



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Η επιρροή της διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων στην ασφάλεια κυκλοφορίας

Αντωνία Αντωννάκη

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Μάρτιος 2024

Βασικά Στάδια Διπλωματικής Εργασίας



Καθορισμός Στόχου Διπλωματικής Εργασίας

Προσδιορισμός της επιρροής της **διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφοριακή ασφάλεια**, αξιολογώντας δεδομένα προσομοίωσης της κυκλοφορίας.



Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (1/2)

Ανασκόπηση μελετών σχετικές με τα αυτόνομα οχήματα:

- **Μελέτες προσομοίωσης κυκλοφορίας** για διαφορετικούς βαθμούς διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων.
- Έρευνες δοκιμών αυτόνομων οχημάτων **σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα** όπως κλειστές πίστες δοκιμών.
- Μελέτες ανάλυσης δεδομένων **κυκλοφοριακής ροής και ασφάλειας** λαμβάνοντας υπόψη την ενσωμάτωση αυτόνομων οχημάτων.
- Μελέτες διερεύνησης της **αλληλεπίδρασης μεταξύ αυτόνομων και συμβατικών** οχημάτων.



Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (2/2)

Ευρήματα ανασκόπησης:

- **Χαρακτηριστικά αυτόνομων οχημάτων:**
 - Συμμόρφωση με τους κανόνες οδικής κυκλοφορίας
 - Μικρότερος χρόνος αντίδρασης
 - Μικρότερα ελεύθερα διαστήματα χωρίς κατάληψη οχήματος
- **Χαρακτηριστικά συμβατικών οχημάτων:**
 - Επιθετικό προφίλ οδήγησης
 - Μεγαλύτερος χρόνος αντίδρασης
- Βέλτιστα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν για **50% βαθμό διεύθυνσης** των αυτόνομων οχημάτων.
- Η εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων προκαλεί **αύξηση οπίσθιων εμπλοκών**.



Θεωρητικό Υπόβαθρο

Μέθοδοι ανάλυσης:

- Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση
- Πολυωνυμική λογιστική παλινδρόμηση

Μεταβλητές:

- Εξαρτημένες: Εναλλακτικοί δείκτες ασφάλειας
- Ανεξάρτητες: Χαρακτηριστικά δικτύου και οχημάτων

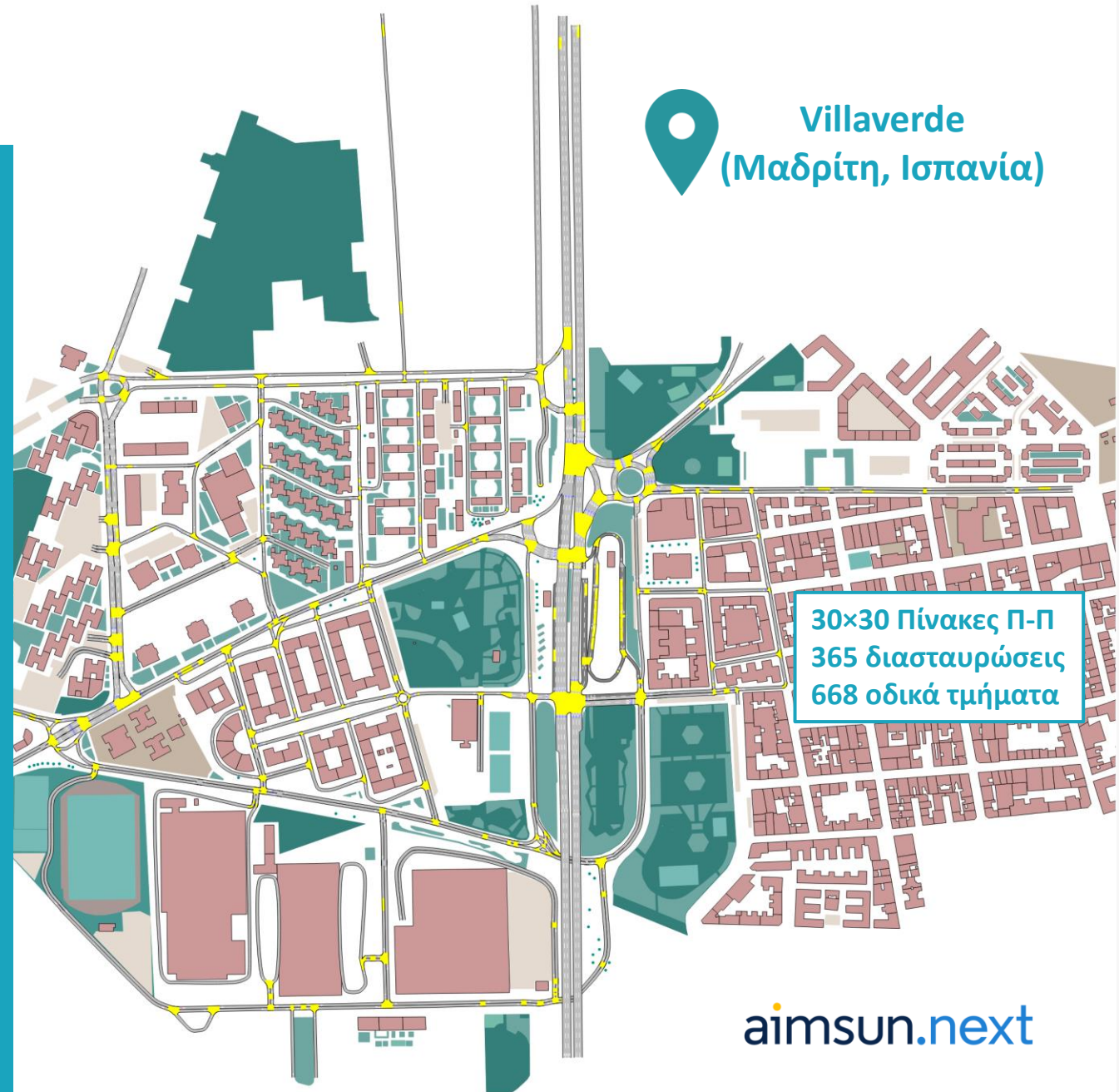
Στατιστικοί Έλεγχοι:

- Συσχέτιση ανεξάρτητων μεταβλητών
- Λογική ερμηνεία των συντελεστών (β_i)
- Ποιότητα του μοντέλου (R^2)
- Επίπεδο σημαντικότητας
- Στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου (t-test)
- Πίνακας σύγχυσης (confusion matrix)



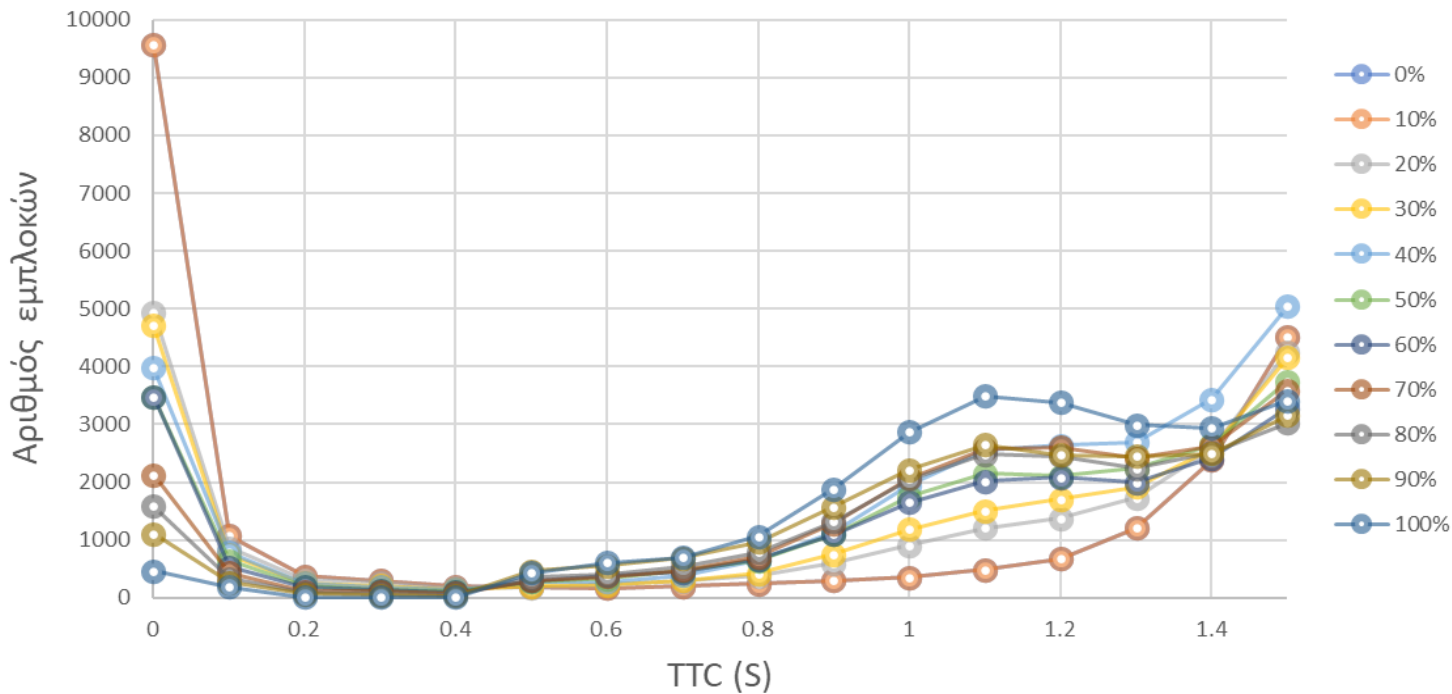
Συλλογή Στοιχείων

- Προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή των αυτόνομων οχημάτων επιλέχθηκε η μέθοδος **μικροσκοπικής προσομοίωσης** με τη χρήση του λογισμικού Aimsun Next.
- Το δίκτυο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι η περιοχή **Villaverde** στη **Μαδρίτη** (Ισπανίας).
- Προσομοιώθηκαν **11 σενάρια** για τους βαθμούς διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων από 0% έως 100%.
- Εξήχθησαν **δεδομένα εναλλακτικών δεικτών ασφάλειας** με τη χρήση του λογισμικού SSAM (εντοπίστηκαν 242.150 εμπλοκές) και δεδομένα **οδικής υποδομής**.



Προκαταρκτική Ανάλυση

Σύνολο εμπλοκών για διαφορετικές τιμές TTC και διαφορετικά σενάρια MPR

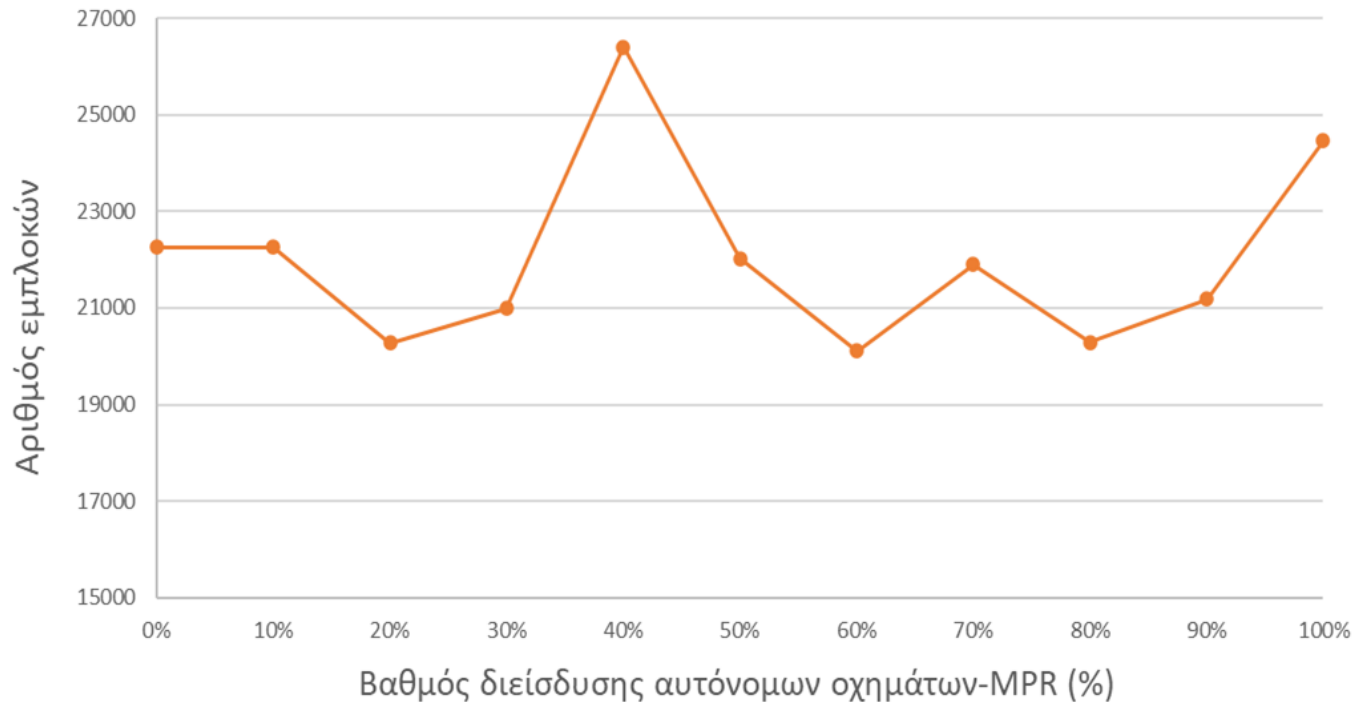


Χρόνος έως την εμπλοκή (TTC)

- Ο μεγαλύτερος αριθμός εμπλοκών, με τιμή χρόνου έως την εμπλοκή ίση με το μηδέν, προκύπτει για το σενάριο με **βαθμό διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων 10%**.
- Όσον αφορά το σενάριο με βαθμό διείσδυσης 100%, ο αριθμός εμπλοκών στις οποίες ο χρόνος έως την εμπλοκή ήταν ίσος με το μηδέν, είναι **ο μικρότερος που παρατηρείται**.

Προκαταρκτική Ανάλυση

Σύνολο εμπλοκών για κάθε σενάριο βαθμού διείδυσης (MPR)

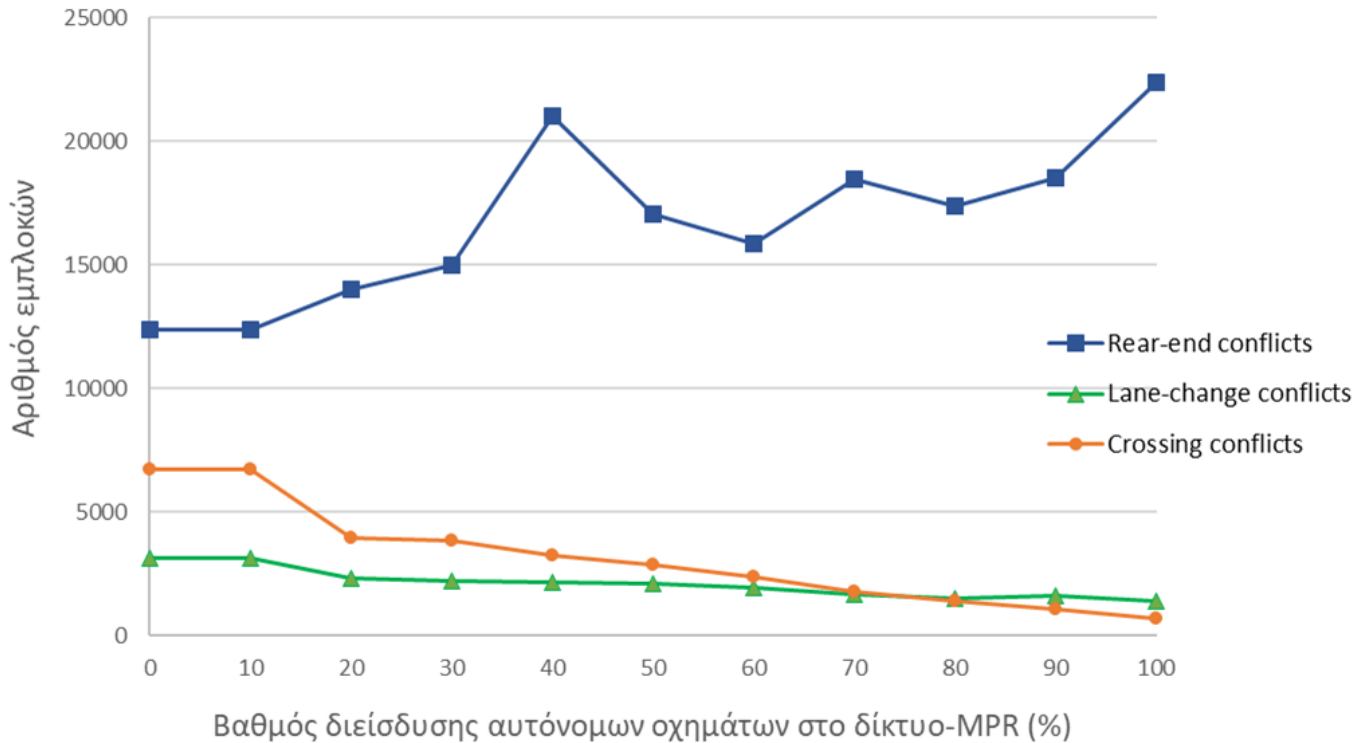


Αριθμός εμπλοκών

- Τα δύο **μεγαλύτερα** σύνολα εμπλοκών, παρατηρούνται για βαθμό διείδυσης ίσο με **40%** και **100%**.
- Αν και ο αριθμός των εμπλοκών **μειώνεται** όσο ο βαθμός διείδυσης αυξάνεται από το **40% στο 60%**, αυξάνεται όταν στο δίκτυο προστίθενται αυτόνομα οχήματα και ο βαθμός διείδυσης τους, πηγαίνει από το **80% στο 100%**.

Προκαταρκτική Ανάλυση

Μεταβολή τύπων εμπλοκών σε σχέση με την αλλαγή του βαθμού διεύθυνσης (MPR)



Τύπος εμπλοκών

- Η αύξηση του βαθμού διεύθυνσης των αυτόνομων οχημάτων στο δίκτυο, επέφερε **81% αύξηση του αριθμού των οπίσθιων εμπλοκών** και ταυτόχρονη μείωση των αριθμών των εμπλοκών **αλλαγής λωρίδας κατά 56%** και των **εμπλοκών διέλευσης κατά 90%**.

Στατιστική Επεξεργασία Στοιχείων

1. **Εισαγωγή βάσης** δεδομένων στη γλώσσα προγραμματισμού Python, στο περιβάλλον Visual Studio Code
2. **Χαρακτηρισμός μεταβλητών** (συνεχείς και διακριτές μεταβλητές)
3. Καθορισμός **εξαρτημένων** και **ανεξάρτητων** μεταβλητών
4. Έλεγχος **συσχέτισης** των μεταβλητών
5. Στατιστικοί έλεγχοι μαθηματικών μοντέλων



Ανάπτυξη Μαθηματικών Μοντέλων

1

Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου έως την εμπλοκή

2

Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του αριθμού των εμπλοκών

3

Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής της μέγιστης ταχύτητας εμπλοκής

4

Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του τύπου της εμπλοκής

Αποτελέσματα Μοντέλου Χρόνου έως την εμπλοκή

Μοντέλο 1				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Coefficient	St. Error	t	P> t
Σταθερά	0.852	0.002	497.809	0.000
Μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής	-0.826	0.003	-279.266	0.000
Πλάτος πρωτεύοντος	0.025	0.003	7.270	0.000
Μήκος δευτερεύοντος	-0.417	0.003	-125.452	0.000
Βαθμός διείσδυσης αυτόνομων	0.125	0.002	62.953	0.000
Εμπλοκή-αλλαγής λωρίδας	-0.087	0.002	-40.636	0.000
Δευτερεύον-συμβατικό βαρέου τύπου	-0.062	0.004	-15.756	0.000
Δευτερεύον-αυτόνομο βαρέου τύπου	0.398	0.006	64.724	0.000
Τύπος οδού-δευτερεύουσα	0.079	0.002	44.962	0.000
Τύπος οδού-τριτεύουσα	-0.119	0.002	-57.139	0.000
Πινακίδα STOP	0.070	0.004	18.931	0.000
Adj. R-squared	0,461			

- Οι δύο παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο το χρόνο έως την εμπλοκή είναι η **μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής**, προκαλώντας μείωση για μεγαλύτερες τιμές της, και ο **βαθμός διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων**, προκαλώντας αύξηση για μεγαλύτερες τιμές του.
- Τα **αυτόνομα οχήματα** ως δευτερεύοντα οχήματα εμπλοκής, **αυξάνουν** το χρόνο έως την εμπλοκή, ενώ τα **συμβατικά οχήματα προκαλούν μείωση**.
- Ο τύπος εμπλοκής **αλλαγής λωρίδας** παρουσιάζει μικρότερο χρόνο έως την εμπλοκή.

Αποτελέσματα Μοντέλου Αριθμού εμπλοκών

Μοντέλο 2				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Coefficient	St. Error	t	P> t
Σταθερά	15.070	0.105	143.327	0.000
Τύπος οδού-δευτερεύουσα	-7.104	0.080	-88.979	0.000
Βαθμός διείσδυσης αυτόνομων	0.007	0.001	5.537	0.000
Μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής	-0.678	0.007	-91.967	0.000
Δευτερεύον-συμβατικό βαρέου τύπου	-6.385	0.112	-56.951	0.000
Δευτερεύον-αυτόνομο βαρέου τύπου	-9.163	0.170	-53.939	0.000
Πινακίδα STOP	-10.259	0.129	-79.480	0.000
Adj. R-squared	0,335			

- Οι δύο παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τον αριθμό των εμπλοκών είναι η **ύπαρξη πινακίδας «STOP»** και η **ύπαρξη αυτόνομου οχήματος ως δευτερεύον όχημα εμπλοκής**.
- Ο βαθμός διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων στο δίκτυο και η μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής επιδρούν σε **μικρότερο βαθμό** στον αριθμό των εμπλοκών.
- Στις **δευτερεύουσες οδούς** παρατηρούνται λιγότερες εμπλοκές.

Αποτελέσματα Μοντέλου Μέγιστης ταχύτητας εμπλοκής

Μοντέλο 3				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	Coefficient	St. Error	t	P> t
Σταθερά	0.392	0.001	303.807	0.000
Χρόνος έως την εμπλοκή	-0.310	0.001	-267.848	0.000
Βαθμός διείσδυσης αυτόνομων	-0.040	0.001	-32.243	0.000
Χωρητικότητα	0.215	0.002	138.616	0.000
Εμπλοκή-αλλαγής λωρίδας	0.064	0.001	48.277	0.000
Δευτερεύον-συμβατικό βαρέου τύπου	-0.008	0.002	-3.518	0.000
Δευτερεύον-αυτόνομο βαρέου τύπου	0.045	0.004	12.004	0.000
Τύπος οδού-δευτερεύουσα	0.064	0.001	60.025	0.000
Τύπος οδού-τριτεύουσα	0.118	0.001	84.706	0.000
Adj. R-squared	0,447			

- Ο παράγοντας που επηρεάζει στο μεγαλύτερο βαθμό τη μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής, είναι η **χωρητικότητα της οδού**, η οποία προκαλεί την αύξηση της για μεγαλύτερες τιμές της.
- Η μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής εξαρτάται επίσης από τον **τύπο της οδού** και τα **χαρακτηριστικά των εμπλοκών** με ομοιόμορφο τρόπο, αλλά με μικρότερη επιρροή.
- Η **αύξηση** του βαθμού διείσδυσης **μειώνει** τη μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής, ενώ η ύπαρξη **αυτόνομου οχήματος** ως **δευτερεύον όχημα** στην εμπλοκή, **αυξάνει** τη μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής.

Αποτελέσματα Μοντέλου Τύπου εμπλοκών

Μοντέλο 4					
Εξαρτημένες μεταβλητές	Ανεξάρτητες μεταβλητές	Coefficient	St. Error	z	P> z
Εμπλοκή-αλλαγής λωρίδας	Σταθερά	2.309	0.078	29.436	0.000
	Μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής	-0.091	0.002	-42.932	0.000
	Βαθμός διείσδυσης αυτόνομων	0.009	0.000	27.924	0.000
	Όριο ταχύτητας	-0.040	0.002	-26.259	0.000
	Δευτερεύον-συμβατικό βαρέου τύπου	-0.663	0.042	-15.706	0.000
	Πινακίδα STOP	-0.680	0.113	-6.015	0.000
	Τύπος οδού-τριτεύουσα	-0.745	0.028	-26.308	0.000
Εμπλοκή-οπίσθια	Σταθερά	3.327	0.074	44.698	0.000
	Μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής	-0.350	0.002	-177.737	0.000
	Βαθμός διείσδυσης αυτόνομων	0.018	0.000	61.456	0.000
	Όριο ταχύτητας	0.012	0.001	8.262	0.000
	Δευτερεύον-συμβατικό βαρέου τύπου	-1.305	0.037	-34.808	0.000
	Πινακίδα STOP	0.808	0.082	9.802	0.000
	Τύπος οδού-τριτεύουσα	-1.425	0.025	-56.008	0.000
Accuracy Score	0,82				

- Η αύξηση του βαθμού διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων, παρουσιάζει περισσότερες εμπλοκές **αλλαγής λωρίδας** και **οπίσθιες εμπλοκές** από ότι εμπλοκές διέλευσης.
- Στις τριτεύουσες οδούς παρατηρούνται λιγότερες εμπλοκές **αλλαγής λωρίδας** και **οπίσθιες εμπλοκές** από ότι εμπλοκές διέλευσης.

Συμπεράσματα (1/2)

Εισροή αυτόνομων οχημάτων στο δίκτυο:

- Ο βαθμός διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων απεδείχθη **στατιστικά σημαντικός** όσον αφορά το χρόνο έως την εμπλοκή, τη μέγιστη ταχύτητα εμπλοκής, τον αριθμό των εμπλοκών και τον τύπο των εμπλοκών.
- **Η αύξηση** του βαθμού διείσδυσης προκάλεσε **αύξηση των οπίσθιων εμπλοκών**. Συμπεραίνεται ότι, οι χρήστες του δικτύου **δεν αντιδρούν επαρκώς** στην κίνηση των αυτόνομων οχημάτων.

Αυτόνομο όχημα ως δευτερεύον όχημα εμπλοκής:

- Ως δευτερεύοντα οχήματα εμπλοκής, τα αυτόνομα οχήματα **παρουσίασαν μείωση** του **χρόνου έως την εμπλοκή** και του **αριθμού των εμπλοκών**.
- Τα αυτόνομα οχήματα προκάλεσαν **αύξηση της μέγιστης ταχύτητας εμπλοκής**, πιθανόν λόγω της βελτίωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών στο δίκτυο, προκαλώντας την αύξηση της μέσης ταχύτητας.

Συμπεράσματα (2/2)

- Ο **τύπος των οχημάτων** που παρουσίασε στατιστική σημαντικότητα ήταν τα **βαρέα οχήματα**, είτε αυτά ήταν συμβατικά, είτε ήταν αυτόνομα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι, τα οχήματα αυτά, έχοντας μεγαλύτερο όγκο και λόγω αυτού, μικρότερη δυνατότητα επιβράδυνσης, συμμετέχουν σε περισσότερες εμπλοκές.
- Οι **μόνοι τύποι οδού** οι οποίοι αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικοί, ήταν οι **δευτερεύουσες** και οι **τριτεύουσες** οδοί. Η κυκλοφορία σε δευτερεύουσες οδούς αυξάνει το χρόνο έως την εμπλοκή και μειώνει το συνολικό αριθμό εμπλοκών.
- Η ύπαρξη **πινακίδα σήμανσης «STOP»** επιδρά θετικά τόσο στην αύξηση του χρόνου έως την εμπλοκή, όσο και στη μείωση του συνολικού αριθμού εμπλοκών. Παρόλα αυτά, αυξάνει, λόγω της στάσης οχημάτων που επιβάλλει, την πιθανότητα οπίσθιων εμπλοκών.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Μελέτη της **αλληλεπίδρασης του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος** οχήματος εμπλοκής, για διαφορετικά επίπεδα αυτοματισμού και τύπους συμβατικών οχημάτων.
- Εφόσον τα οχήματα βαρέου τύπου κρίθηκαν ως τα μόνα στατιστικά σημαντικά στα μοντέλα, κρίνεται σκόπιμο να διεξαχθούν έρευνες γύρω από **τη συμπεριφορά των επιβατικών οχημάτων**.
- Θα ήταν σκόπιμο να διεξαχθεί αντίστοιχη μελέτη σε επίπεδο **μεγαλύτερου οδικού δικτύου και διαφορετικών τύπων οδών**, όπως αυτοκινητόδρομος και αστικές οδοί με μεγάλη συμφόρηση για την εύρεση της **επιρροής επιπρόσθετων μεταβλητών** συνδυαστικά με το βαθμό διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων.
- Μελέτη συγκεκριμένα για την περίπτωση των **εμπλοκών αλλαγής λωρίδας** σε κατάλληλο οδικό δίκτυο, λόγω της μικρής καταγραφής τέτοιου είδους εμπλοκών στο παρόν οδικό δίκτυο.



Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Η επιρροή της διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων στην ασφάλεια κυκλοφορίας

Αντωνία Αντωννάκη

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Μάρτιος 2024