 2003. Vilnius. Lithuania.

Pfundt K., 1969. Comparative accident investigations on rural roads. *Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, 82.

Qin X., Ivan J.N. and Ravishanker N., 2004. Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis and Prevention*. 36, 183-191.

Qin X., Ivan J.N., Ravishanker N., Liu J. and Tepas D., 2006. Bayesian estimation of hourly exposure functions by crash type and time of day. *Accident Analysis and Prevention*. 38, 1071-1080.

Theofilatos A., Yannis G. 2014. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis and Prevention*. 72, 244–256.

Wang C., 2010. The relationship between traffic congestion and road accidents: An econometric approach using GIS. PhD Thesis. Loughborough University. Leicestershire, UK.

Wang C., Quddus M.A. and Ison S.G., 2009. Impact of traffic congestion on road accidents: A spatial analysis of the M25 motorway in England. *Accident Analysis and Prevention*. 41, 798-808.

Wicaksono A., Ambarwati L. and Indriastuti A.K., 2009. A Comparison of Accident Characteristics in Highland and Lowland Regions: A Case Study in Malang District, Indonesia. In: *Proceedings of the 8th Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 16-19 November 2009. 7, 2160-2172. Surabaya, Indonesia.

World Health Organization (WHO), 2013. *Global Status Report on Road Safety 2013. Supporting a decade of action*. World Health Organization (WHO).

Winslott Hiselius L., 2004. Estimating the relationship between accident frequency and homogeneous and inhomogeneous traffic flows. *Accident Analysis and Prevention*, 36, 985-992.

Zhou M. and Sisiopiku V.P., 1997. Relationship between volume-to-capacity ratios and accident rates. *Transportation Research Record*. 1581, 47-52.