



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών & Συγκοινωνιακής Υποδομής

ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ  
ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΕ  
ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ  
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟ ΜΕ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ



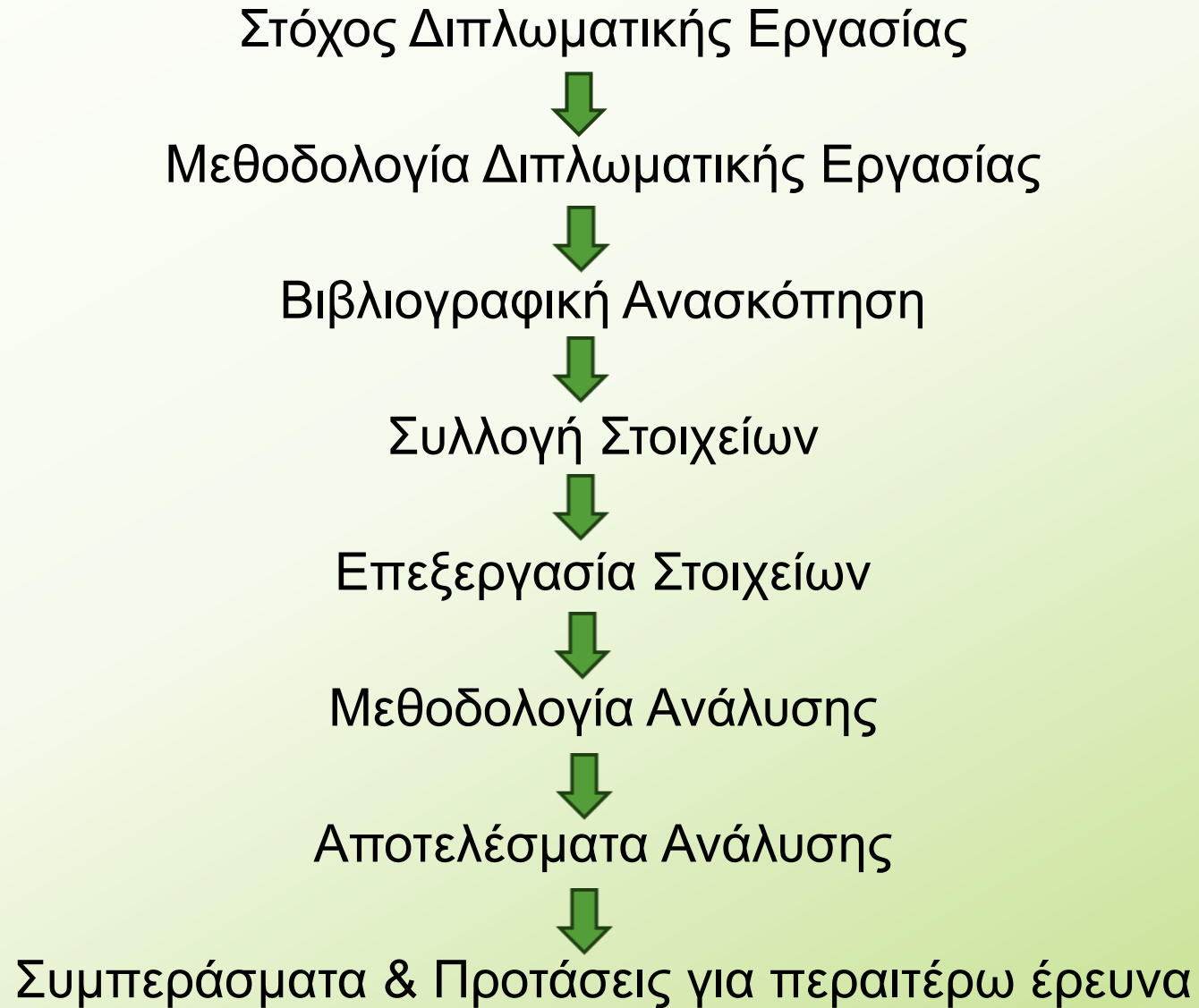
**Σουσούνη Μαρία-Ιωάννα**

Επιβλέπων | Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

# Διάρθρωση Παρουσίασης

---



# Στόχος Διπλωματικής Εργασίας (1/2)

## Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η κυκλοφορία αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους ρυπογόνους τομείς

Στην Ελλάδα οι μεταφορές ευθύνονται για το 22% των συνολικών **εκπομπών ρύπων**



Επιπτώσεις...

- 238.000 πρόωροι θάνατοι λόγω έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους
- Κλιματικές αλλαγές, η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να επιφέρει αύξηση της θερμοκρασίας 1,4-5,8 °C μέχρι το 2100



## Οδική Ασφάλεια

Σε παγκόσμιο επίπεδο τα **τροχαία ατυχήματα** προκαλούν 1,3 εκατομμύρια θανάτους και 50 εκατομμύρια τραυματισμούς κάθε χρόνο

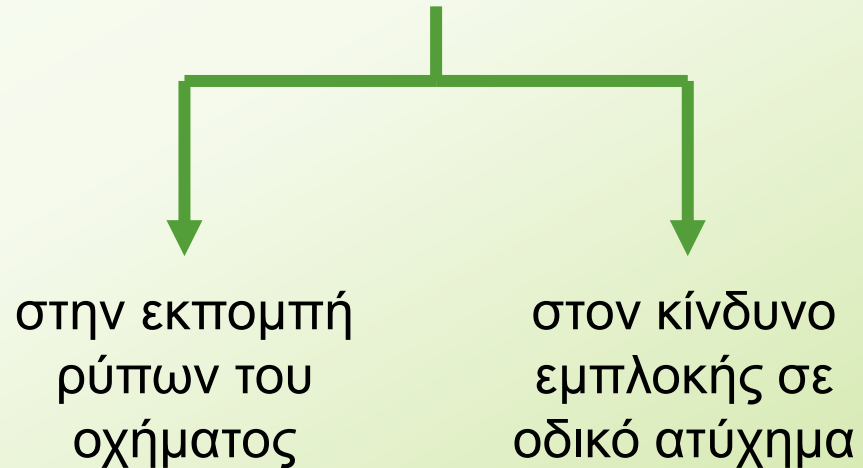
Στην Ελλάδα 1300 άνθρωποι ετησίως χάνουν τη ζωή τους εξαιτίας τροχαίων ατυχημάτων



# Στόχος Διπλωματικής Εργασίας (2/2)

## Οικολογική Οδήγηση

- **Διεξαγωγή πειράματος σε αστική οδό και αυτοκινητόδρομο με προσομοιωτή οδήγησης και ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων, ώστε να φανεί η επιρροή της οικολογικής οδήγησης:**



# Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας



Προσδιορισμός Στόχου



Βιβλιογραφική Ανασκόπηση



Συλλογή Στοιχείων



Επεξεργασία Στοιχείων



Επιλογή Μεθοδολογίας Στοιχείων



Ανάπτυξη Μαθηματικών  
Μοντέλων



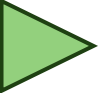
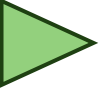


Περιγραφή Αποτελεσμάτων



Συμπεράσματα και Προτάσεις

# Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (1/2)

## Συμβολή της οικολογικής οδήγησης

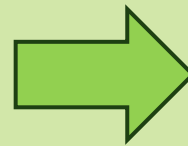
-  **Μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> έως και 15%**, ανάλογα την κυκλοφοριακή συμφύρρηση της οδού
-  **Μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub> και CO περίπου 37% και 31% αντίστοιχα**
-  **Ανάλογα τον τύπο της οδού, αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων έως και 5% σε οδούς ανηφορικής κλίσης, ενώ αντίστοιχα μείωση έως και 3,5% σε οδούς κατηφορικής κλίσης**
-  **Μείωση της μέσης ταχύτητας, καθώς και του κινδύνου εμπλοκής σε οδικό ατύχημα έως και 50%**

# Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (2/2)

Ήδη υπάρχουσες έρευνες

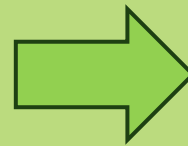
Παρούσα έρευνα

Η πλειοψηφία των ερευνών πραγματοποιήθηκε σε λογισμικό προσομοίωσης



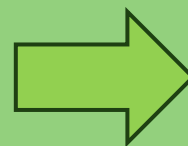
Πειραματική διαδικασία σε **προσομοιωτή οδήγησης**

Συμμετοχή ατόμων μεγαλύτερων ηλικιακών ομάδων – έμπειροι οδηγοί



Συμμετέχοντες **νεαρής ηλικίας**

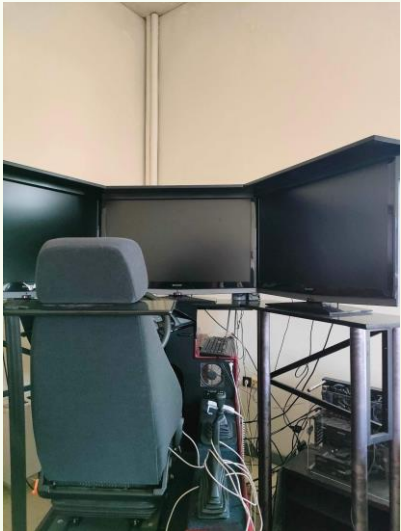
Μικρός αριθμός ερευνών που εξετάζει την επιρροή του φύλου του οδηγού



Επίδραση του **φύλου** του οδηγού στην οδηγική συμπεριφορά

# Συλλογή Στοιχείων

Πείραμα σε  
προσομοιωτή  
οδήγησης



Οδηγίες  
οικολογικής  
οδήγησης

- ✓ Οδήγηση με σταθερές και χαμηλές ταχύτητες
- ✓ Διατήρηση στροφών του κινητήρα κάτω από 2000
- ✓ Συντονισμός ταχύτητας οδήγησης με εκείνη των άλλων οχημάτων
- ✓ Αποφυγή απότομων εναλλαγών ταχύτητας

Στοιχεία  
συμμετεχόντων  
πειράματος

39 συμμετέχοντες (23 άντρες και 16 γυναίκες), ηλικίας 18-30 ετών

Σενάρια  
πειράματος

- Οδήγηση με οικολογική συμπεριφορά και μη σε:
- Αστική οδό και
  - Αυτοκινητόδρομο

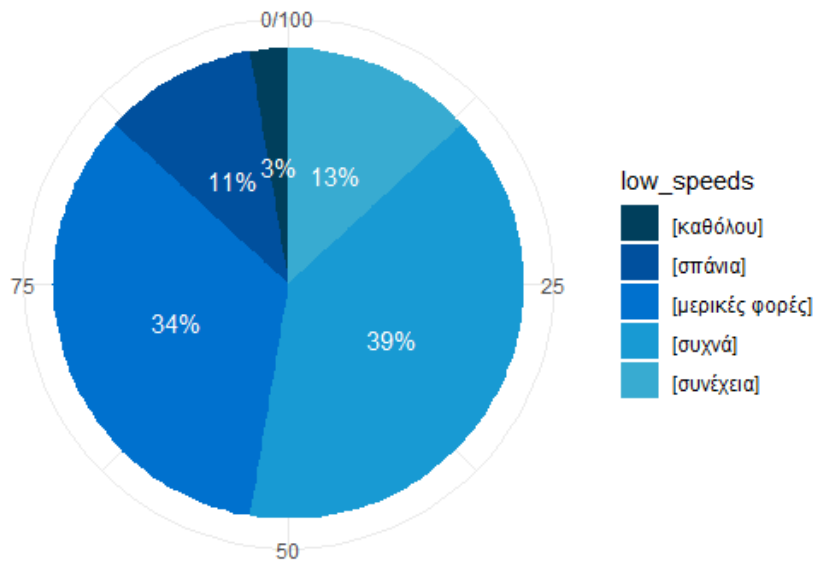


# Επεξεργασία Στοιχείων (1/2)

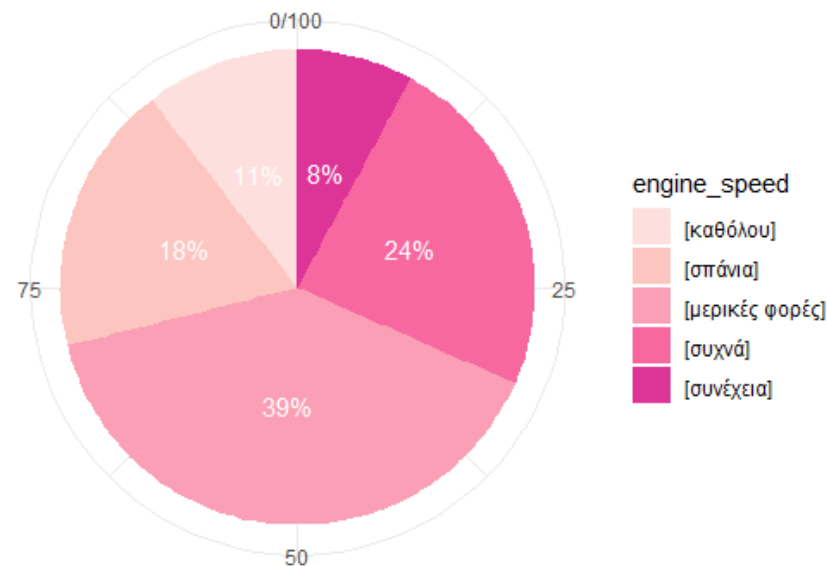
## Επεξεργασία ερωτηματολογίων

- Αντιστοιχία ερωτήσεων με μεταβλητές
- Κωδικοποίηση απαντήσεων
- Δημιουργία συγκεντρωτικού πίνακα

Πόσο συχνά οι οδηγοί σέβονται τα όρια και οδηγούν με χαμηλές ταχύτητες



Πόσο συχνά οι οδηγοί κρατάνε τις στροφές του κινητήρα κάτω από 2000



# Επεξεργασία Στοιχείων (2/2)

## Επεξεργασία μετρήσεων πειράματος

- Εξαγωγή δεδομένων από τον προσομοιωτή
- Ονομασία και κωδικοποίηση δεδομένων
- Δημιουργία βάσης δεδομένων

## Υπολογισμός εκπομπών ρύπων & κατανάλωσης καυσίμου

Υπολογισμός δεικτών:

**CO<sub>2</sub>** (διοξείδιο του άνθρακα),

**CO** (μονοξείδιο του άνθρακα),

**NO<sub>x</sub>** (οξειδία του αζώτου),

**FC** (κατανάλωση καυσίμου),

βάση της έρευνας Zhao et al. (2015)

	μέσοι όροι			
	Αυτοκινητόδρομος	Αυτοκινητόδρομος σε οικολογική οδήγηση	Αστικό περιβάλλον	Αστικό περιβάλλον σε οικολογική οδήγηση
ταχύτητα (km/h)	78	57	32	29
απόσταση του οχήματος από τη μέση του δρόμου σε m	5,12	5,71	3,94	4,07
απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου σε m	5,31	5,02	3,00	2,85

## Δημιουργία τελικής Βάσης Δεδομένων



# Μεθοδολογία Ανάλυσης

## Μαθηματικά Μοντέλα

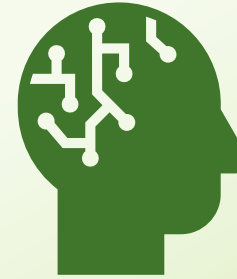


- Γραμμικό Μοντέλο
- Διωνυμικό Λογιστικό Μοντέλο

## Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου



- Λογική εξήγηση των συντελεστών του μοντέλου
- Στατιστική σημαντικότητα
- Ποιότητα μοντέλου
- Συσχέτιση μεταβλητών
- Σφάλμα



# Βήματα Διαδικασίας Στατιστικής Ανάλυσης

Εισαγωγή βάσης δεδομένων στη γλώσσα προγραμματισμού R

Καθορισμός εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών

Συσχέτιση ανεξάρτητων μεταβλητών

Ανάπτυξη μοντέλων παλινδρόμησης

Έλεγχος κριτηρίων αποδοχής



# Ανάπτυξη Μαθηματικών Μοντέλων

---

## Γραμμικά Μοντέλα

(Λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση)

Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ )

Εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Εκπομπή οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ )

## Διωνυμικό Λογιστικό Μοντέλο

Πιθανότητα ατυχήματος (NumOfCrashes)

# Μαθηματικό μοντέλο εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα

Ανεξάρτητες μεταβλητές		B	t	e	e*
Διακριτές	Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση	-0,0938	-5,107	-0,014	1,000
	Περιβάλλον οδήγησης	0,3728	14,002	0,056	-3,974
	Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας	-0,02308	-3,936	-0,021	1,476
Συνεχείς	Απόσταση οχήματος από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου	0,01901	2,202	0,0000288	1,000

$$R^2 = 0,789$$

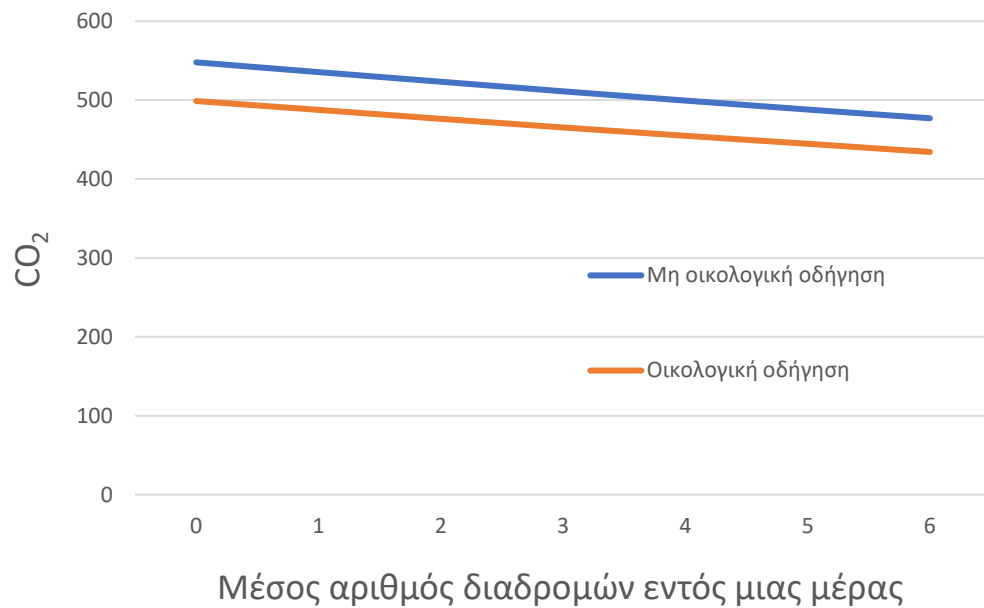
Όταν ο οδηγός έχει οικολογική συμπεριφορά, η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα μειώνεται

Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται όταν ο οδηγός βρίσκεται σε αυτοκινητόδρομο

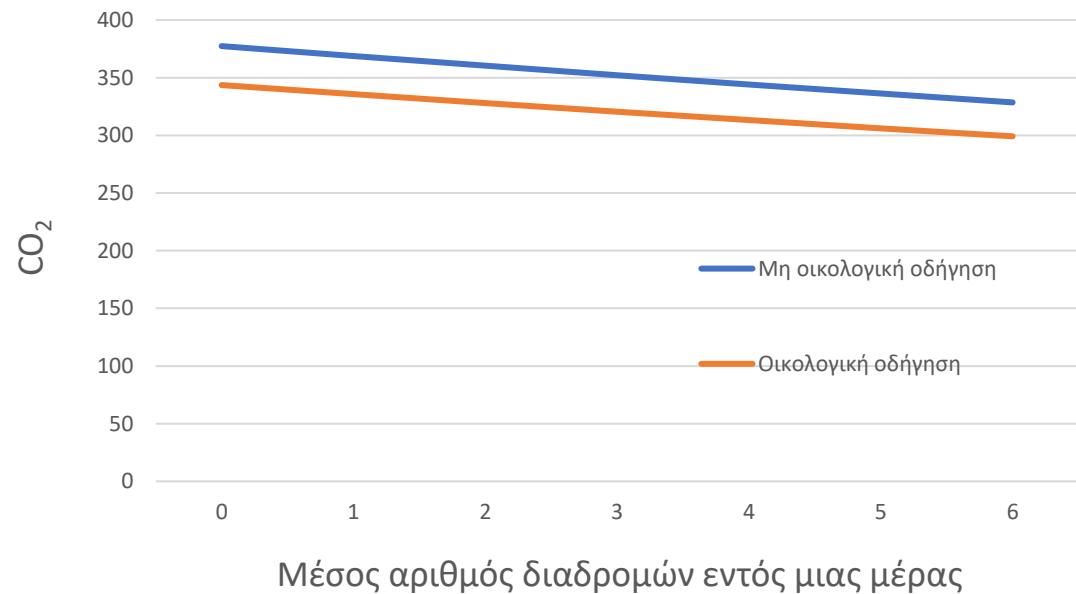
Μεγαλύτερη επιρροή παρουσιάζει το περιβάλλον οδήγηση, του οποίου η επιρροή είναι 3,974 φορές μεγαλύτερη από το αν ο συμμετέχοντας οδηγούσε με οικολογική συμπεριφορά ή όχι, που είναι η μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή

# Ανάλυση Ευαισθησίας μαθηματικού μοντέλου εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα

Εκπομπή CO<sub>2</sub> σε Αυτοκινητόδρομο (gr/km)



Εκπομπή CO<sub>2</sub> σε Αστικό Περιβάλλον (gr/km)



- Οικολογική συμπεριφορά
- **↑** Μέσου αριθμού διαδρομών εντός μιας μέρας



**↓** Εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

# Μαθηματικό μοντέλο εκπομπής οξειδίων του αζώτου

Ανεξάρτητες μεταβλητές		B	t	e	e*
Διακριτές	Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση	-0,4945	-11,303	-0,207	-2,771
	Περιβάλλον οδήγησης	1,04	19,55	0,436	5,827
	Φύλλο	0,08924	2,051	0,075	1,000
Συνεχείς	Χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα	-0,000037	-5,401	-0,0000002	1,000
	Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου	-0,08165	-3,686	-0,0003	2215,138

$$R^2 = 0,813$$

Όταν ο οδηγός έχει οικολογική συμπεριφορά, η εκπομπή των οξειδίων του αζώτου μειώνεται

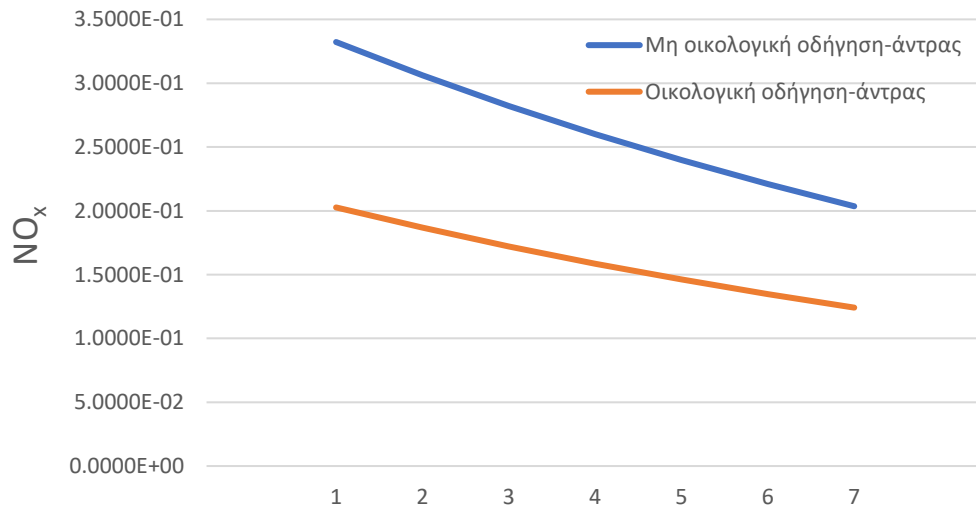
Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου αυξάνονται όταν ο οδηγός βρίσκεται σε αυτοκινητόδρομο

Μεγαλύτερη επιρροή παρουσιάζει το ίχνος του οχήματος από τη μέση της οδού, του οποίου η επιρροή είναι 2215,138 φορές μεγαλύτερη από το χρόνο σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα, που είναι η μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή



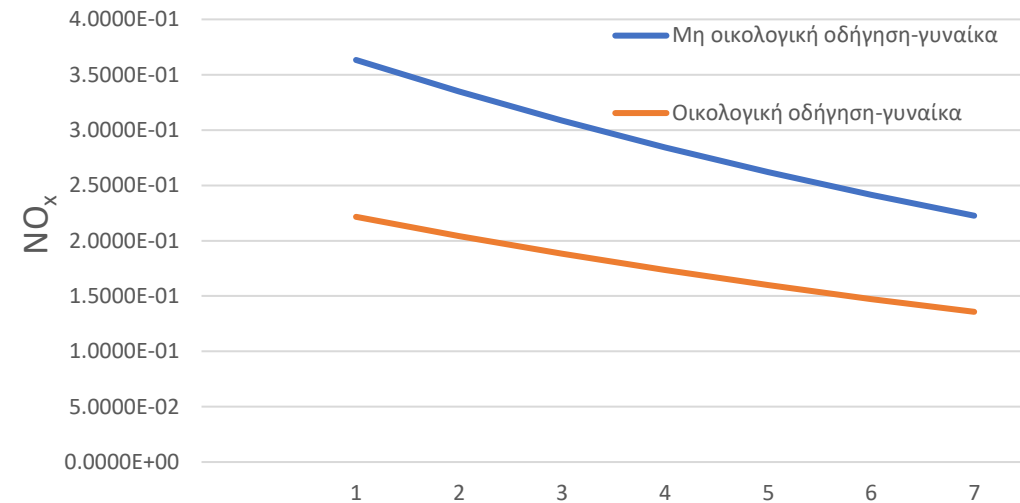
# Ανάλυση Ευαισθησίας μαθηματικού μοντέλου εκπομπής οξειδίων του αζώτου σε Αυτοκινητόδρομο

Εκπομπή NO<sub>x</sub> σε Αυτοκινητόδρομο (gr/km)



Άχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου σε m

Εκπομπή NO<sub>x</sub> σε Αυτοκινητόδρομο (gr/km)



Άχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου σε m

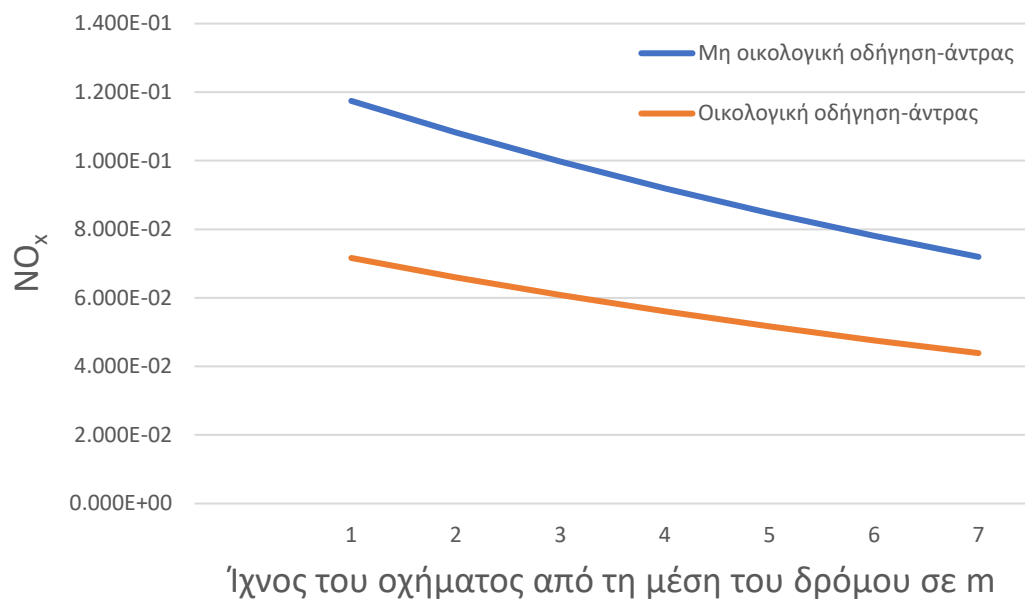
- Οικολογική συμπεριφορά
- ↑ Άχνους του οχήματος από τη μέση του δρόμου
- Άντρας οδηγός



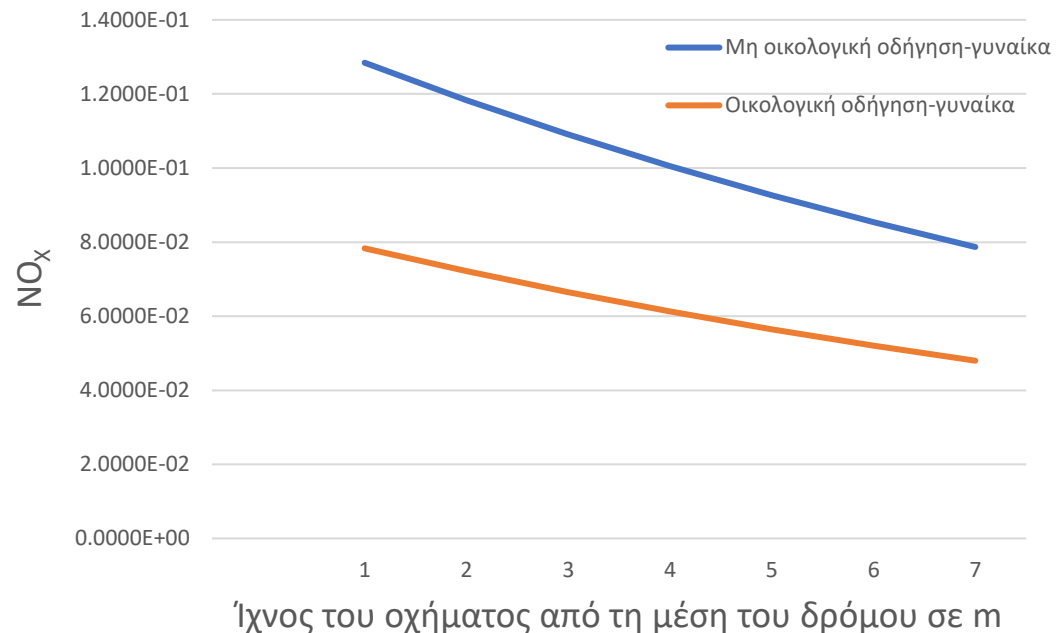
↓ Εκπομπών οξειδίων του αζώτου

# Ανάλυση Ευαισθησίας μαθηματικού μοντέλου εκπομπής οξειδίων του αζώτου σε Αστικό περιβάλλον

Εκπομπή NO<sub>x</sub> σε Αστικό Περιβάλλον (gr/km)



Εκπομπή NO<sub>x</sub> σε Αστικό Περιβάλλον (gr/km)



- Οικολογική συμπεριφορά
- ↑ Ίχνους του οχήματος από τη μέση του δρόμου
- Άντρας οδηγός



↓ Εκπομπών οξειδίων του αζώτου

# Σύνοψη Γραμμικών Μοντέλων Πρόβλεψης Ατμοσφαιρικών Ρύπων

Ανεξάρτητες μεταβλητές		Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )				Εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα (CO)				Εκπομπή οξειδίων του αζώτου (NO <sub>x</sub> )			
		B	t	e	e*	B	t	e	e*	B	t	e	e*
Διακριτές	Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση	-0,0938	-5,107	-0,014	1,000	-0,48972	-10,688	-0,982	2,738	-0,4945	-11,303	-0,207	-2,771
	Περιβάλλον οδήγησης	0,3728	14,002	0,056	-3,974	0,47216	7,111	0,946	-2,640	1,04	19,55	0,436	5,827
	Μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο συμμετέχοντας εντός μιας μέρας	-0,02308	-3,936	-0,021	1,476	-0,02981	-2,038	-0,358	1,000				
	Φύλο									0,8924	2,051	0,075	1,000
Συνεχείς	Απόσταση από τη δεξιά οριογραμμή του δρόμου	0,01901	2,202	0,0000288	1,000	0,07518	3,491	0,02	1,000				
	Χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα									-0,000037	-5,401	-0,0000002	1,000
	Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου									0,8165	-3,686	-0,0003	2215,138
R <sup>2</sup>		0,789				0,690				0,813			

# Μαθηματικό μοντέλο πιθανότητας ατυχήματος

Ανεξάρτητες μεταβλητές		B	z value	e	e*
Διακριτές	Μη οικολογική ή οικολογική οδήγηση	-2,6079	-5,222	-0,900	1,037
	Περιβάλλον οδήγησης	-2,3255	-4,765	-0,868	1,000
Συνεχείς	Χρόνια κατοχής διπλώματος οδήγησης	-0,2538	-2,299	-0,636	1,000

	Ποσοστό επιτυχημένης πρόβλεψης του μοντέλου
Πραγματοποίηση Ατυχήματος	80,2%
Μη Πραγματοποίηση Ατυχήματος	77,1%
Μέσος όρος	<b>79,5%</b>

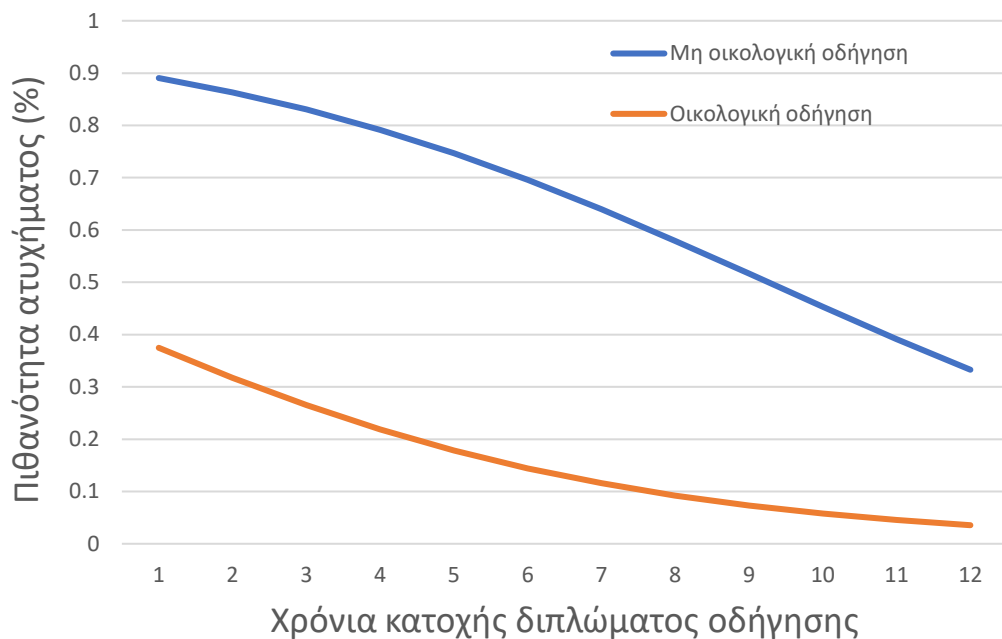
Όταν ο οδηγός έχει οικολογική συμπεριφορά, η πιθανότητα να εμπλακεί σε ατύχημα μειώνεται

Η πιθανότητα ατυχήματος αυξάνεται όταν ο οδηγός βρίσκεται σε αστικό περιβάλλον

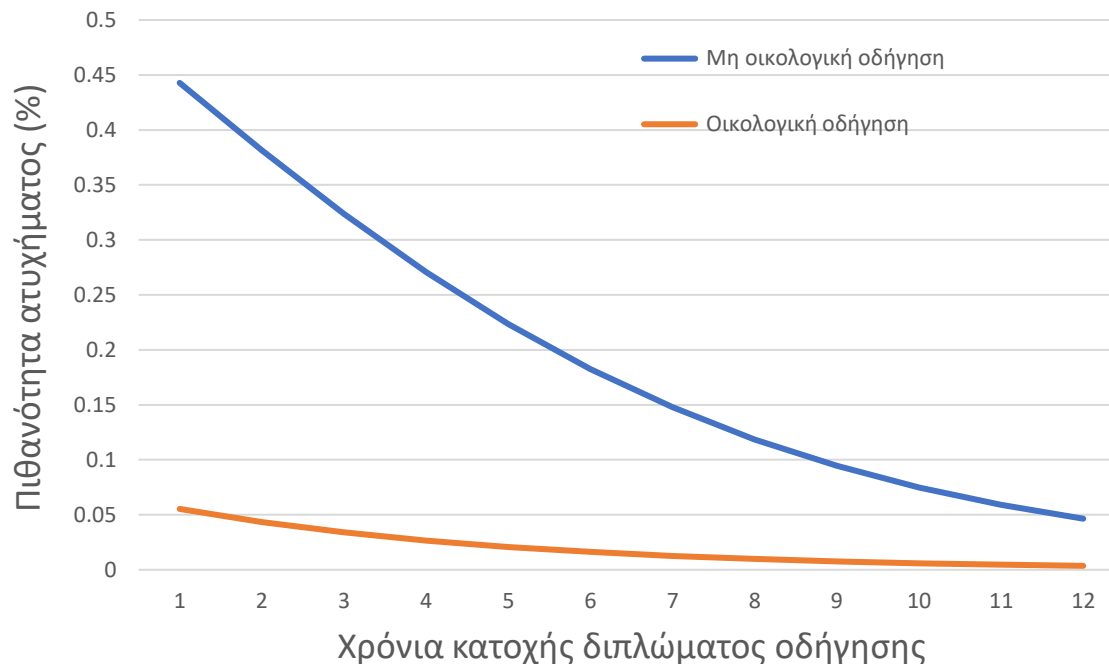
Μεγαλύτερη επιρροή παρουσιάζει η οικολογική ή μη οικολογική συμπεριφορά οδήγησης, της οποίας η επιρροή είναι 1,037 φορές μεγαλύτερη από την μικρότερη τιμή

# Ανάλυση Ευαισθησίας μαθηματικού μοντέλου πιθανότητας ατυχήματος

## Πιθανότητα Ατυχημάτων σε Αστικό Περιβάλλον



## Πιθανότητα Ατυχημάτων σε Αυτοκινητόδρομο



- Οικολογική συμπεριφορά
- **↑** Χρόνια κατοχής διπλώματος οδήγησης



**↓** Πιθανότητας εμπλοκής σε ατύχημα

# Συμπεράσματα (1/2)

- Η **οικολογική οδήγηση**, συμβάλει στη μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων (**CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>**), το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στη μείωση της ταχύτητας οδήγησης, το οποίο οδηγεί στην αποφυγή ελιγμών και απότομων εναλλαγών ταχύτητας.
- Η **οικολογική οδηγική συμπεριφορά** μπορεί να μειώσει την πιθανότητα του οδηγού να **εμπλακεί σε οδικό ατύχημα**, ενδεχομένως διότι οι οδηγοί με οικολογική συμπεριφορά οδηγούν με σταθερή και μειωμένη ταχύτητα, έτσι σε περίπτωση ατυχήματος έχουν περισσότερο χρόνο αντίδρασης για την αποφυγή του.
- Το περιβάλλον οδήγησης συμβάλλει στην πιθανότητα ατυχήματος, καθώς **στο αστικό οδικό δίκτυο, είναι πιο πιθανόν να εμπλακεί ο οδηγός σε ατύχημα απ' ότι στον αυτοκινητόδρομο**, πιθανόν επειδή πρόκειται για πιο προστατευμένο περιβάλλον
- Ο μέσος αριθμός διαδρομών που πραγματοποιεί ο οδηγός εντός μια μέρας, επηρεάζει την **εκπομπή του διοξειδίου και του μονοξειδίου του άνθρακα**. Συγκεκριμένα όσες περισσότερες διαδρομές κάνει, τόσο μικρότερες εκπομπές προκαλεί και αυτό πιθανόν οφείλεται στο ότι, ταυτόχρονα αυξάνεται και η οδηγική του εμπειρία.

# Συμπεράσματα (2/2)

---

- Η θέση του οχήματος από το μέσον της οδού δείχνει να επηρεάζει την εκπομπή των οξειδίων του αζώτου. Όσο ο οδηγός απομακρύνεται από τη μέση και οδηγεί πιο κοντά στη δεξιά οριογραμμή της οδού, μειώνονται οι εκπομπές των ρύπων, ενδεχομένως για τον λόγο ότι πρόκειται για ένα λιγότερο επιθετικό προφίλ οδήγησης, χωρίς διάθεση για προσπέραση. Αντίστοιχα, η οδήγηση κοντά στη δεξιά οριογραμμή της οδού, δείχνει να ελαττώνει τις εκπομπές του διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα.
- Το πόσα χρόνια οι οδηγοί κατέχουν το δίπλωμα οδήγησης, φαίνεται να επηρεάζει την εμπλοκή τους σε οδικό ατύχημα. Οι οδηγοί που κατέχουν περισσότερα χρόνια το δίπλωμα οδήγησης, έχουν λιγότερες πιθανότητες να εμπλακούν σε ατύχημα, πιθανόν λόγω της αυξημένης οδηγικής τους εμπειρίας.
- Ο χρόνος σύγκρουσης από το προπορευόμενο όχημα συμβάλλει στην εκπομπή ρύπων. Μεγαλύτερος χρόνος συνεπάγεται με μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου. Αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι ο οδηγός έχει περισσότερο χρόνο να αντιδράσει, οπότε αποφεύγει τις απότομες επιβραδύνσεις

# Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- ❑ Εξέταση μεγαλύτερου δείγματος συμμετεχόντων για τη διεξαγωγή του πειράματος, ώστε να είναι πιο ακριβής τα μαθηματικά μοντέλα.
- ❑ Εξέταση όλων των ηλικιακών ομάδων, προκειμένου τα αποτελέσματα να αφορούν μεγαλύτερο πλήθος οδηγών.
- ❑ Εξέταση οικολογικής οδήγησης με διαφορετικές καιρικές συνθήκες, όπως οδήγηση σε βροχή, ομίχλη, χιόνι.
- ❑ Διεξαγωγή του πειράματος με μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο και διαφορετικού είδους μη αναμενόμενα συμβάντα.
- ❑ Διεξαγωγή πειραματικής διαδικασίας, χρησιμοποιώντας έξυπνα συστήματα ελέγχου του οχήματος, προκειμένου να εξεταστεί η επιρροή τους στην οικολογική οδήγηση.
- ❑ Εξέταση εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου βάσει τον τύπο καυσίμου του οχήματος (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρικό ρεύμα ή συνδυασμός αυτών), οδηγώντας με και χωρίς οικολογική συμπεριφορά.





Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών & Συγκοινωνιακής Υποδομής

Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας! 😊

**Σουσούνη Μαρία-Ιωάννα**

Επιβλέπων | Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών & Συγκοινωνιακής Υποδομής

ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ  
ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΕ  
ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ  
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟ ΜΕ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ



**Σουσούνη Μαρία-Ιωάννα**

Επιβλέπων | Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024