



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων

Ελένη-Κωνσταντίνα Φραντζόλα

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Μάρτιος 2020

Βασικά Στάδια Διπλωματικής Εργασίας



Στόχος Εργασίας

Χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας

- σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα
- κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας,
- με τη χρήση δεδομένων από:
- αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων,
- κυκλοφοριακά μεγέθη και
- γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδού



Βιβλιογραφική ανασκόπηση

1. Συλλογή δεδομένων από αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων



- Τα συστήματα καταγραφής της οδηγικής συμπεριφοράς βελτιώνουν τα επίπεδα οδικής ασφάλειας, ωστόσο χρειάζεται η παρακολούθηση της συμπεριφοράς να συνεχιστεί σε βάθος χρόνου.

2. Χωρική ανάλυση



- Η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο εφαρμόζεται ήδη και σε συνδυασμό με **εφαρμογές GIS**, μπορεί να **συμβάλλει** σημαντικά στην απεικόνιση των φαινομένων που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια.

3. Σύγκριση της συμπεριφοράς του οδηγού κατά τη διάρκεια ημέρας και νύχτας



- Η απουσία φωτισμού σχετίζεται με τη σοβαρότητα των **ατυχημάτων**. Οι συνθήκες κακής ορατότητας μειώνουν την οπτική αντίληψη των οδηγών με αποτέλεσμα τον υψηλό κίνδυνο ατυχημάτων.

Συλλογή Δεδομένων

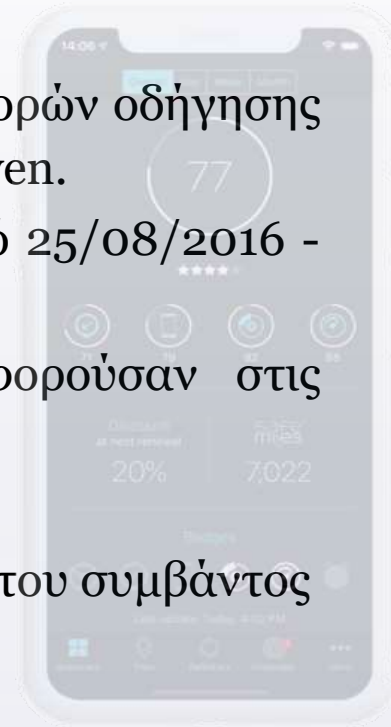
Τα στοιχεία προέκυψαν από **τρεις** πηγές:



Συλλογή Δεδομένων (1/3)



- Εφαρμογή για **smartphones** που **καταγράφει τη συμπεριφορά του οδηγού** χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες της συσκευής.
- **Αλγόριθμοι Machine Learning** για την ανίχνευση συμπεριφορών οδήγησης και τη δημιουργία χρήσιμων δεικτών οδικής ασφάλειας της OSeven.
- Δεδομένα από **303 οδηγούς** στην Αθήνα και σε διάστημα από 25/08/2016 - 26/11/2017.
- Δημιουργία **δύο μεγάλων βάσεων δεδομένων**, που αφορούσαν στις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.
- Χρησιμοποιήθηκαν οι μεταβλητές:
 - ✓ Speed_Diff: μέγιστη **διαφορά ταχύτητας** κατά τη διάρκεια του συμβάντος
 - ✓ Event_Speed: **ταχύτητα** πραγματοποίησης συμβάντος
 - ✓ Distance: **απόσταση** πραγματοποίησης συμβάντος



Συλλογή Δεδομένων (2/3)

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

- **550** θέσεις μέτρησης
- Συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων:
 - ✓ Μέσος **κυκλοφοριακός φόρτος** [Q]
 - ✓ Μέση **κατάληψη** της οδού [O]
 - ✓ Μέση **ταχύτητα** κυκλοφορίας [V]
- **Δύο χρονικές βάσεις:** 
 - Ανά **90 δευτερόλεπτα**
 - Ανά **1 ώρα**

Σε δύο υπό μελέτη Λεωφόρους (Λ. Βουλιαγμένης και Λ. Μεσογείων):

- **26** θέσεις μέτρησης
- Καθημερινές ωριαίες μετρήσεις για το έτος 2017

Συλλογή Δεδομένων (3/3)



Google Maps

Οδικά τμήματα:

- Length: **μήκος** του οδικού τμήματος
- No. Right Exit/Entrance: αριθμός **δεξιών εξόδων και εισόδων** στο τμήμα
- No. Bus_Stops: αριθμός **στάσεων λεωφορείου**
- Bus Lane: ύπαρξη **λεωφορειολωρίδας**
- Sideway: ύπαρξη **παράδρομου**

Διασταυρώσεις:

- No. Left/Right_Exits: αριθμός αριστερών/ δεξιών **εξόδων** από τη διασταύρωση
- No Left/Right _Entrances: αριθμός αριστερών/ δεξιών **εισόδων** στη διασταύρωση
- No. Incoming_Lanes: αριθμός **εισερχόμενων κυκλοφοριακών λωρίδων** στη διασταύρωση
- No. Outgoing_Lanes: αριθμός **εξερχόμενων κυκλοφοριακών λωρίδων** από τη διασταύρωση
- Sideway: ύπαρξη **παράδρομου**

Επεξεργασία Δεδομένων (1/2)

Διαδικασία Επεξεργασίας σε περιβάλλον GIS

- Εισαγωγή **οδικών αξόνων** της Αθήνας
- Αποτύπωση **απότομων συμβάντων**
- Σχεδιασμός **διασταυρώσεων και οδικών τμημάτων**

Διασταυρώσεις:

Κύκλος $R=50$ m

Οδικά τμήματα:

Πλάτος = πλάτος κυκλοφοριακών λωρίδων
+ $\frac{\text{πλάτος νησίδας}}{2}$

Μήκος = μήκος οδικού τμήματος

Για κάθε χωρική ενότητα υπολογισμός:

ελάχιστης/ μέγιστης τιμής, τυπικής απόκλισης αριθμητικού μέσου, εύρους των μεταβλητών που περιγράφουν κάθε απότομο συμβάν ξεχωριστά για μέρα και νύχτα (07:00-22:00 & 22:00-07:00)



Επεξεργασία Δεδομένων (2/2)

Μεγέθη Κ.Δ.Κ

Μέσα Κυκλοφοριακά Μεγέθη Κυκλοφορίας του έτους 2017

Οδικά Τμήματα:

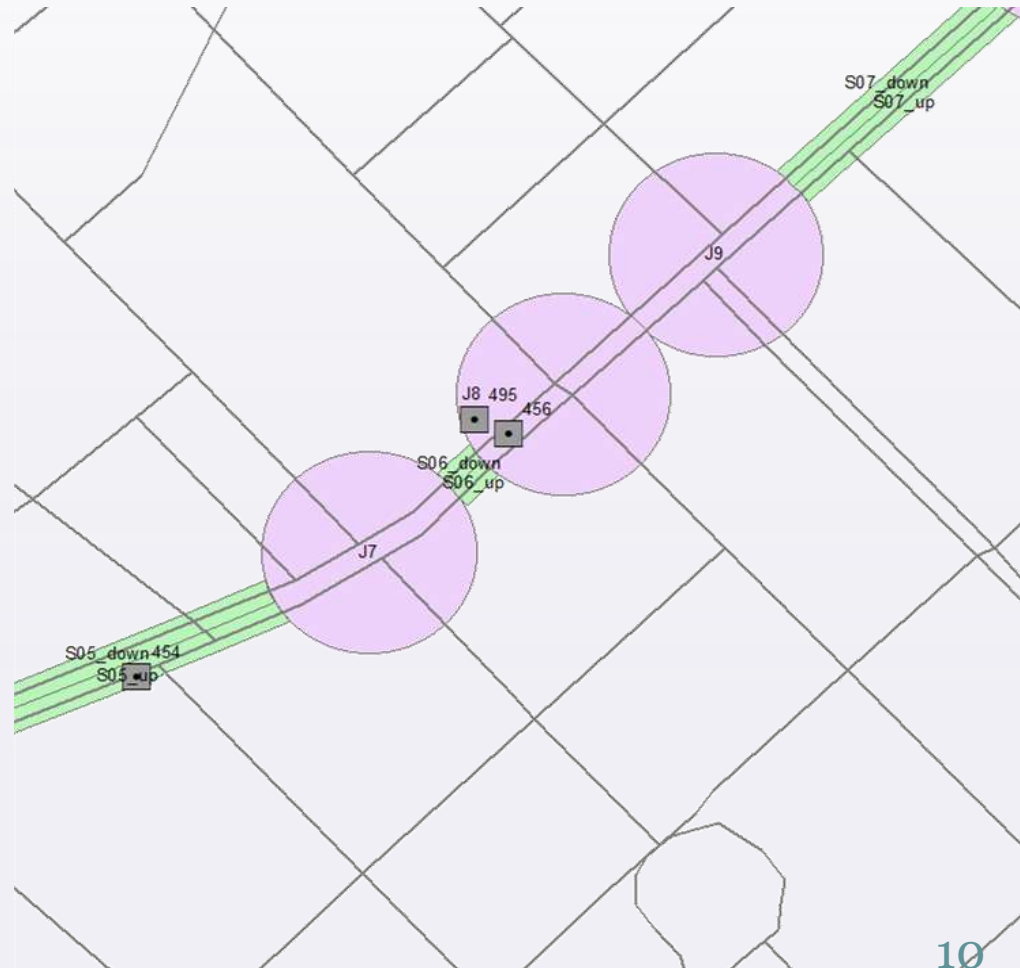
$Q \rightarrow Q/\text{lane}$

Χωρίς θέση μέτρησης:

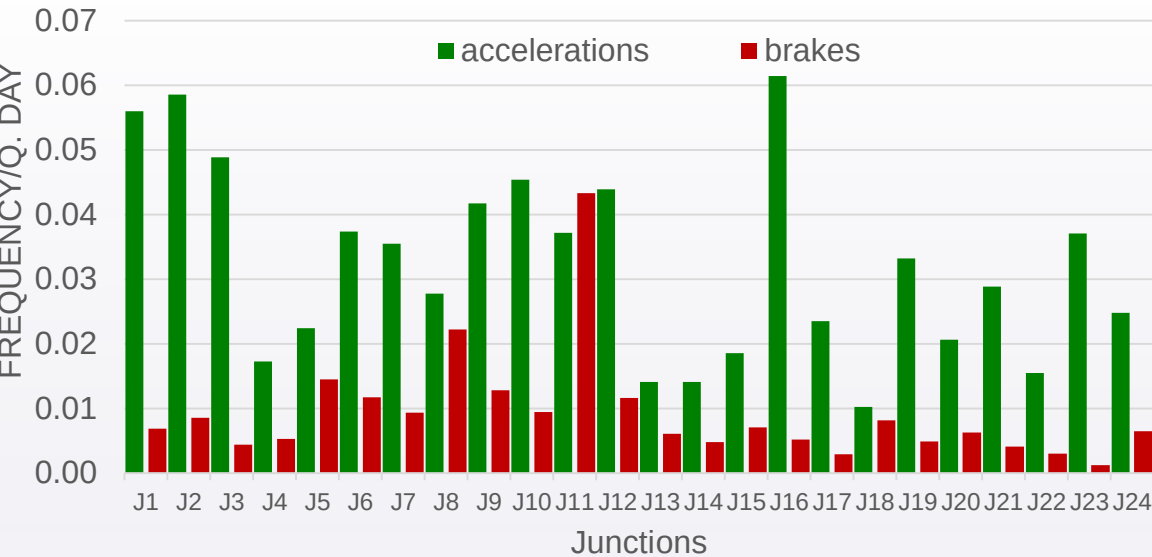
$$V_{S_{\text{up/down}}} = \frac{V_{S_{\text{up/down}}} + V_{S_{\text{up/down}}}}{2}$$

Διασταυρώσεις:

$$Q_{jn} = \frac{Q_{S_n_{\text{down}}} + Q_{S_{n-1}_{\text{up}}}}{2}$$

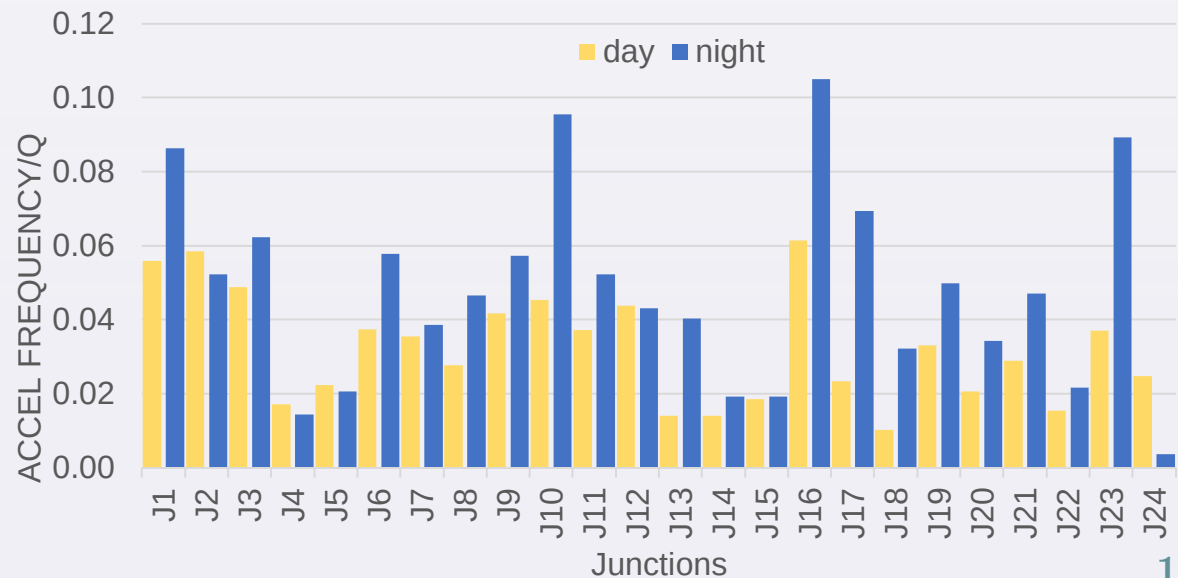


Προκαταρκτική Ανάλυση



Συχνότητα/φόρτο **απότομων επιταχύνσεων** >
Συχνότητα/φόρτο **απότομων επιβραδύνσεων**
σε διασταύρωση την ημέρα

Συχνότητα/φόρτο **απότομων επιταχύνσεων μέρα** <
Συχνότητα/φόρτο των **απότομων επιταχύνσεων τη νύχτα**
σε διασταύρωση



Επιλογή Μεθοδολογίας

Κατάλληλη Μέθοδος Ανάλυσης:
Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση



Εξαρτημένη Μεταβλητή:
Λόγος της συχνότητας εμφάνισης απότομων συμβάντων προς το φόρτο σε επίπεδο οριοθετημένης περιοχής

Στατιστική Αξιολόγηση:

- ✓ **Λογική ερμηνεία των προσήμων (β_i)**
- ✓ **Στατιστική σημαντικότητα (t-test)**
- ✓ **Ποιότητα του μοντέλου (συντελεστής προσαρμογής R^2)**
- ✓ **Σφάλμα εξίσωσης μοντέλου**
- ✓ **Ελαστικότητα (e_i)**

Στατιστική Επεξεργασία

Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο πρόγραμμα
στατιστικής ανάλυσης IBM SPSS 23



Καθορισμός εξαρτημένων & ανεξάρτητων
μεταβλητών

Έλεγχος συσχέτισης των μεταβλητών



Στατιστικοί έλεγχοι μαθηματικών μοντέλων

Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων

	Απότομες επιταχύνσεις		Απότομες επιβραδύνσεις	
	ημέρα	νύχτα	ημέρα	νύχτα
Διασταύρωση	1	2	3	4
Οδικό Τμήμα	5	6	7	8

	Απότομες επιταχύνσεις	Απότομες επιβραδύνσεις
Διασταύρωση	9	10
Οδικό Τμήμα	11	12

Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων (1/6)

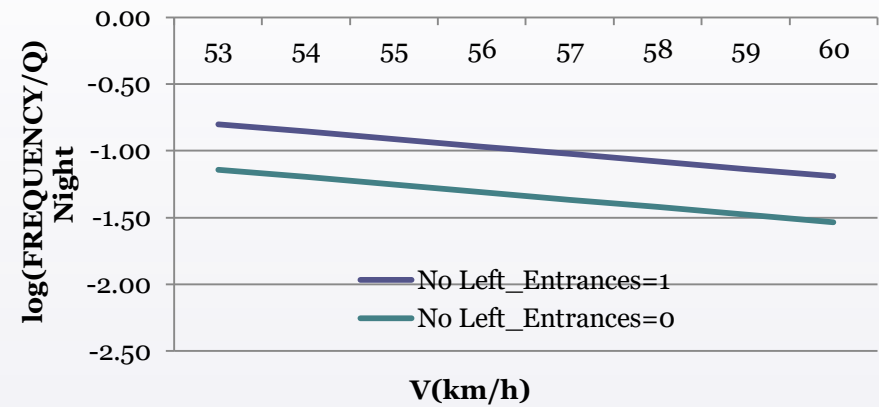
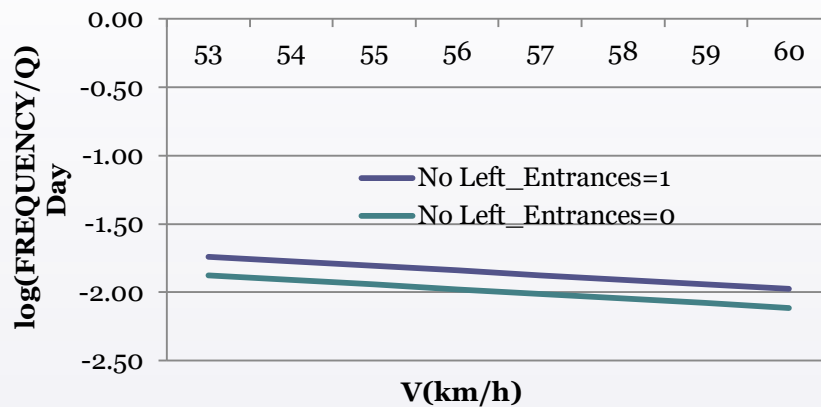
Απότομα συμβάντα σε διασταυρώσεις

	Διασταύρωση															
	🕒 Απότομες επιταχύνσεις								🕒 Απότομες επιβραδύνσεις							
	Μέρα				Νύχτα				Μέρα				Νύχτα			
	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*
Constant	-1,234	-2,195	-	-	-0,113	-0,116	-	-	-0,347	-0,782	-	-	1,57	1,799	-	-
V	-0,034	-4,064	1,063	-4,07	-0,056	-3,497	2,431	-5,081	-0,051	-6,263	1,149	-4,672	-0,069	-4,67	2	-11,69
MAX_Event_Speed	0,007	2,379	-0,261	1	0,011	3,349	-0,478	1	0,008	2,999	-0,246	1	0,005	2,352	-0,171	1
MAX_Speed_Diff	0,037	2,414	-0,487	1,867	0,064	4,053	-0,897	1,875								
No Left Entrances	0,137	2,209	-0,08	-	0,173	2,981	-0,118	-								
Sideway									0,173	2,024	-0,045	-	0,17	2,036	-0,049	-
R ²	0,661				0,670				0,621				0,486			

- Η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιρροή στα απότομα συμβάντα σε διασταυρώσεις.
- Η μέγιστη τιμή της **ταχύτητας συμβάντος**, η μέγιστη τιμή της **μέγιστης διαφοράς ταχύτητας** και η **ύπαρξη παράδρομου** αυξάνουν τα απότομα συμβάντα.

Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων (2/6)

Απότομα συμβάντα σε διασταυρώσεις- Ανάλυση ευαισθησίας



- Με την **αύξηση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας** παρατηρείται **μείωση** του λογαρίθμου συχνότητας εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων.
- Για μεγαλύτερο **αριθμό εισόδων** στη διασταύρωση παρουσιάζονται περισσότερες απότομες επιταχύνσεις.
- Καθώς αυξάνεται **η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** τα συμβάντα μειώνονται περισσότερο τη νύχτα.

Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων (3/6)

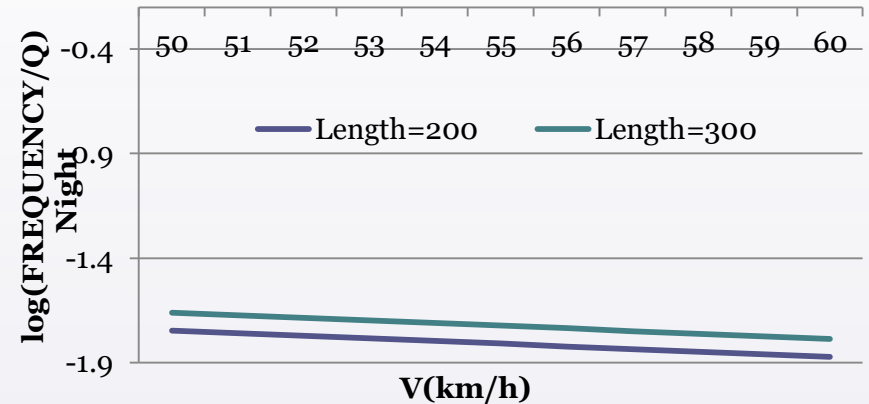
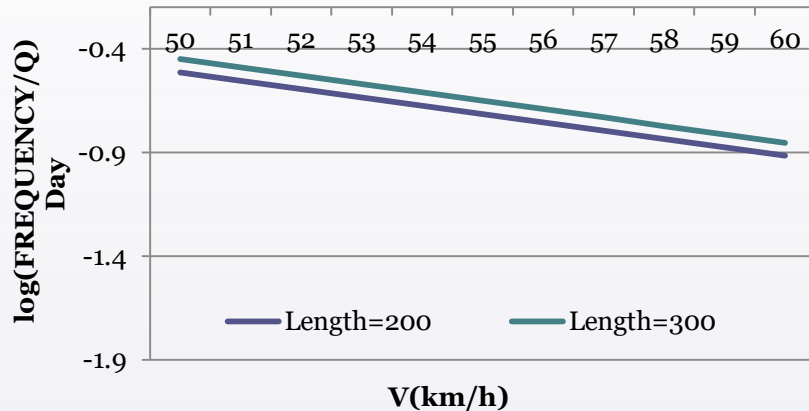
Απότομα συμβάντα σε οδικά τμήματα

	Οδικό τμήμα															
	🕒 Απότομες επιταχύνσεις								🕒 Απότομες επιβραδύνσεις							
	Μέρα				Νύχτα				Μέρα				Νύχτα			
	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*
Constant	-2,32	-7,81	-	-	-1,772	-4,887	-	-	-1,53	-2,555	-	-	1,074	1,317	-	-
V									-0,013	-1,733	0,399	-3,164	-0,04	-2,833	3,648	-16,41
O	0,068	3,605	-0,427	2,202	0,377	4,876	-1,517	3,748								
MAX_Event_Speed	0,006	2,575	-0,194	1	0,004	1,876	-0,405	1								
MIN_Speed_Diff									-0,038	-1,998	-0,455	3,601	-0,038	-2,272	-1,151	5,175
MIN_distance	-0,302	-4,212	0,357	-1,839	-0,276	-4,447	0,773	-1,91	-0,239	-3,217	0,265	-2,099	-0,213	-3,873	0,501	-2,254
No.Right Exit/Entrance	0,075	2,487	-0,073	-	0,103	3,691	-0,307	-								
Length									0,001	2,385	-0,455	1	0,001	1,815	-0,222	1
R ²	0,565				0,676				0,571				0,502			

- Σε οδικό τμήμα η **μέση κατάληψη (O)** παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιρροή στις απότομες επιταχύνσεις και η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας (V)** στις απότομες επιβραδύνσεις.

Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων (4/6)

Απότομα συμβάντα σε οδικά τμήματα - Ανάλυση ευαισθησίας



- Με την **αύξηση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας** παρατηρείται **μείωση του λογαρίθμου** συχνότητας εμφάνισης απότομων επιβραδύνσεων.
- Για μεγαλύτερο **μήκος οδικού τμήματος** παρουσιάζονται περισσότερες απότομες επιβραδύνσεις.
- Καθώς αυξάνεται η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** τα συμβάντα μειώνονται περισσότερο την ημέρα.

Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων (5/6)

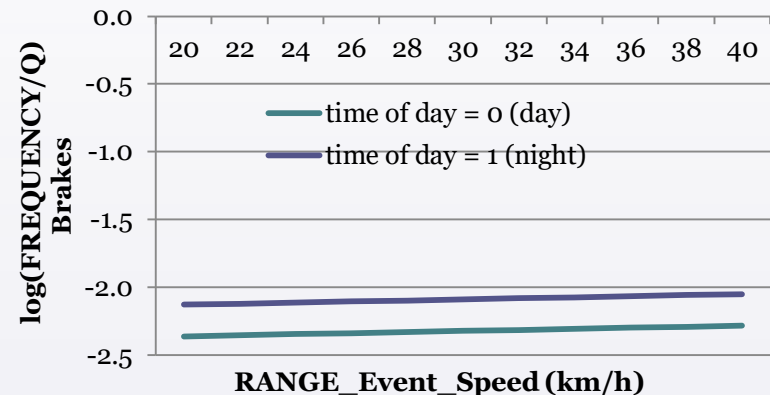
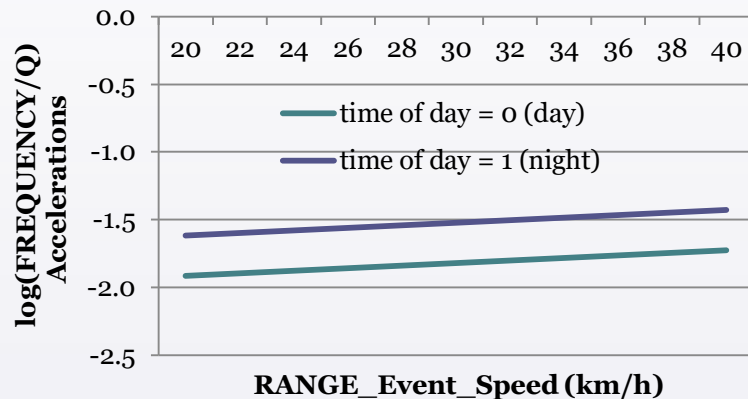
Απότομα συμβάντα σε διασταυρώσεις & οδικά τμήματα-συνολικά

	Διασταύρωση								Οδικό τμήμα							
	Απότομες επιταχύνσεις				Απότομες επιβραδύνσεις				Απότομες επιταχύνσεις				Απότομες επιβραδύνσεις			
	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*	β	t	ei	ei*
Constant	-3,199	-12,8	-	-	0,917	0,869	-	-	1,627	2,764	-	-	-2,007	-9,566	-	-
time of day	0,299	4,043	-0,109	-	0,234	3,284	-0,057	-	0,923	14,917	0,178	-	0,915	16,963	-0,687	-
RANGE_Event_Speed	0,01	3,891	-0,308	1	0,004	2,029	-0,079	1								
MIN_Event_Speed									-0,013	-4,806	0,254	-4,176	-0,024	-8,741	0,848	-5,589
MAX_Speed_Diff	0,047	3,677	-0,637	2,066	0,232	3,053	1,434	-18,05								
MIN_Speed_Diff									-0,364	-5,717	-0,061	1	-0,051	-5,735	-1,063	-1,063
MIN_distance					-0,141	-3,18	0,11	-1,38								
No Left_Entrances	0,151	3,109	-0,095	-												
No.Outgoing_Lanes					-0,058	-2,524	0,039	-								
Length									0,001	3,474	-0,215	3,536	0,001	2,88	-0,152	1
R²	0,537				0,426				0,767				0,815			

- Κατά τη διάρκεια της νύχτας, τα απότομα συμβάντα σε διασταυρώσεις και οδικά τμήματα αυξάνονται.

Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων (6/6)

Απότομα συμβάντα σε διασταυρώσεις & οδικά τμήματα-συνολικά - Ανάλυση ευαισθησίας



- Με την **αύξηση του εύρους της ταχύτητας συμβάντος** παρατηρείται αύξηση του λογαρίθμου συχνότητας εμφάνισης απότομων συμβάντων.
- Τη νύχτα παρουσιάζονται **περισσότερα απότομα συμβάντα**.

Συμπεράσματα - Συνολικά

- Ως ο **πιο σημαντικός παράγοντας** που επηρεάζει τη συχνότητα των απότομων συμβάντων κρίθηκε η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας**.
- Τη **νύχτα** ο **αριθμός των απότομων συμβάντων αυξάνεται** τόσο σε διασταυρώσεις όσο και σε οδικά τμήματα.
- Τη **μεγαλύτερη επίδραση** στη συμπεριφορά του οδηγού σε **οδικό τμήμα** εμφανίζει η μέση **κατάληψη** και η μέση **ταχύτητα κυκλοφορίας**.
- Ο καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά του οδηγού σε μια **διασταύρωση** είναι η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας**.

Συμπεράσματα - Διασταυρώσεις

Απότομες επιταχύνσεις

- Ο πιο καθοριστικός παράγοντας είναι η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας**.
- Ο **αριθμός των αριστερών εισόδων** επιδρά θετικά στον **λογάριθμο της συχνότητας των απότομων επιταχύνσεων**.

Απότομες επιβραδύνσεις

- Καθώς αυξάνεται η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** μειώνεται η εξαρτημένη μεταβλητή.
- Η ύπαρξη **παραδρόμου** στη διασταύρωση προκαλεί επίσης αύξηση στον αριθμό των απότομων επιβραδύνσεων.

Συμπεράσματα - Οδικά Τμήματα

Απότομες επιταχύνσεις

- Ως ο πιο καθοριστικός παράγοντας βρέθηκε η **μέση κατάληψη** της οδού.
- Με την προσθήκη επιπλέον λωρίδων εξόδου και εισόδου στο οδικό τμήμα, η συχνότητα εμφάνισης απότομων επιταχύνσεων αυξάνεται.

Απότομες επιβραδύνσεις

- Η **μέση ταχύτητα κυκλοφορίας** επιδρά αρνητικά στον λογάριθμο της συχνότητας απότομων επιβραδύνσεων.
- Όσο αυξάνεται το **μήκος** του οδικού τμήματος, τόσα περισσότερα απότομα συμβάντα εμφανίζονται.

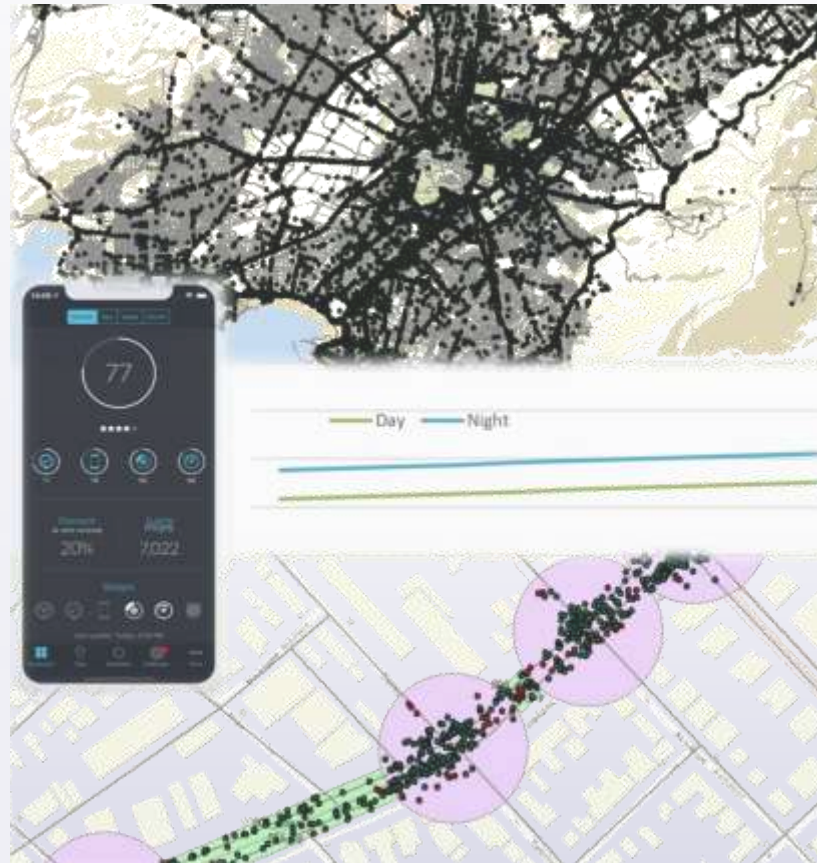
Προτάσεις βελτίωσης ασφάλειας κυκλοφορίας

1. Αύξηση της συχνότητας **ελέγχων** για παρακολούθηση της ταχύτητας κυκλοφορίας και **επιβολή χαμηλών προστίμων**.
2. Κατά τη διάρκεια της **νύχτας** ο αριθμός των απότομων συμβάντων αυξάνεται, επομένως θα πρέπει να ληφθούν τα **κατάλληλα μέτρα**.
3. **Έλεγχος των εξεταζόμενων οδικών αξόνων** έρευνας στα σημεία στα οποία υπήρχε αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης απότομου συμβάντος για τυχόν παρεμβάσεις.
4. **Επιβράβευση των οδηγών** που δεν οδηγούν επιθετικά με μειωμένα ασφάλιστρα.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

1. Η παρατήρηση των ίδιων μεταβλητών σε **μεγαλύτερο δείγμα οδηγών** και σε μεγαλύτερο δείγμα **οδών**.
2. Ανάλυση με ακόμα **περισσότερα δεδομένα**, όπως η κατάσταση των οδηγών και τα χαρακτηριστικά του οχήματος.
3. Έρευνες σε **διαφορετικές συνθήκες κυκλοφορίας** και σε άλλα οδικά περιβάλλοντα (υψηλή/χαμηλή κυκλοφορία, διάφορες καιρικές συνθήκες) αλλά και σε διάφορες ομάδες οδηγών με μεγαλύτερο ηλικιακό εύρος.
4. Η επιρροή που έχει στη συμπεριφορά του οδηγού η παρουσία και άλλων ατόμων εντός οχήματος, η **χρήση ζώνης ασφαλείας** καθώς και η **κατανάλωση αλκοόλ**.

Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!





Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Χωρο-χρονική ανάλυση της ασφαλείας κυκλοφορίας με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων

Ελένη-Κωνσταντίνα Φραντζόλα

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Μάρτιος 2020