



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΕ ΤΗ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Απόστολος Ζιακόπουλος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

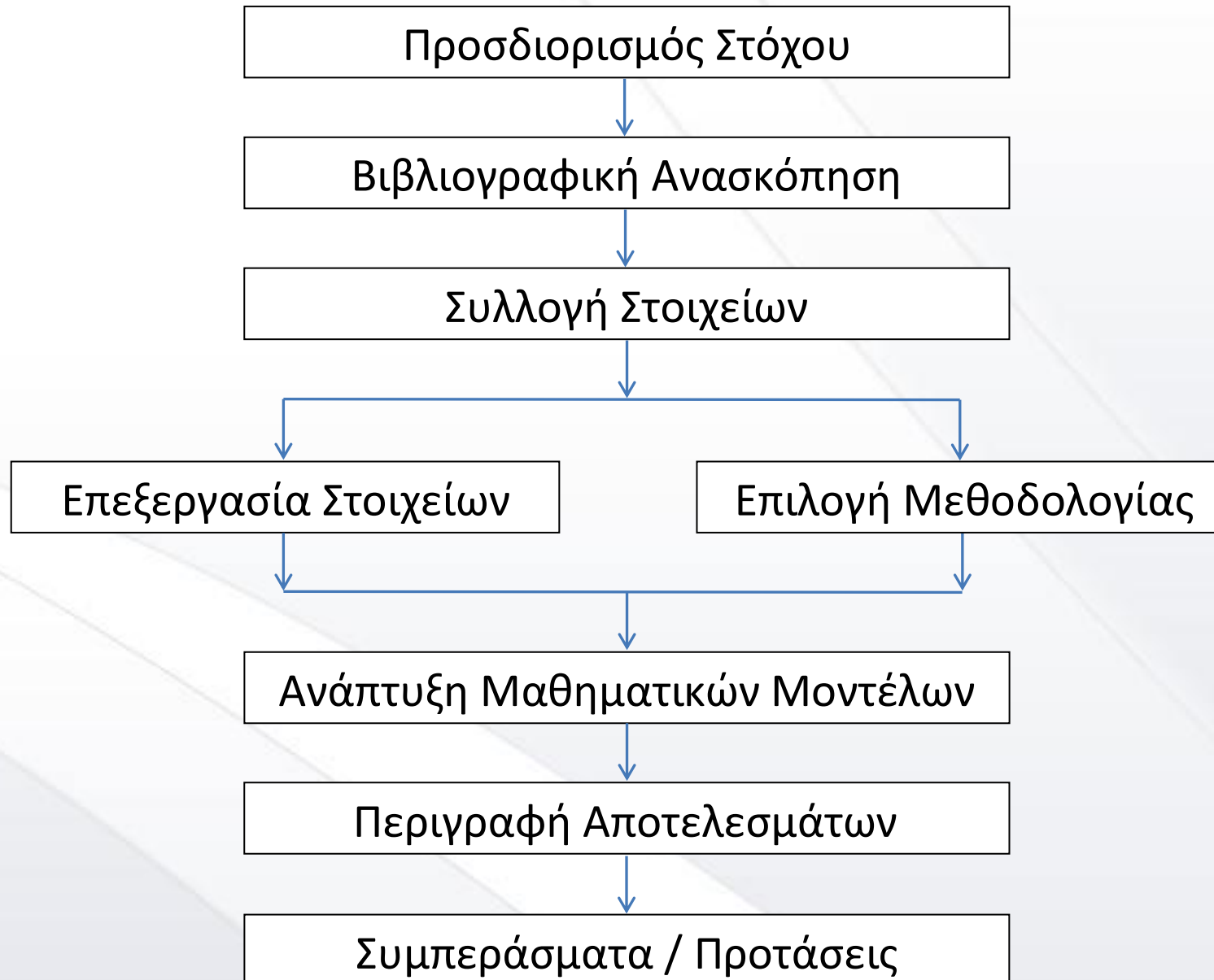
Αθήνα, Μάρτιος 2013

Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Συσχέτιση των κυκλοφοριακών μεγεθών με τη σοβαρότητα και την πιθανότητα εμφάνισης των οδικών ατυχημάτων

- Ταυτόχρονη συσχέτιση με ταχύτητα και κυκλοφοριακό φόρτο, για καλύτερη περιγραφή των σύνθετων φαινομένων προς εξέταση
- Πιθανή συσχέτιση με επιμέρους χαρακτηριστικά οδικών ατυχημάτων
- Μακροσκοπική ανάλυση των δεδομένων
- Δημιουργία αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων

Δομή Διπλωματικής Εργασίας



Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (Θέματα)

- Επιρροή της ταχύτητας στην πιθανότητα εμφάνισης και στη σοβαρότητα οδικού ατυχήματος
- Επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου στην πιθανότητα εμφάνισης και στη σοβαρότητα οδικού ατυχήματος
- Μελέτη εμφάνισης οδικού ατυχήματος με χρήση γεγονότων ατυχημάτων και συμπλήρωση τους με δεδομένα χρονικών περιόδων κανονικών συνθηκών ροής (μη-ατυχήματα)

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (Σύνοψη)

Επιρροή της ταχύτητας:

- Εξάρτηση με τον δείκτη ατυχημάτων μέσω εκθετικών σχέσεων
- Η αύξηση της ταχύτητας επηρεάζει περισσότερο τον δείκτη ατυχημάτων περισσότερο σε μικρές αστικές οδούς από ότι σε υπεραστικές
- Αύξηση της μέσης ταχύτητας αλλά και μεγάλες διακυμάνσεις της ταχύτητας μεμονωμένου οχήματος αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης ατυχήματος

Επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου (συνήθη αποτελέσματα):

- Θετική στην εμφάνιση ατυχημάτων και αρνητική στη σοβαρότητά τους

Η πλειοψηφία των ερευνών πραγματοποιεί επιμέρους συσχετίσεις των κυκλοφοριακών μεγεθών με τα οδικά ατυχήματα, και όχι ταυτόχρονες.

Πληθώρα προσεγγίσεων των ζητημάτων από έρευνες, διαφορές των αποτελεσμάτων ανάλογα με την περιοχή έρευνας.

Θεωρητικό Υπόβαθρο (1/2)

Μέθοδοι Ανάλυσης

- Εξαρτημένες Μεταβλητές:
διατεταγμένες (αριθμητικές τιμές με συσχέτιση μεταξύ τους)
- Ανεξάρτητες Μεταβλητές: διατεταγμένες και συνεχείς

Ανάλυση Λογιστικής Παλινδρόμησης (διωνυμική)

- διατεταγμένες εξαρτημένες μεταβλητές που λαμβάνουν δύο μόνο τιμές

- $$U = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_i * x_i$$

- $$P_{(\text{αν.μετ.}=1)} = \frac{e^U}{(e^U + 1)}$$

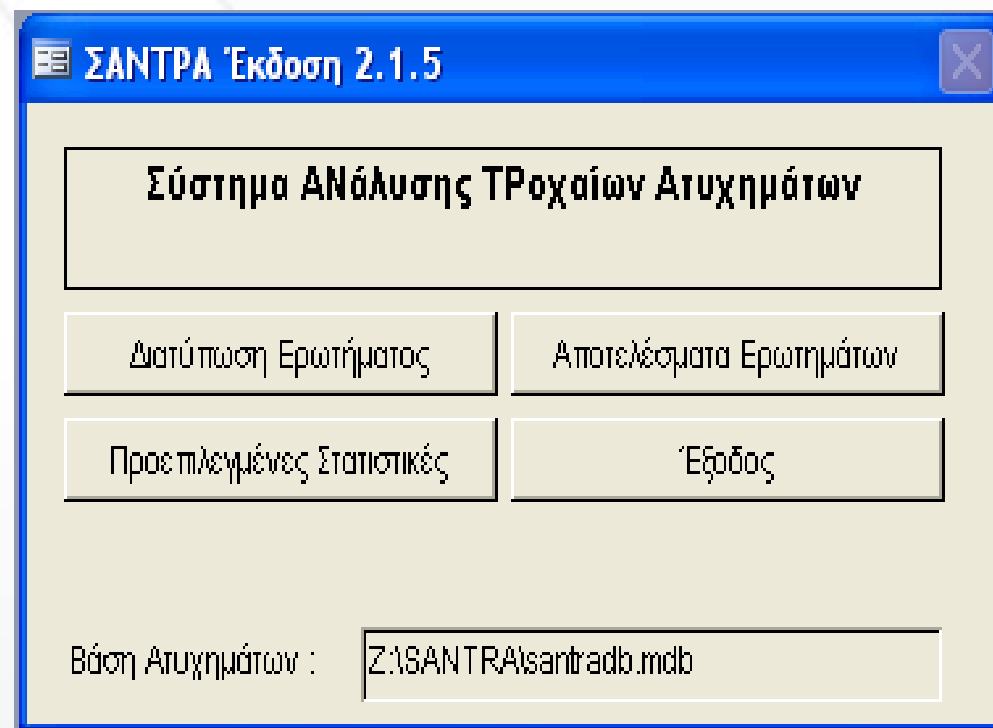
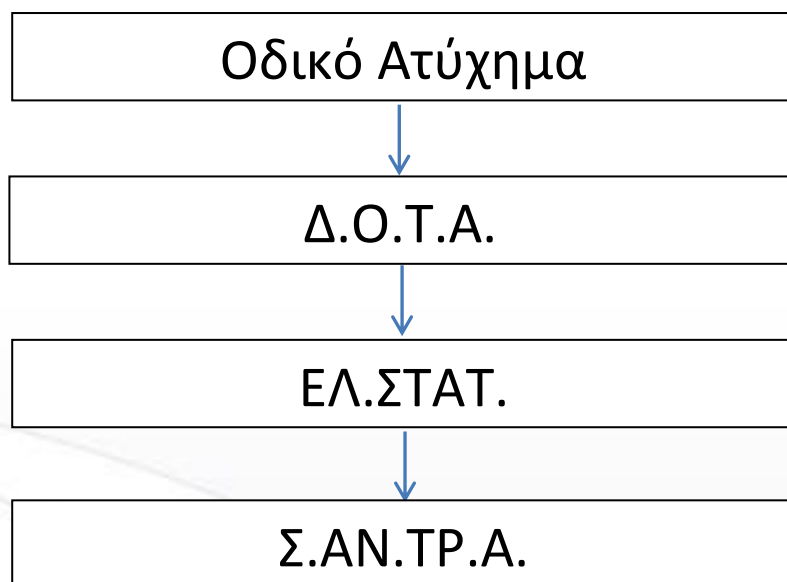
Θεωρητικό Υπόβαθρο (2/2)

Στατιστικοί Έλεγχοι Μαθηματικών Μοντέλων
Λογιστικής Παλινδρόμησης:

- Εξηγήσιμα β_i
- Έλεγχος t ή Wald $> 1,7$ για επίπεδο σημαντικότητας 95%.
- Έλεγχος Hosmer-Lemeshow $> 5\%$ για επίπεδο σημαντικότητας 95%.
- Συνίσταται επίπεδο σημαντικότητας κάθε μεταβλητής $< 5\%$
(πάντοτε μικρότερο του 10%)
- Όσο το δυνατόν χαμηλότερο Likelihood Ratio Test
- Όσο το δυνατόν υψηλότερος συντελεστής R^2 ,
αν και δευτερεύων στην ανάλυση λογιστικής παλινδρόμησης.

Συλλογή Στοιχείων (1/2)

Σύστημα Ανάλυσης Τροχαίων Ατυχημάτων (Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α.) - Στοιχεία ΕΛ.ΣΤΑΤ.



Περιέχονται στοιχεία ατυχημάτων από όλη την Ελλάδα από το 1996 και έπειτα (ετήσια ενημέρωση): πληθώρα μεταβλητών (παθόντες, ημερομηνία, αριθμός λωρίδων, συνθήκες καιρού - φωτισμού, τύποι οχημάτων και ατυχημάτων κλπ)

Συλλογή Στοιχείων (2/2)

Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας Αττικής (Κ.Δ.Κ.)

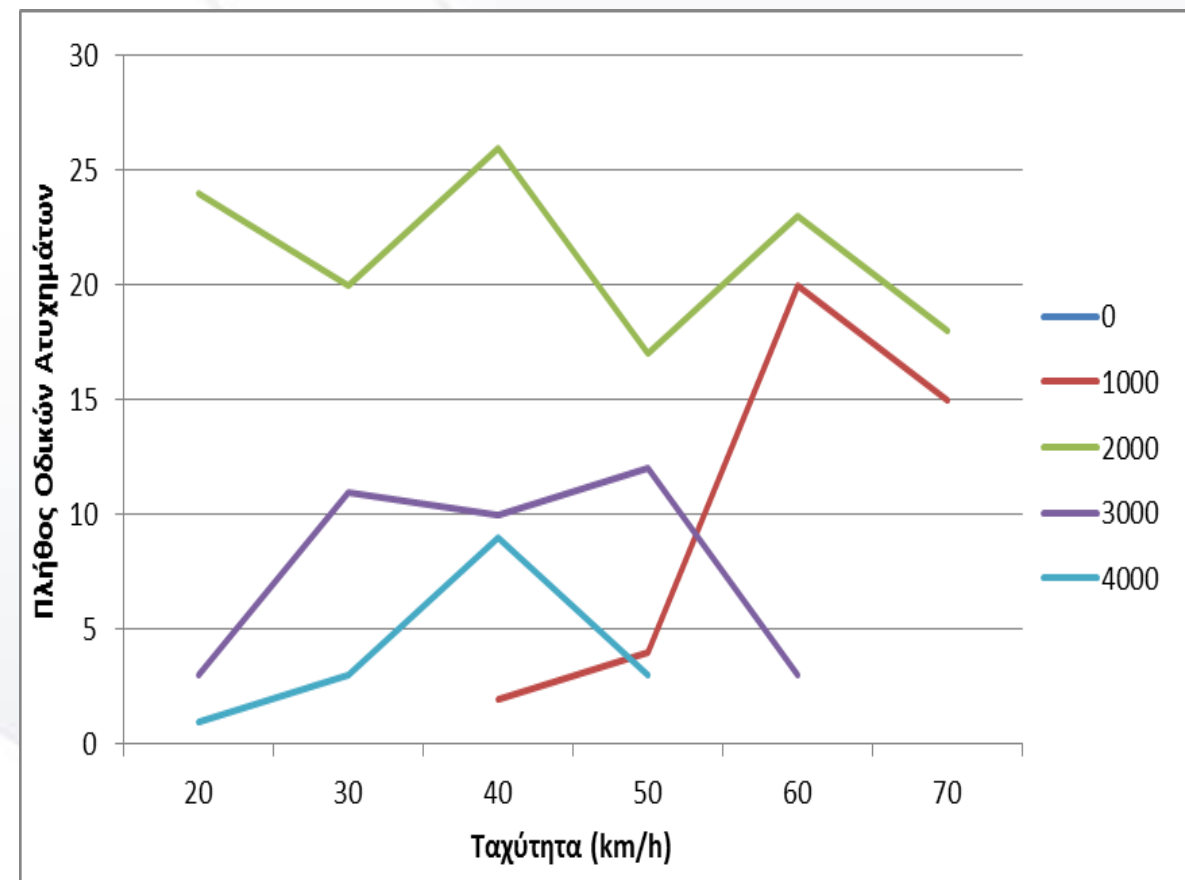
- Λειτουργία από το 2004 – Παρακολούθηση κυκλοφορίας και βελτιστοποίησή της
- Συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων (κυκλοφοριακός φόρτος, κατάληψη οδού ➡ ταχύτητα)
- Συνολικά 550 θέσεις μέτρησης (βρόχοι), 217 κάμερες και 24 πινακίδες μηνυμάτων
- Διαθέσιμες μετρήσεις για την περιοχή έρευνας – συμπλήρωση στοιχείων



Στατιστικά Στοιχεία

Αρχικά συμπεράσματα πριν τη στατιστική επεξεργασία δεδομένων

- Ομοιόμορφη κατανομή ατυχημάτων ανά τα έτη
- Τα περισσότερα κατά την ημέρα με καλοκαιρία
- Στα περισσότερα ενεπλάκησαν Ι.Χ. οχήματα
- Διάφοροι τύποι ατυχημάτων με σημαντικά ποσοστά
- Πάνω από το 80% των οδηγών του πρώτου οχήματος ήταν άνδρες



Στατιστική Επεξεργασία Στοιχείων

Ανάλυση σοβαρότητας ατυχημάτων

Η σοβαρότητα ορίζεται ανά παθόντα: 0 για ελαφρά τραυματία, 1 για βαριά τραυματία ή νεκρό. Εκτός από Q, V, εξετάζεται και ο λόγος τους, Q/V

Ανάλυση πιθανότητας εμφάνισης ατυχημάτων

Εξετάζονται τα ατυχήματα σε συνδυασμό με χρονικές περιόδους χωρίς ατυχήματα (περιπτώσεις μη-ατυχημάτων, κατά Ahmed et al., 2011)

Διαμόρφωση τελικών πινάκων

A/A παθόντα	Εναλλακτική Ημερομηνία	ώρα του ατυχήματος	δήμο του ατυχήματος	αριθμό οδού του ατυχήματος	αριθμό λωρδίων ανά κατεύθυνση του ατυχήματος	κατεύθυνση του ατυχήματος	συνθήκες φωτισμού του ατυχήματος	νυχτερινό φωτισμό του ατυχήματος	ατμοσφαιρικές συνθήκες του ατυχήματος	πλάτος οδοστρώματος του ατυχήματος	πλήθος νεκρών του ατυχήματος	πλήθος βαριά τραυματιών του ατυχήματος	πλήθος ελαφρά τραυματιών του ατυχήματος	σοβαρότητα παθόντα	ηλικία του οδηγού του Α οχήματος	φύλο του οδηγού του Α οχήματος	είδος-Χρήση του οχήματος Α	τύπο ατυχήματος του ατυχήματος	Τελική Θέση Μέτρησης	Κατάληψη (%)	Φόρτος Διατομής Οδού (οχήματα/ώρα)	Ταχύτητα (χμ/ώρα)	Ποιότητα Μέτρησης	Q/V
1	6/1/2006	8	ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΘΗΝΩΝ--ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	286	3	ΠΡΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑ	Μέρα	Άγνωστο	Καλοκαιρία	11,4	0	0	1	0	20	Άρρεν	Επιβατικό ΙΧ	Νωτομετωπική σύγκρουση	MS280	3,39	1122,91	57,11	High	19,664

Ανάπτυξη μοντέλου σοβαρότητας ατυχημάτων (1/3)

Ανάλυση στοιχείων

- Παραγωγή περιγραφικών στατιστικών συναρτήσεων (μ , s , \min , \max)
- Διερεύνηση συσχέτισης μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών
- Λογιστική παλινδρόμηση (η εξαρτημένη μεταβλητή λαμβάνει τιμές 0 ή 1)
- Έλεγχοι καταλληλότητας μοντέλου
- Αναλύσεις ελαστικότητας και ευαισθησίας

Τελικό γενικό μοντέλο σοβαρότητας οδικών ατυχημάτων:

$$U = - 0,510 * \log(Q/V) - 1,525 * (\text{Δίκυκλος}) - 2,056 * (\text{Εκτροπή από την οδό}) - \\ - 1,751 * (\text{Νωτομετωπική σύγκρουση})$$

[-2LR=152,90 | Hosmer & Lemeshow=0,069>0,05 | Wald test>1,7 | R²=0,779]

$$P_{(\text{severity}=1)} = e^u / (e^u + 1)$$

Ανάπτυξη μοντέλου σοβαρότητας ατυχημάτων (2/3)

Ανάλυση ελαστικότητας

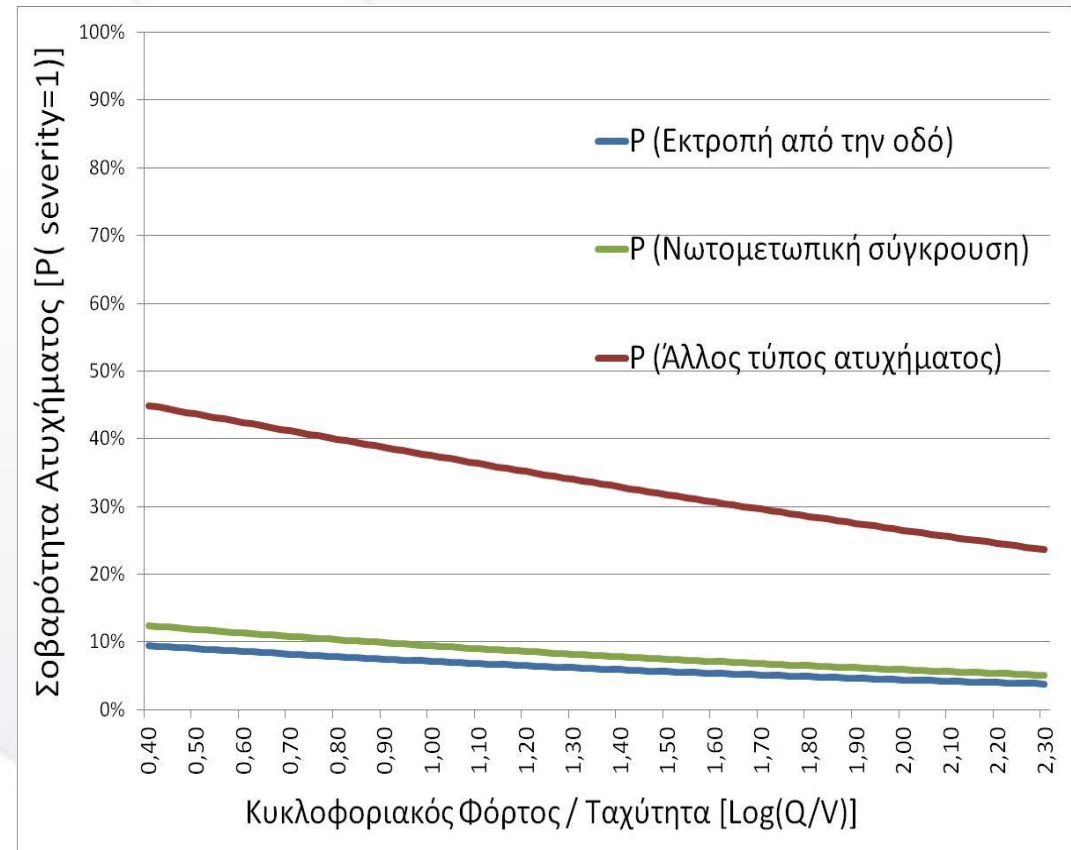
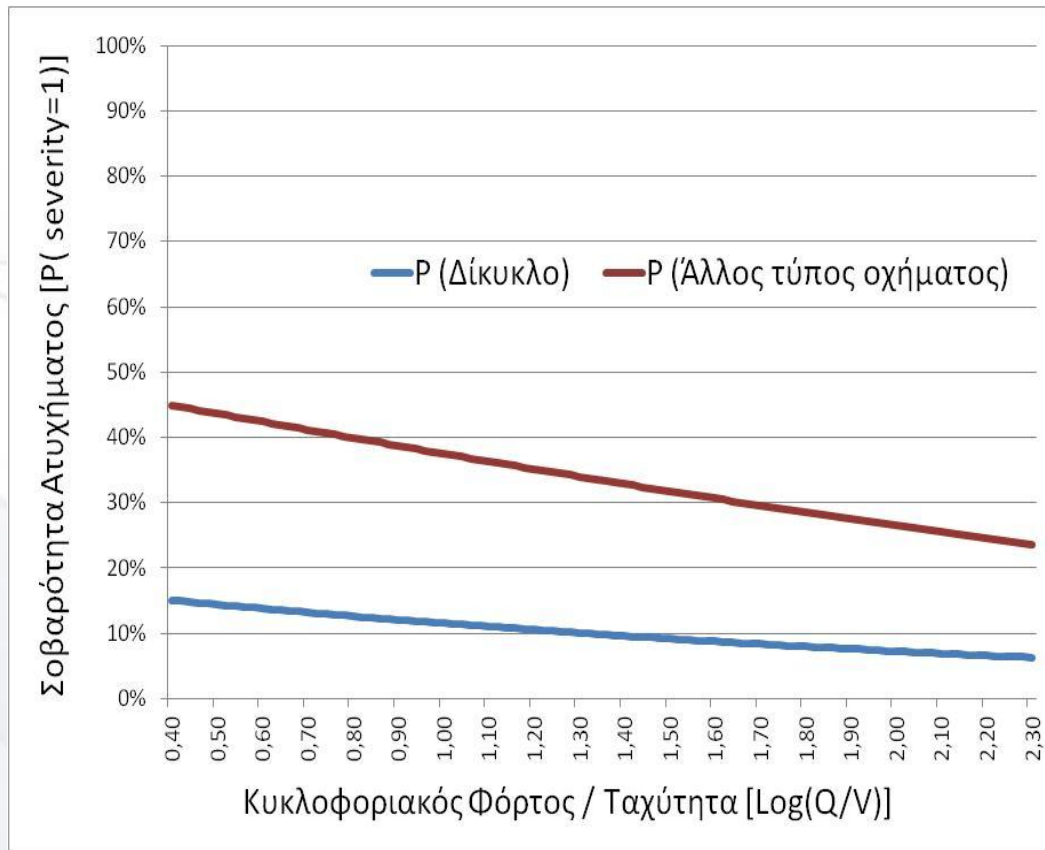
Η σχετική επιρροή εκφράζει ποσοτικά τον βαθμό επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη.

Ανεξάρτητες μεταβλητές		Γενικό μοντέλο σοβαρότητας		
		β_i	Σχετική Επιρροή	
			e_i	e_i^*
Λογάριθμος (Q/V)		-0,510	-0,556	-1,000
Τύποι οχημάτων	Δίκυκλο	-1,525	-0,718	-1,291
Τύποι ατυχημάτων	Εκτροπή από την οδό	-2,056	-0,829	-1,490
	Νωτομετωπική σύγκρουση	-1,751	-0,771	-1,387

Τη μεγαλύτερη επιρροή φαίνεται να εμφανίζουν οι τύποι ατυχημάτων.

Ανάπτυξη μοντέλου σοβαρότητας ατυχημάτων (3/3)

Ανάλυση ευαισθησίας της συμπεριφοράς της εξαρτημένης μεταβλητής (σοβαρότητα παθόντα ατυχήματος) όταν μεταβάλλεται μόνο μία ανεξάρτητη (λόγος Q/V) για διάφορους τύπους οχήματος και ατυχήματος



Ανάπτυξη μοντέλου πιθανότητας εμφάνισης ατυχημάτων (1/3)

Ανάλυση στοιχείων

- Παραγωγή περιγραφικών στατιστικών συναρτήσεων (μ , s , \min , \max)
- Επιλογή ασυσχέτιστων κυκλοφοριακών δεδομένων
- Λογιστική παλινδρόμηση (η εξαρτημένη μεταβλητή λαμβάνει τιμές 0 ή 1)
- Έλεγχοι καταλληλότητας μοντέλου

Μετά από αρκετές δοκιμές και αναλύσεις προέκυψε ότι με τον διαχωρισμό του κυκλοφοριακού φόρτου σε κατάλληλες κατηγορίες αναπτύσσεται ικανοποιητικό μαθηματικό μοντέλο περιγραφής του φαινομένου.

Ανάπτυξη μοντέλου πιθανότητας εμφάνισης ατυχημάτων (2/3)

Τελικό μοντέλο πιθανότητας εμφάνισης οδικών ατυχημάτων

$$U = 0,897 * Q_{(1)} + 0,749 * Q_{(2)} - 0,817$$

Με κατηγορίες Q:

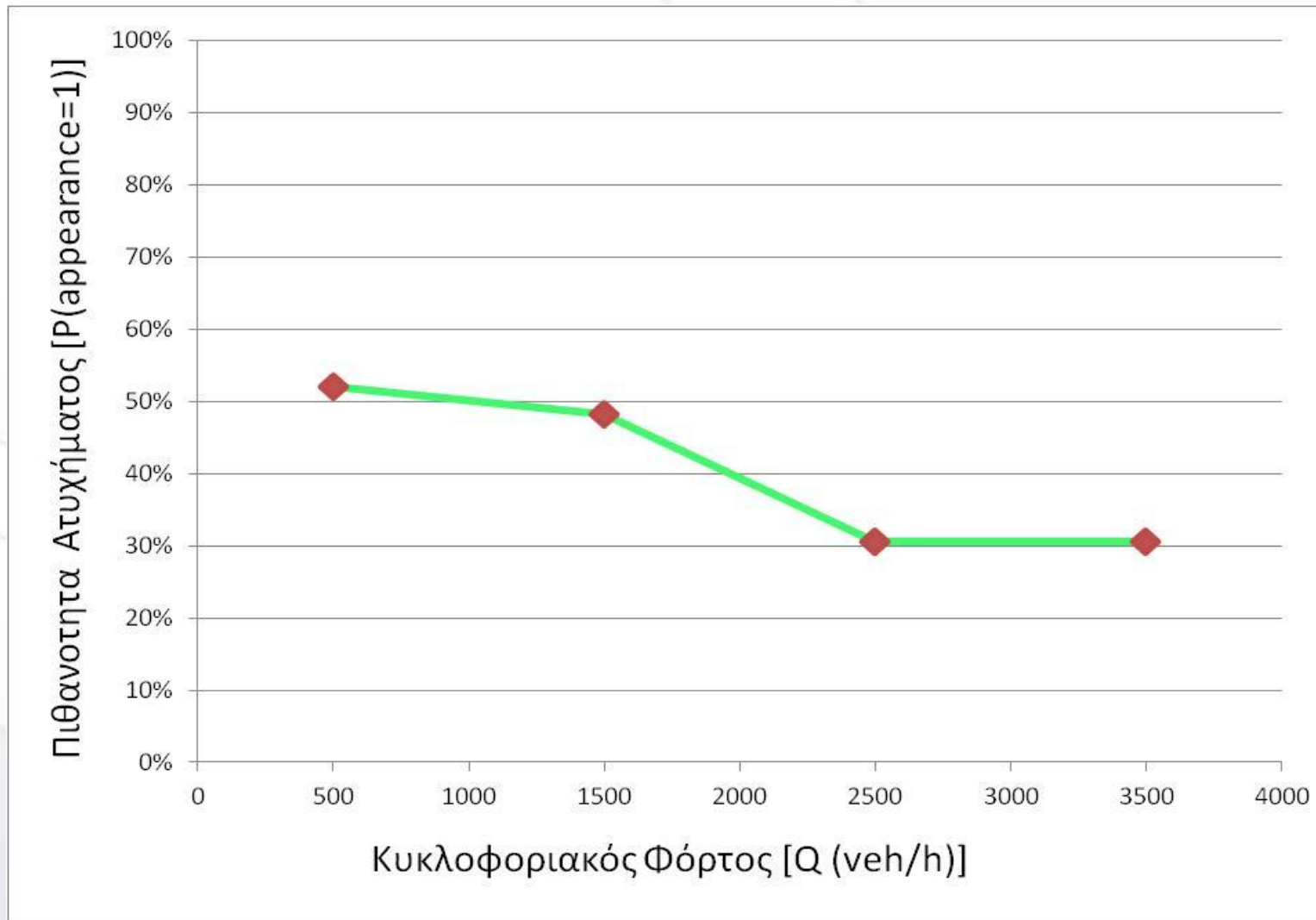
Κωδικοποίηση	Εύρος Τιμών (οχήματα/ώρα)
Q (1)	0000 - 1000
Q (2)	1001 - 2000
Q (3)	2001 - 3000
Q (*)	3001+

[-2LR=816,69 | Hosmer & Lemeshow=1,000>0,05 | Wald test=23,5>1,7]

$$P_{(\text{appearance}=1)} = e^u / (e^u + 1)$$

Ανάπτυξη μοντέλου πιθανότητας εμφάνισης ατυχημάτων (3/3)

Συσχέτιση πιθανότητας ατυχήματος με τον κυκλοφοριακό φόρτο



Συμπεράσματα (1/2)

- Τα κυκλοφοριακά μεγέθη του κυκλοφοριακού φόρτου και της ταχύτητας κυκλοφορίας έχουν ευθεία επιρροή στη σοβαρότητα των οδικών ατυχημάτων. Προέκυψε ότι αύξηση του λόγου τους οδηγεί σε μείωση της σοβαρότητας των παθόντων στα οδικά ατυχήματα.
- Επιπλέον, η σοβαρότητα των ατυχημάτων εξαρτάται από τον τύπο οχήματος και τον τύπο ατυχήματος. Εξετάστηκαν αρκετές ακόμη ανεξάρτητες μεταβλητές χωρίς να παρουσιάζουν κάποια συσχέτιση με τη σοβαρότητα.
- Οι αναλύσεις εντός και εκτός ωρών αιχμής έδειξαν ότι δεν εμφανίζεται σημαντική διαφοροποίηση στη συσχέτιση της σοβαρότητας και των κυκλοφοριακών μεγεθών μεταξύ των δύο ομάδων. Ο λόγος Q/V είναι και η μόνη μεταβλητή η οποία διατηρεί τη συσχέτιση με τη σοβαρότητα.

Συμπεράσματα (2/2)

- Η πιθανότητα εμφάνισης ατυχήματος εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο. Η συσχέτιση προκύπτει μετά από την κατάλληλη κατηγοριοποίησή του.
- Από το μοντέλο που αναπτύχθηκε, προκύπτουν τέσσερα σημεία που ορίζουν τρεις περιοχές με αντίστοιχες τάσεις:
 1. Μικροί κυκλοφοριακοί φόρτοι: Ελεύθερη ροή, Ελάχιστη μείωση της πιθανότητας ατυχήματος
 2. Μεσαίοι κυκλοφοριακοί φόρτοι: Σταδιακή μετάβαση σε ροή ουρών, Αλληλεπίδραση οχημάτων, μείωση της πιθανότητας ατυχήματος
 3. Μεγάλοι κυκλοφοριακοί φόρτοι: Ροή κορεσμού, Σταθεροποίηση της πιθανότητας ατυχήματος

Προτάσεις βελτίωσης της οδικής ασφάλειας

- **Έλεγχος της ταχύτητας** κυκλοφορίας, ειδικά σε ώρες και οδικά τμήματα με χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Πιθανή χρήση ηλεκτρονικών μέσων και δυναμικών συστημάτων (πχ πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων) για αυστηρότερους περιορισμούς κατά τα διαστήματα υψηλού κινδύνου.
- Ενεργή **ενημέρωση των οδηγών** για τους κινδύνους κάθε κυκλοφοριακής κατάστασης και κάθε τύπου ατυχήματος. Ουσιαστική και συνολική **παιδεία** για όλους τους χρήστες των οδών.
- **Μέτρα διαχείρισης κυκλοφορίας** – «στραγγαλισμός» διαμπερούς ροής αστικών λεωφόρων.
- Κατασκευή πεζογεφυρών και διαβάσεων πεζών – καλύτερη **συντήρηση** οδικού περιβάλλοντος.
- Εφαρμογή των μέτρων μέσω **στοχευμένης αστυνόμευσης** και ελέγχων.

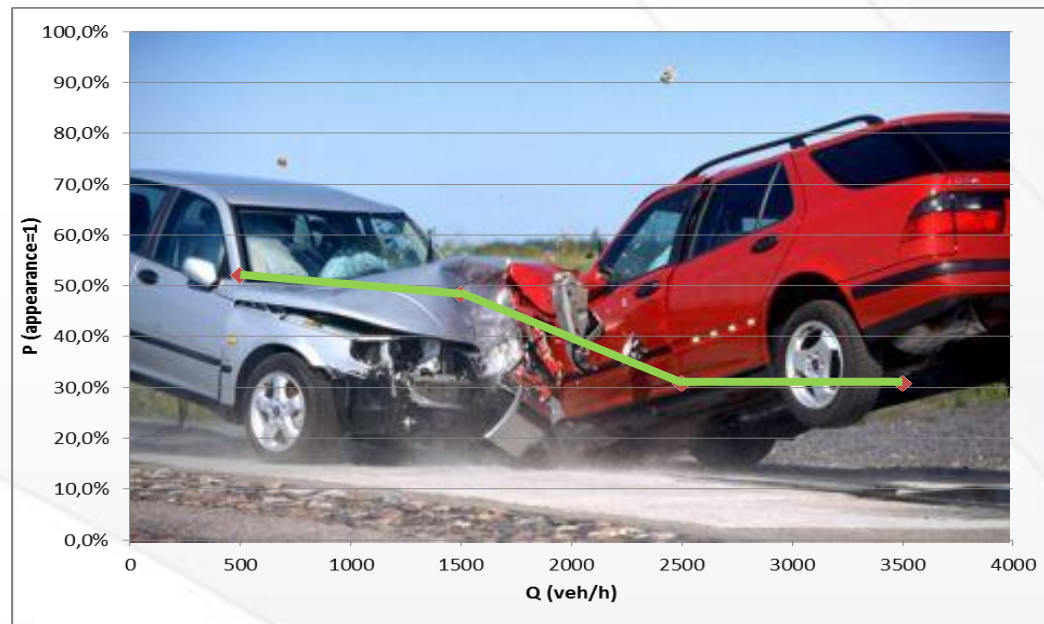
Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Αλλαγή περιοχής έρευνας για την επαλήθευση και τη γενίκευση των αποτελεσμάτων
- Εξέταση των ατυχημάτων μέσω των άμεσων κυκλοφοριακών μεγεθών, δηλαδή σε μικροσκοπικό επίπεδο
- Διερεύνηση και των ατυχημάτων με υλικές ζημιές μόνο
- Χρήση του κυκλοφοριακού μεγέθους της κατάληψης οδού, που είναι πρωτογενώς διαθέσιμο από το Κ.Δ.Κ.
- Χρήση δεδομένων από όλες τις ώρες τις ημέρας για τις χρονικές περιόδους χωρίς ατυχήματα
- Χρήση άλλων μεθόδων εκτός της λογιστικής παλινδρόμησης, ειδικά αυτών που προσεγγίζουν έντονα μη γραμμικά φαινόμενα



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΕ ΤΗ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΟΔΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ



Απόστολος Ζιακόπουλος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Μάρτιος 2013