



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

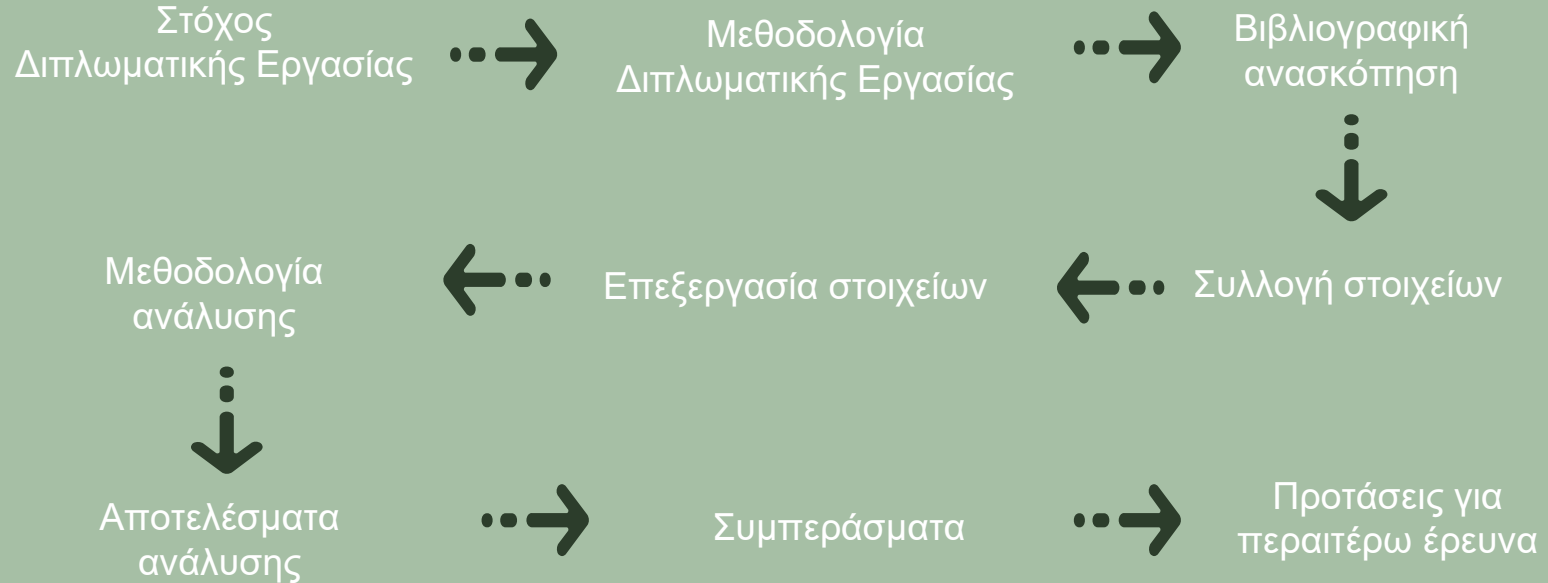


ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΤΗΣ  
ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ  
ΣΤΟ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ  
ΠΡΟΣΟΜΙΩΤΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

**Παναγιώτα Κουρεντή**  
Επιβλέπων | Γιώργος Γιαννής,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

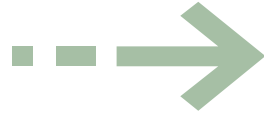
Αθήνα, Οκτώβριος 2023

# Διάρθρωση Παρουσίασης



# Στόχος Διπλωματικής Εργασίας (1/2)

Οδικές μεταφορές



Οι μεταφορές ευθύνονται σχεδόν για το 30% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εκ των οποίων το 72% προέρχεται από τις **οδικές μεταφορές**.

## 1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Υγεία

Πρόωροι θάνατοι στην Ευρωπαϊκή Ένωση

- 238.000 λόγω έκθεσης σε ρύπανση μικρών αιωρούμενων σωματιδίων
- 49.000 λόγω ρύπανσης διοξειδίου του αζώτου
- 24.000 λόγω έκθεσης σε όζον.

Περιβάλλον

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αντιπροσωπεύει σχεδόν το 80% του όγκου όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ.

## 2. Έλλειψη ενεργειακών πόρων

---

- Η υπερβολική κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα να πλησιάζουν το όριο εξάντλησης τους καθώς και πλήθος οικολογικών προβλημάτων όπως λόγω χάρη την **κλιματική αλλαγή**.

## 3. Οδική ασφάλεια

---

- Τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν σήμερα την κύρια αιτία θανάτου παιδιών και νέων ηλικίας 5 έως 29 ετών σε ολόκληρο τον κόσμο
- Παγκοσμίως, 1,35 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο εξαιτίας **τροχαίων ατυχημάτων**.

Η διερεύνηση της επιρροής της οικολογικής οδήγησης στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων, στην κατανάλωση καυσίμου καθώς και στην πιθανότητα ατυχήματος στο οδικό δίκτυο.

# Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας



# Βιβλιογραφική ανασκόπηση (1/2)

|                          | Ευρήματα διεθνών ερευνών |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Κατανάλωση καυσίμου      |                          | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| Εκπομπές CO <sub>2</sub> | ↓                        |   |   | ↓ |   |   |   |   |   |   |   |
| Πιθανότητα ατυχήματος    |                          |   |   |   |   | ↓ | ↓ |   |   |   |   |
| Μέση ταχύτητα οδήγησης   | ↓                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |



# Βιβλιογραφική ανασκόπηση (2/2)

## Υφιστάμενες έρευνες

## Διπλωματική Εργασία

#1

Διεξαγωγή  
έρευνας

Πραγματικές συνθήκες οδήγησης  
Λογισμικό προσομοίωσης



Πείραμα σε προσομοιωτή  
οδήγησης

#2

Δίκτυο

Έρευνα κυρίως σε αστικά  
δίκτυα και αυτοκινητοδρόμους



Υπεραστικά και ορεινά  
υπεραστικά δίκτυα

#3

Ηλικία

Άτομα μεγαλύτερης ηλικίας  
– έμπειροι οδηγοί



Νεότερα άτομα

# Συλλογή στοιχείων

## Βασικοί κανόνες οικολογικής οδήγησης

---

- Οδήγηση με **σταθερές και χαμηλές ταχύτητες**
- **Αποφυγή απότομων εναλλαγών ταχύτητας**
- Διατήρηση **στροφών του κινητήρα κάτω από 2000**
- **Συντονισμός ταχύτητας οχήματος με των υπολοίπων στο δίκτυο**

## Στοιχεία συμμετεχόντων

---

- 39 οδηγοί, 23 άντρες και 16 γυναίκες
- Ηλικιακής ομάδας 18-30 ετών

## Σενάρια πειράματος

---

**Πριν** την ενημέρωση για την οικολογική οδήγηση:

- **Υπεραστικός** τύπος οδού
- **Ορεινός υπεραστικός** τύπος οδού

**Μετά** την ενημέρωση για την οικολογική οδήγηση:

- **Υπεραστικός** τύπος οδού
- **Ορεινός υπεραστικός** τύπος οδού



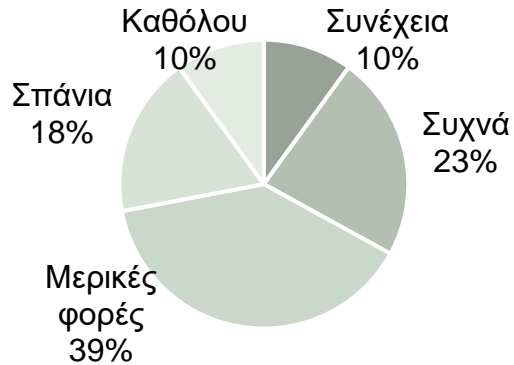


# Επεξεργασία στοιχείων (1/2)

## Δημιουργία τελικής βάσης δεδομένων

Ένωση των επεξεργασμένων πινάκων

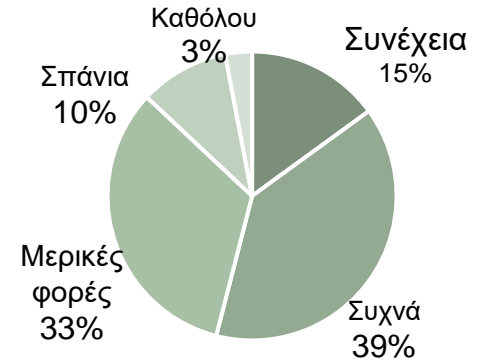
Διατήρηση στροφών  
κινητήρα κάτω από 2000



## Επεξεργασία ερωτηματολογίου

- **Ονομασία μεταβλητών**
- **Κωδικοποίηση απαντήσεων με λογικό και κοινό σύστημα**

Σεβασμός ορίων ταχύτητας



# Επεξεργασία στοιχείων (2/2)

## Επεξεργασία μετρήσεων πειράματος

Διαχωρισμός μετρήσεων:

- **Πριν και μετά** την ενημέρωση για την οικολογική οδήγηση
- **Υπεραστικών και ορεινών υπεραστικών δικτύων**

|                                     | Μη οικολογικό ορεινό υπεραστικό δίκτυο | Οικολογικό ορεινό υπεραστικό δίκτυο | Μη οικολογικό υπεραστικό δίκτυο | Οικολογικό υπεραστικό δίκτυο |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Ταχύτητα (km/h)                     | 37,77                                  | 32,66                               | 52,24                           | 43,48                        |
| Ποσοστό χρήσης πεντάλ φρένου (%)    | 7,75                                   | 5,08                                | 4,68                            | 3,55                         |
| Ποσοστό χρήσης πεντάλ συμπλέκτη (%) | 73,63                                  | 78,86                               | 80,82                           | 85,34                        |

## Υπολογισμός εκπομπών ρύπων & κατανάλωσης καυσίμου

Από την έρευνα Zhao et al. 2015:

- Υπολογισμός εκπομπών ρύπων (**CO<sub>2</sub>**, **CO**, **NOx**)
- Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου (**FC**)



# Μεθοδολογία ανάλυσης

## Μαθηματικά μοντέλα

- Γραμμικό μοντέλο
- Διωνυμικό λογιστικό μοντέλο



## Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

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

## Επεξήγηση αποτελεσμάτων

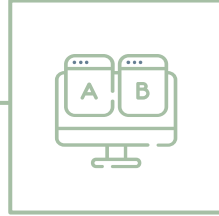
- Εξήγηση σχέσεων εξαρτημένης και ανεξαρτήτων μεταβλητών
- Επιβεβαίωση (ή όχι) διεθνούς βιβλιογραφίας
  - Ελαστικότητα



# Βήματα διαδικασίας στατιστικής ανάλυσης



Εισαγωγή βάσης  
δεδομένων στην  
γλώσσα  
προγραμματισμού  
R



Καθορισμός  
εξαρτημένης και  
ανεξάρτητων  
μεταβλητών



Δημιουργία πίνακα  
συσχέτισης  
μεταβλητών

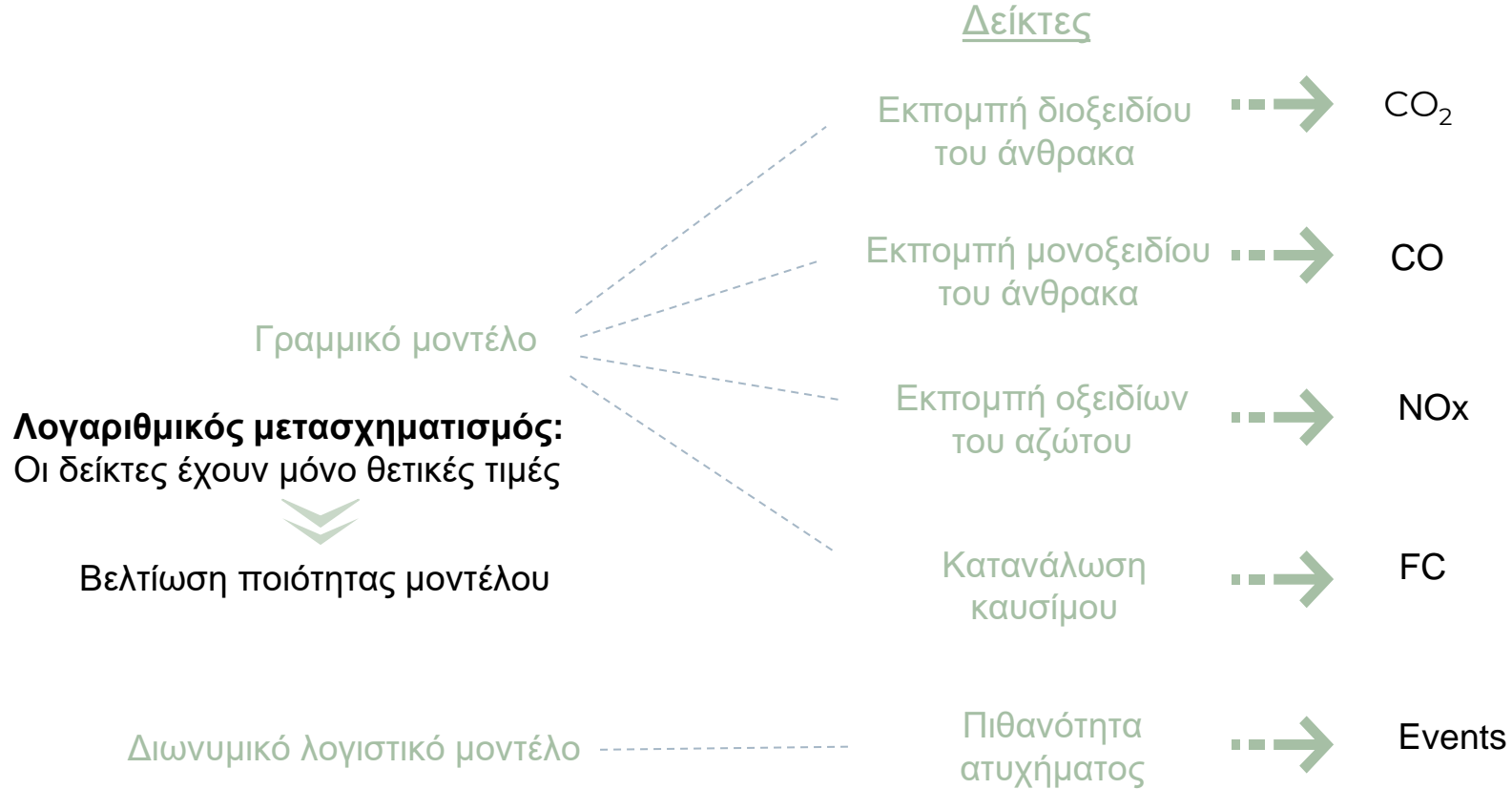


Ανάπτυξη  
μοντέλων  
παλινδρόμησης



Έλεγχος  
κριτηρίων  
αποδοχής

# Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων



# Μαθηματικό μοντέλο πιθανότητας ατυχήματος

- Το οικολογικό σενάριο οδήγησης, προκαλεί **μείωση** της πιθανότητας ατυχήματος. Αντίθετα, το υπεραστικό δίκτυο αυξάνει την πιθανότητα ατυχήματος σε σχέση με το ορεινό υπεραστικό.
- Η **μεγαλύτερη επιρροή** στο μοντέλο εμφανίζεται στο περιβάλλον οδήγησης.
- Η αποδοχή της μείωσης των ορίων ταχύτητας έχει **8 φορές μεγαλύτερη επιρροή** από εκείνης των χρημάτων που ξοδεύει ο οδηγός μηνιαία για τα καύσιμα του οχήματος του.

| Ανεξάρτητες μεταβλητές |  | B     | t     | e     | e*            |
|------------------------|--|-------|-------|-------|---------------|
| Διακριτές              | Σενάρια οικολογικής οδήγησης               | -2,52 | -5,98 | -0,66 | 1,82          |
|                        | Περιβάλλον οδήγησης                        | 0,69  | 1,73  | 14,37 | <b>-39,54</b> |
|                        | Τα χρήματα που ξοδεύει μηνιαία για καύσιμα | -0,23 | -2,48 | -0,36 | 1,00          |
|                        | Αποδοχή μείωσης ορίων ταχύτητας            | -1,22 | -2,38 | 2,93  | -8,07         |
| Συνεχείς               | Ηλικία οδηγού                              | -0,41 | -2,22 | -0,07 | -             |

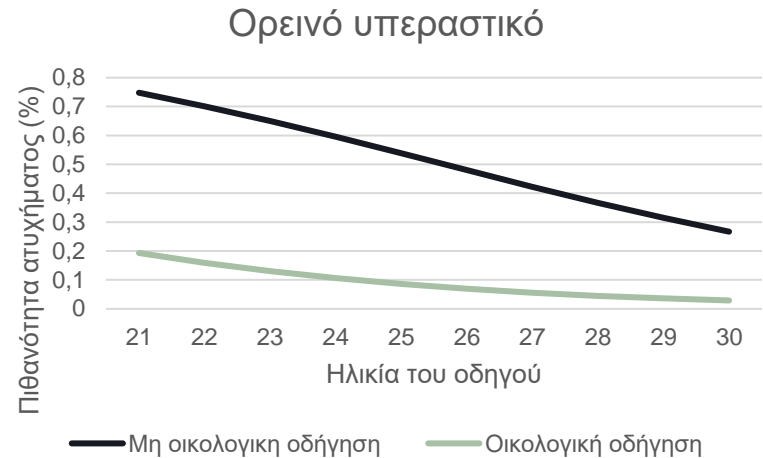
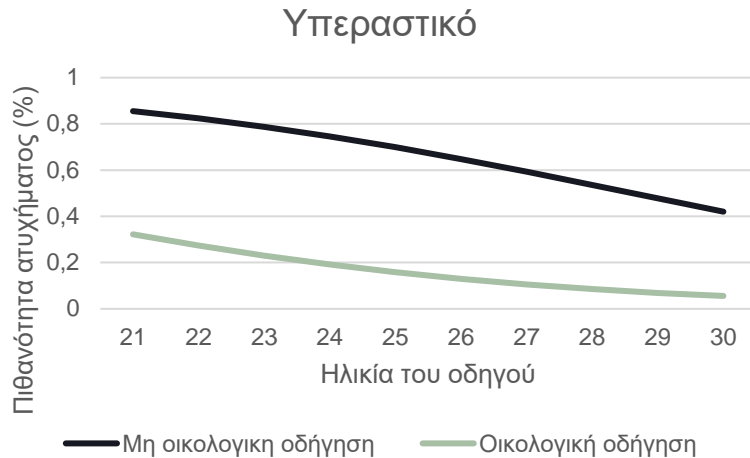


Ποσοστό επιτυχημένης πρόβλεψης μοντέλου

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| Μη ύπαρξη ατυχήματος | 73,3%        |
| Ύπαρξη ατυχήματος    | 83,3%        |
| Μέσος όρος           | <b>78,3%</b> |



# Ανάλυση ευαισθησίας μαθηματικού μοντέλου πιθανότητας ατυχήματος



Οικολογική οδήγηση



Υπεραστικό περιβάλλον



# Μαθηματικό μοντέλο κατανάλωσης καυσίμου

- Το οικολογικό σενάριο οδήγησης, καθώς και το υπεραστικό δίκτυο σε σχέση με το ορεινό υπεραστικό προκαλούν **μείωση** της κατανάλωσης καυσίμου.
- Η **μεγαλύτερη επιρροή** στο μοντέλο εμφανίζεται στο περιβάλλον οδήγησης.
- Το σενάριο οικολογικής οδήγησης έχει **1,6 φορές μεγαλύτερη επιρροή** από εκείνης του φύλου του οδηγού.

| Ανεξάρτητες μεταβλητές |   | B      | t      | e       | e*          |
|------------------------|---|--------|--------|---------|-------------|
| Διακριτές              | Σενάριο οικολογικής οδήγησης                | -1,05  | -6,79  | -0,07   | 1,63        |
|                        | Περιβάλλον οδήγησης                         | -1,87  | -11,68 | -0,13   | <b>2,89</b> |
|                        | Φύλο οδηγού                                 | -0,646 | 4,26   | -0,04   | 1,00        |
| Συνεχείς               | Ίχνος του οχήματος από την μέση του δρόμου  | -0,874 | -2,38  | -0,0006 | 1,00        |
|                        | Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη | 0,095  | -10,99 | -0,0006 | 9,20        |

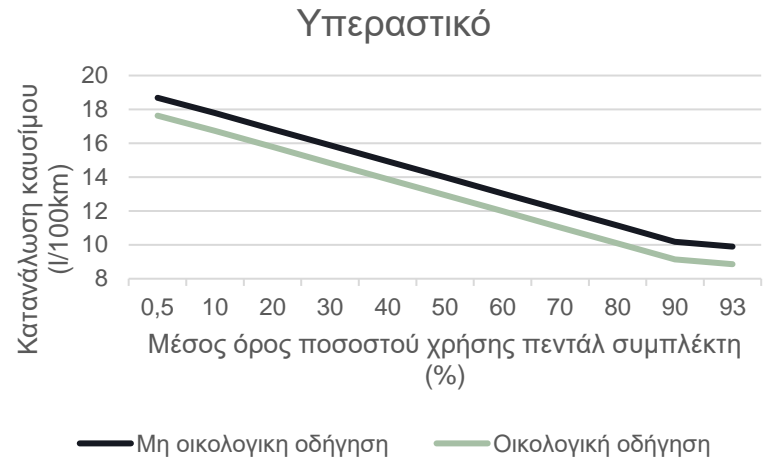
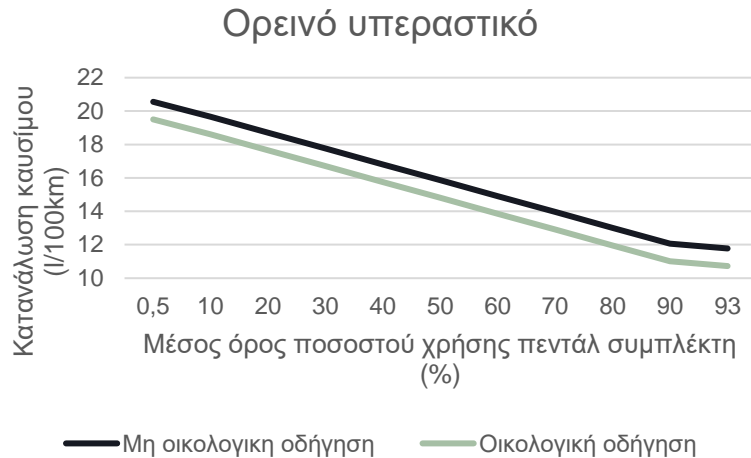


$$R^2 = 0,784$$





# Ανάλυση ευαισθησίας μαθηματικού μοντέλου κατανάλωσης καυσίμου



Οικολογική οδήγηση



Υπεραστικό περιβάλλον



# Μαθηματικό μοντέλο εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα

- Το οικολογικό σενάριο οδήγησης, καθώς και το υπεραστικό δίκτυο σε σχέση με το ορεινό υπεραστικό προκαλούν **μείωση** της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα.
- Η **μεγαλύτερη επιρροή** στο μοντέλο εμφανίζεται στο περιβάλλον οδήγησης.
- Το σενάριο οικολογικής οδήγησης έχει **9,6 φορές μεγαλύτερη επιρροή** από εκείνης του αριθμού των διαδρομών που πραγματοποιεί ο οδηγός με το όχημά του εντός μίας μέρας.

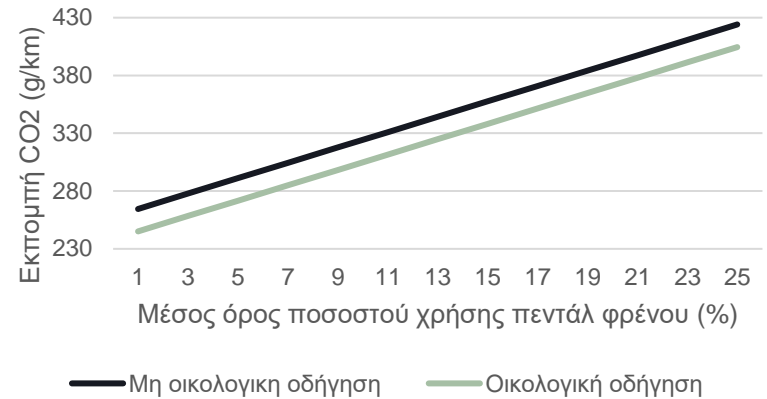
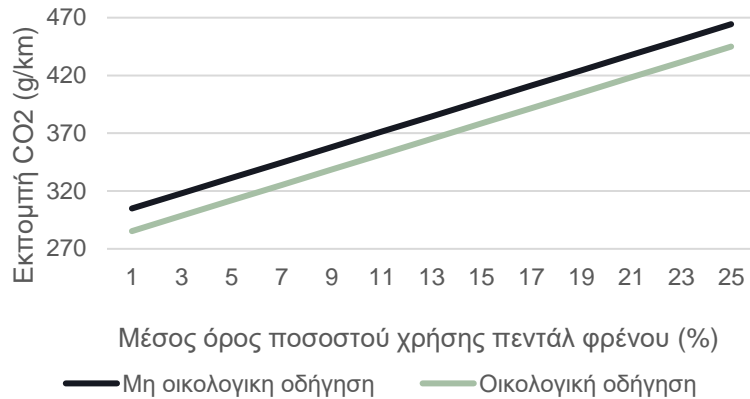
|           | Ανεξάρτητες μεταβλητές                                    | B       | t      | e      | e*           |
|-----------|---|---------|--------|--------|--------------|
| Διακριτές | Σενάριο οικολογικής οδήγησης                              | -19,45  | -5,94  | -0,06  | 9,59         |
|           | Περιβάλλον οδήγησης                                       | -40,306 | -12,18 | -0,12  | <b>19,80</b> |
|           | Αριθμός διαδρομών την μέρα                                | -2,036  | -2,10  | -0,01  | 1,00         |
| Συνεχείς  | Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου κατά την οδήγηση | 6,648   | 14,12  | 0,0002 | 1,00         |
|           | Μέσος όρος απόστασης από την αριστερή πλευρά του δρόμου   | -19,485 | -2,64  | 0,0006 | 2,93         |
|           | Τυπική απόκλιση πλευρικής επιτάχυνσης                     | 8,583   | 3,33   | 0,0003 | 1,29         |



$$R^2 = 0,836$$



# Ανάλυση ευαισθησίας μαθηματικού μοντέλου εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα



Οικολογική οδήγηση



Υπεραστικό περιβάλλον



# Σύνοψη γραμμικών μοντέλων εκτίμησης εκπομπών ρύπων & κατανάλωσης καυσίμου

|                        |   | Εκπομπή διοξειδίου άνθρακα |         |        |       | Εκπομπή μονοξειδίου άνθρακα |        |          |       | Εκπομπή οξειδίων αζώτου |         |        |       | Κατανάλωση καυσίμου |         |          |      |
|------------------------|---|----------------------------|---------|--------|-------|-----------------------------|--------|----------|-------|-------------------------|---------|--------|-------|---------------------|---------|----------|------|
| Ανεξάρτητες Μεταβλητές |   | B                          | t       | e      | e*    | B                           | t      | e        | e*    | B                       | t       | e      | e*    | B                   | t       | e        | e*   |
| Διακριτές              | Σενάριο οικολογικής οδήγησης                            | -19,450                    | -5,940  | -0,059 | 9,55  | -0,219                      | -9,751 | -0,293   | 7,06  | -0,020                  | -11,534 | -0,347 | 20,00 | -1,050              | -6,791  | -0,07    | 1,63 |
|                        | Περιβάλλον οδήγησης                                     | -40,306                    | -12,181 | -0,121 | 19,80 | -0,064                      | -2,770 | -0,086   | 2,06  | -0,004                  | -2,168  | -0,069 | 4,00  | -1,870              | -11,678 | -0,13    | 2,89 |
|                        | Αριθμός των διαδρομών εντός μιας μέρας                  | -2,036                     | -2,099  | -0,006 | 1,00  |                             |        |          |       | -0,001                  | -2,220  | -0,017 | 1,00  |                     |         |          |      |
|                        | Τα χρήματα που ξοδεύει για καύσιμα                      |                            |         |        |       | -0,031                      | -2,309 | -0,041   | 1,00  |                         |         |        |       |                     |         |          |      |
|                        | Φύλο οδηγού   |                            |         |        |       |                             |        |          |       |                         |         |        |       | -0,646              | 4,262   | -0,040   | 1,00 |
| Συνεχείς               | Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου                | 6,648                      | 14,124  | 0,0002 | 1,00  |                             |        |          |       | 0,002                   | 6,002   | 0,0003 | 1,00  |                     |         |          |      |
|                        | Μέσος όρος απόστασης από την αριστερή πλευρά του        | -19,485                    | -2,644  | 0,0006 | 2,93  |                             |        |          |       |                         |         |        |       |                     |         |          |      |
|                        | Τυπική απόκλιση πλευρικής επιπάχυνσης                   | 8,583                      | 3,326   | 0,0003 | 1,29  |                             |        |          |       |                         |         |        |       |                     |         |          |      |
|                        | Χρόνος μέχρι την υπέρβαση της οδικής συνοριακής γραμμής |                            |         |        |       | 0,00005                     | 2,689  | 0,000001 | 1,00  |                         |         |        |       |                     |         |          |      |
|                        | Τυπική απόκλιση ποσοστού χρήσης πεντάλ φρένου           |                            |         |        |       | 0,012                       | 4,284  | 0,0002   | 25,50 |                         |         |        |       |                     |         |          |      |
|                        | Ίχνος του οχήματος από τη μέση του δρόμου (m)           |                            |         |        |       |                             |        |          |       | -0,009                  | -2,120  | -0,002 | -4,50 | -0,874              | -2,374  | -0,0006  | 1,00 |
|                        | Μέσος όρος ποσοστού χρήσης πεντάλ συμπλέκτη             |                            |         |        |       |                             |        |          |       |                         |         |        |       | -0,095              | -10,987 | -0,00006 | 9,20 |
| R2                     |   | 0,836                      |         |        |       | 0,625                       |        |          |       | 0,638                   |         |        |       | 0,784               |         |          |      |



## Συμπεράσματα (1/2)

Με την οικολογική συμπεριφορά μειώνονται οι πιθανότητες ο οδηγός να εμπλακεί σε οδικό ατύχημα, ενδεχομένως διότι διατηρεί πιο χαμηλές ταχύτητες και κατά συνέπεια, έχει περισσότερο χρόνο αντίδρασης και πέδησης.

Με την οικολογική συμπεριφορά μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου. Βασικός κανόνας της οικολογικής οδήγησης είναι η εναρμόνιση της ταχύτητας του οχήματος με την ταχύτητα των άλλων οδηγών. Αποφεύγονται οι επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις του οχήματος και κατά συνέπεια η αύξηση της χρήσης του πεντάλ γκαζιού.

Με την οικολογική συμπεριφορά μειώνεται η εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στην αποφυγή έντονων εναλλαγών στην ταχύτητα του οχήματος και κατά συνέπεια στην αύξηση της χρήσης του πεντάλ γκαζιού.



## Συμπεράσματα (2/2)

Ο οδηγός που τείνει να οδηγεί προς τη δεξιά πλευρά του οδοστρώματος πιθανώς παρουσιάζει πιο προσεκτικό προφίλ οδήγησης και κατά συνέπεια μειώνει την εκπομπή των ρύπων (NOx) στην ατμόσφαιρα και την κατανάλωση καυσίμου.

Το ποσοστό χρήσης του πεντάλ φρένου αυξάνει την εκπομπή ρύπων (CO<sub>2</sub>, NOx) στην ατμόσφαιρα, ενδεχομένως διότι ο οδηγός που κάνει περισσότερο απότομη χρήση του πεντάλ φρένου, κάνει επίσης περισσότερο απότομη χρήση του πεντάλ γκαζιού για την κίνηση του οχήματος του.

Αντίθετα, το ποσοστό χρήσης πεντάλ συμπλέκτη μειώνει την κατανάλωση καυσίμου, καθώς ενδεχομένως οδηγεί σε καλύτερη σχέση του κιβωτίου ταχυτήτων και κατά συνέπεια σε καλύτερη απόδοση του κινητήρα και χαμηλότερες στροφές.

Η αποδοχή του οδηγού στη μείωση των ορίων ταχύτητας δείχνει πιθανώς ότι έχει αυξημένη οδηγική συνείδηση, δηλαδή ότι είναι προσεκτικός οδηγός με χαμηλότερες ταχύτητες οδήγησης με αποτέλεσμα να μειώνεται και η πιθανότητα να εμπλακεί σε οδικό ατύχημα.



# Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Συμμετοχή **μεγαλύτερου αριθμού συμμετεχόντων** στην διεξαγωγή του πειράματος.
- Συμμετοχή **όλων των ηλικιακών ομάδων**, με σκοπό να έχουμε μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων.
- Οδήγηση σε **διαφορετικές συνθήκες** (π.χ. περιορισμένη ορατότητα, ολισθηρό οδόστρωμα, κακή ποιότητα οδοστρώματος).
- Αξιοποίηση **διαφορετικών μεθόδων στατιστικής ανάλυσης** από εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των δεδομένων.
- Διερεύνηση της επιρροής του οικολογικού τρόπου οδήγησης στην εξοικονόμηση καυσίμων και στη μείωση των καυσαερίων ανάλογα με τον **τύπο καυσίμου που χρησιμοποιεί το όχημα** (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρικό ρεύμα ή συνδυασμός αυτών).
- Αξιοποίηση των **σύγχρονων έξυπνων συστημάτων ελέγχου** του οχήματος για διερεύνηση της επιρροής τους στην οικολογική οδήγηση.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

**Παναγιώτα Κουρεντή**  
Επιβλέπων | Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΤΗΣ  
ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ  
ΣΤΟ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ  
ΠΡΟΣΟΜΙΩΤΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

**Παναγιώτα Κουρεντή**  
Επιβλέπων | Γιώργος Γιαννής,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023