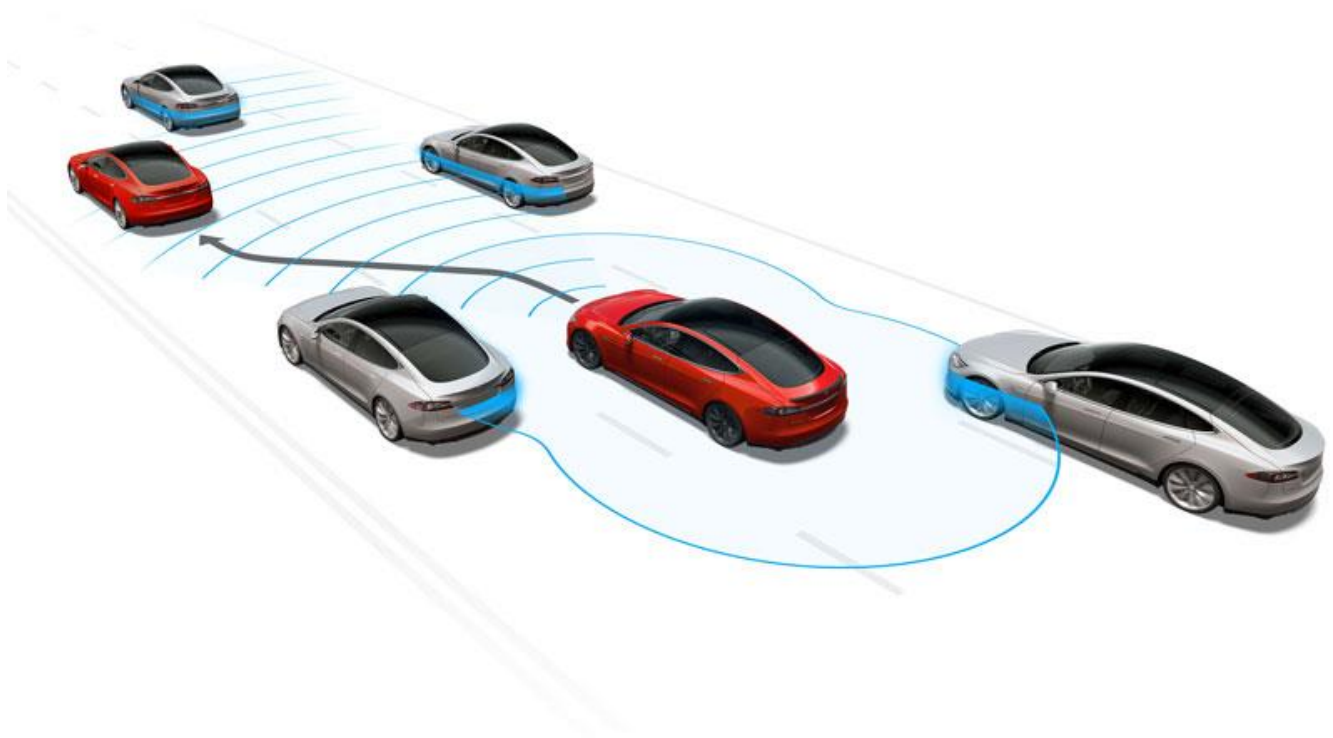




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

## Διερεύνηση της τροχιάς οχημάτων κατά τη διαδικασία προσπέρασης με χρήση προσομοιωτή οδήγησης

---



Αλβέρτης Αλέξανδρος  
Επιβλέπων: Μαυρομάτης Στέργιος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

---

Αθήνα, Ιούλιος 2020





## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Σ. Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την υποστήριξη του καθώς και για την εκπληκτική συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια της. Επιπλέον, οφείλω να τον ευχαριστήσω για τη σωστή καθοδήγηση αλλά και για τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής: κ. Λοΐζο, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και κ. Γ. Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στη σχολή.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Βασίλη Ματράγκο, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Χωρίς τη βοήθειά του δε θα τα είχα καταφέρει ως εδώ.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα , Ιούλιος 2020

Αλβέρτης Αλέξανδρος

## Περίληψη

# Διερεύνηση της τροχιάς οχημάτων κατά τη διαδικασία προσπέρασης με χρήση προσομοιωτή οδήγησης

Αλβέρτης Αλέξανδρος

Επιβλέπων: Μαυρομάτης Στέργιος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η **προτυποποίηση του ελιγμού προσπέρασης** συλλέγοντας δεδομένα από προσομοιωτή οδήγησης και αναλύοντας τα με μαθηματικά μοντέλα, ώστε να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομα οχήματα. Για την ανάλυση πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στον **προσομοιωτή** από οδηγούς, οι οποίοι κατέχουν δίπλωμα οδήγησης κατηγορίας Β. Τα χαρακτηριστικά των οδηγών κατηγοριοποιήθηκαν βάση ηλικίας, γένους και οδηγικής εμπειρίας, με βάση τη διάρκεια που κατέχουν το δίπλωμα, αφού πρώτα συμπληρώθηκε ανώνυμο ερωτηματολόγιο από τον κάθε χρήστη. Σε δεύτερο χρόνο αναλύθηκαν τα δεδομένα των δοκιμών που έδωσε ο προσομοιωτής με χρήση υπολογιστικού φύλου Excel, με τη μέθοδο του **γωνιακού διαγράμματος**. Για την προτυποποίηση, εφαρμόστηκε μοντέλο **γραμμικής και λογαριθμικής παλινδρόμησης**, συνδυάζοντας κατάλληλα τα επεξεργασμένα δεδομένα με χρήση της πλατφόρμας **R Studio**. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των **ακτινών καμπυλότητας της τροχιάς προσπέρασης**, με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του οχήματος, καθώς και με τα δυναμικά χαρακτηριστικά των οχημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία προσπέρασης.

Λέξεις κλειδιά: **Ελιγμός προσπέρασης, Προτυποποίηση, Προσομοιωτής οδήγησης, Γωνιακό Διάγραμμα, Γραμμική παλινδρόμηση**

## Abstract

# Investigation of vehicle trajectory during overtaking process using driving simulator

Alvertis Alexandros

Supervisor: Mavromatis Stergios, Assistant Professor NTUA

The objective of this Diploma thesis is to **model the overtaking maneuver**, collecting data from **driving simulator** and analysing those using mathematical formulas, so they can be used in software of autonomous vehicles. The later analysis was staged through tests on the simulator by drivers who hold a category B driving license. The characteristics of the drivers were sorted by age, gender, and driving experience, based on the years they own a driving license, after an anonymous questionnaire was completed by each user. In second phase, the data from the simulations were analysed using spread sheet Microsoft Excel, by **angular diagram**. To model the overtake, **a linear and log - linear regression** model was applied, combining the processed data appropriately using the **R-Studio** platform. The results indicate a large correlation between the radiuses of curvature of the overtaking track, with the geometric characteristics of the vehicle track, as well as with the dynamic characteristics of the vehicles that take part in the overtaking process.

Key words: **Overtaking maneuver, Driving Simulator, Modelling, Angular Diagram,, Linear Regression**

**ΚΕΦΑΛΑΙΑ**

<b>1. Εισαγωγή .....</b>	<b>7</b>
1.1 Γενική Ανασκόπηση.....	7
1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας.....	9
1.3 Μεθοδολογία.....	9
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	12
<b>2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....</b>	<b>15</b>
2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2 Συναφείς έρευνες και Μεθοδολογίες.....	15
2.2.1 Analysis of Dynamic Available Passing Sight Distance near Right-turn Horizontal Curves during Overtaking Using LiDAR Data (2019).....	15
2.2.2 Modeling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking (2014).....	17
2.2.3 Passing Experiment on Two-Lane Rural Highways (1987).....	19
2.2.4 Trajectory planning and combined control design for critical high-speed lane change manoeuvres (2019)..	20
2.2.5 Passing sight distance assessment through the interaction of road – vehicle parameters (2019).....	21
2.2.6 Modeling and Intelligent Control System Design for Overtaking Maneuver in Autonomous Vehicles.....	22
2.2.7 Evaluation of passing process on two-lane rural highways using a methodology based on video data (2011).....	23
2.2.8 Functional and Acceptance of Overtaking Assistant Design Tested in Driving Simulator Experiment (2006).....	24
2.2.9 Autonomous Highway Overtaking (2018).....	26
2.3 Σύνοψη Βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	28
<b>3 Θεωρητικό υπόβαθρο.....</b>	<b>29</b>
3.1 Εισαγωγή.....	29

3.2 Προσομοιωτής οδήγησης.....	29
3.3 Γωνιακό διάγραμμα.....	30
3.4 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης.....	32
3.4.1 Γραμμική Παλινδρόμηση.....	32
3.4.2 Λογαριθμική Γραμμική Παλινδρόμηση.....	33
3.5 Κριτήρια αποδοχής Μοντέλου.....	35
<b>4 Συλλογή Στοιχείων.....</b>	<b>40</b>
4.1 Εισαγωγή.....	40
4.2 Μέθοδος συλλογής δεδομένων.....	40
<b>5 Εφαρμογή μεθοδολογίας και επεξεργασία δεδομένων.....</b>	<b>48</b>
5.1 Εισαγωγή.....	48
5.2 Χάραξη τροχιάς μέσω προσομοιωτή οδήγησης.....	48
5.2.1 Διαδικασία καταγραφής δεδομένων από λογισμικό προσομοιωτή οδήγησης.....	50
5.3 Επεξεργασία ακτινών τροχιάς προσπέρασης μέσω γωνιακού διαγράμματος.....	51
5.3.1 Αποτελέσματα.....	53
5.4 Στατιστικό Πρότυπο Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	60
5.4.1 Εισαγωγή δεδομένων σε R Studio.....	60
5.4.2 Ο Κώδικας.....	61
5.4.3 Στατιστικός έλεγχος μοντέλου.....	68
5.4.4 Αποτελέσματα.....	69
<b>6 Συμπεράσματα – προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....</b>	<b>73</b>
6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	73
6.2 Συμπεράσματα.....	75
6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	76
<b>7 Βιβλιογραφικές αναφορές.....</b>	<b>78</b>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	87



## **Ευρετήριο Πινάκων**

Πίνακας 3.1 Κρίσιμες τιμές του συντελεστή $t$ της κατανομής Student.....	36
Πίνακας 3.2 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου.....	39
Πίνακας 5.1 Πίνακας συλλεγόμενων μεταβλητών.....	50
Πίνακας 5.2 Τυπική απόκλιση ακτινών.....	55
Πίνακας 5.3 Μέσες τιμές εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών.....	72
Πίνακας 6.1 Συγκεντρωτικός πίνακας Στατιστικών μοντέλων.....	74

## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Διάφορα επίπεδα αυτοματισμού.....	7
Σχήμα 1.2 Τροχιά Προσπέρασης και οι τρεις φάσεις της.....	8
Σχήμα 1.3 Βήματα της Διπλωματικής εργασίας.....	12
Σχήμα 2.1 Προσπέραση κοντά σε δεξιά στροφή.....	16
Σχήμα 2.2 Τρεις φάσεις ελιγμού προσπέρασης δύο οχημάτων.....	17
Σχήμα 2.3 Σχέδιο του ελιγμού προσπέρασης.....	18
Σχήμα 2.4 Περιγραφή της πλευρικής απόστασης μεταξύ δύο οχημάτων.....	20
Σχήμα 3.1 Γωνιακό διάγραμμα καμπύλης αναφοράς.....	31
Σχήμα 3.2. Ακτίνες καμπυλότητας τροχιάς προσπέρασης.....	32
Σχήμα 3.3 Μορφή γραμμικού μοντέλου.....	33
Σχήμα 3.4 Γράφημα διασποράς τιμών μεταβλητής $x$ .....	34
Σχήμα 3.5 Γράφημα διασποράς τιμών $\log x$ του σχήματος 3.4.....	34
Σχήμα 3.6 Μαθηματικές σχέσεις λογαριθμικών γραμμικών μοντέλων και επιρροή ανεξάρτητων μεταβλητών.....	35
Σχήμα 4.1 Πλήθος ανδρών και γυναικών.....	41
Σχήμα 4.2 Μέσες τιμές ηλικίας.....	41
Σχήμα 4.3 Μέσες τιμές οδηγικής εμπειρίας.....	42
Σχήμα 4.4 Κατανομή ηλικιών.....	42
Σχήμα 4.5 Κατανομή Φύλου.....	43
Σχήμα 4.6 Κατανομή διάρκειας κατοχής διπλώματος.....	43
Σχήμα 4.7 Κατανομή οδηγικής εμπειρίας σε έτη.....	43
Σχήμα 4.8 Κατανομή διάρκειας οδήγησης σε ημέρες ανά εβδομάδα, σε αστικό περιβάλλον.....	44
Σχήμα 4.9 Χιλιόμετρα που διανύονται εβδομαδιαία σε αστικό περιβάλλον.....	44
Σχήμα 4.10 Κατανομή διάρκειας οδήγησης σε ημέρες ανά μήνα, σε υπεραστικό περιβάλλον.....	44
Σχήμα 4.11 Χιλιόμετρα που διανύονται μηνιαία σε υπεραστικό περιβάλλον.....	45
Σχήμα 4.12 Κατανομή διάρκειας οδήγησης σε ημέρες ανά έτος, σε υπεραστικό περιβάλλον.....	45
Σχήμα 4.13 Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε αστικό περιβάλλον.....	46
Σχήμα 4.14 Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον.....	46
Σχήμα 4.15 Αξιολόγηση ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον.....	46
Σχήμα 4.16 Συχνότητα υπέρβασης ορίου ταχύτητας κατά την προσπέραση άλλου οχήματος σε υπεραστικό περιβάλλον.....	47
Σχήμα 4.17 Συχνότητα λήψης προστίμου.....	47
Σχήμα 4.18 Κατανομή ατυχημάτων με υλικές ζημιές ή παθόντες.....	47
Σχήμα 5.1 Μέσες τιμές ακτινών για κάθε ταχύτητα μελέτης.....	53
Σχήμα 5.2 Μέσοι όροι ανδρών και γυναικών.....	54
Σχήμα 5.3 Μέσες τιμές διαφοράς ταχύτητας οχήματος χρήστη με προπορευόμενο όχημα.....	56
Σχήμα 5.4 Μέσες τιμές ακτινών.....	57
Σχήμα 5.5 Μέσες τιμές επιταχύνσεων.....	58
Σχήμα 5.6 Μέσες τιμές ταχυτήτων για κάθε ακτίνα.....	58
Σχήμα 5.7 Μέσες τιμές Headway οχήματος χρήστη σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα.....	59
Σχήμα 5.8 Μήκη τόξων που διανύθηκαν ανά ακτίνα και μήκος ζώνης προσπέρασης.....	59
Σχήμα 5.9 Boxplots Ακτινών, Μήκη Τόξων, Headway.....	63
Σχήμα 5.10 Boxplots επιταχύνσεων, ταχυτήτων, διαφοράς ταχυτήτων και μήκος ζώνης προσπέρασης.....	63
Σχήμα 5.11 Οριζόντια μορφή boxplot και οι τιμές που απεικονίζει.....	64

Σχήμα 5.12 Διαγράμματα Adjuster  $R^2$  ,  $R^2$  ..... 67

## **Ευρετήριο Εικόνων**

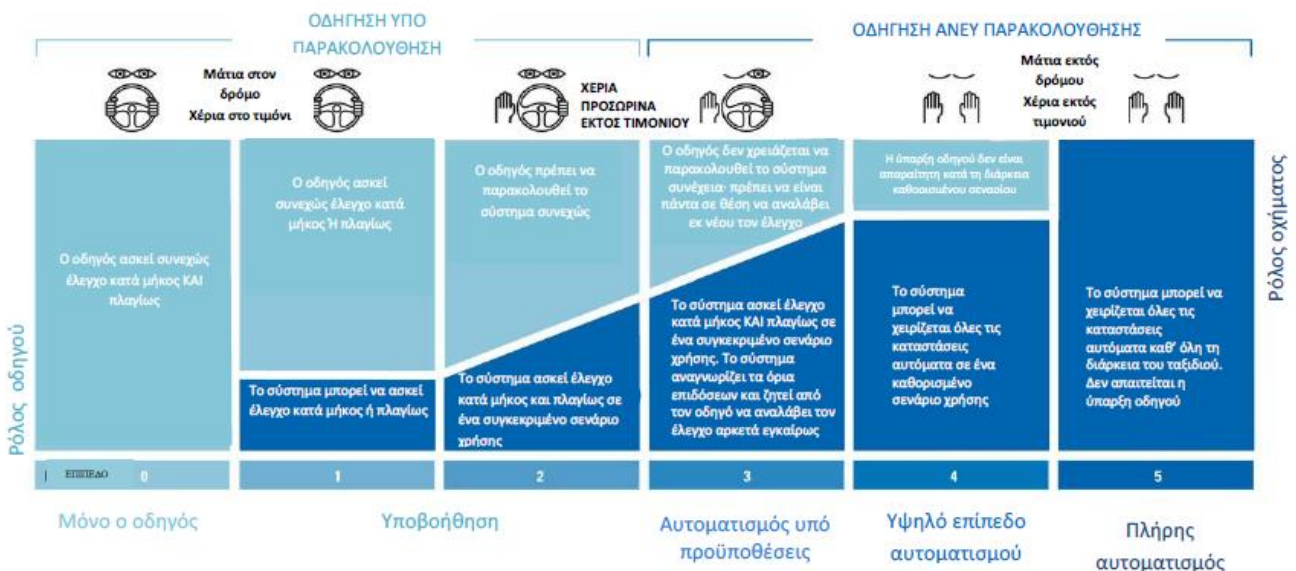
Εικόνα 2.1 Σύστημα MTL, Καρέ από τη διαδικασία της προσπέρασης.....	24
Εικόνα 2.2 Περιβάλλον της προσπέρασης και απεικόνιση της λειτουργίας.....	26
Εικόνα 3.1 Προσομοιωτής οδήγησης Dr. Foerst F12PF-3A88-NR.....	29
Εικόνα 3.2 Θέση οδηγού στον προσομοιωτή οδήγησης.....	30
Εικόνα 3.4 Στατιστική σημαντικότητα μεταβλητών. Τιμή p-Value.....	38
Εικόνα 5.1 Εκτέλεση πειράματος στον προσομοιωτή οδήγησης.....	49
Εικόνα 5.2 Τροχιά προσπέρασης στο γωνιακό διάγραμμα.....	51
Εικόνα 5.3 Υπολογιστικό φύλλο γωνιακού διαγράμματος.....	52
Εικόνα 5.4 Σετ δεδομένων για στατιστική ανάλυση.....	60
Εικόνα 5.5 Τελική μορφή κώδικα σε R-Studio.....	61
Εικόνα 5.7 Μετατροπή δεδομένων σε λογαριθμικές τιμές.....	65
Εικόνα 5.8 Γινόμενα δεδομένων.....	65
Εικόνα 5.9 Μέρος του σετ δεδομένων.....	66
Εικόνα 5.10 Εντολή lm, Τελικό μοντέλο.....	67
Εικόνα 5.11 Μοντέλο R1.....	69
Εικόνα 5.12 Μοντέλο R2.....	70
Εικόνα 5.13 Μοντέλο R3.....	70
Εικόνα 5.14 Μοντέλο R4.....	71

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Γενική Ανασκόπηση

Οι υπεραστικοί οδοί **δύο λωρίδων κυκλοφορίας** έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό οδικών ατυχημάτων. Τα ατυχήματα που σχετίζονται με αστοχία κατά τη διαδικασία της προσπέρασης, όπως μετωπικές συγκρούσεις ή συγκρούσεις δύο οχημάτων διερχόμενα κατά την ίδια κατεύθυνση, είναι αυτά με τη μεγαλύτερη σοβαρότητα. Σύμφωνα με έρευνες (π.χ Sabey and Taylor, 1980) που πραγματοποιήθηκαν στη Μ. Βρετανία ο ανθρώπινος παράγοντας ευθύνεται στην συντριπτική πλειοψηφία των οδικών ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο 65% των περιπτώσεων υπήρξε αποκλειστικά υπεύθυνος ο άνθρωπος, ενώ στο 95% τα οδικά ατυχήματα οφείλονται σε αυτόν σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες.

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί σημαντικό ενδιαφέρον και ερευνητική δραστηριότητα αναφορικά με την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της οδήγησης. Η αξιοποίηση της κινητικότητας χωρίς οδηγό, όταν ενσωματωθεί πλήρως στο σύνολο του συστήματος μεταφορών, αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στην μείωση του αριθμού των θανάτων από οδικά ατυχήματα, στη μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τις μεταφορές και στον περιορισμό της συμφόρησης. Εντέλει, αυτό αναμένεται να οδηγήσει στην επίτευξη του λεγόμενου «Vision Zero» δηλαδή, μηδενικό αριθμό θανάτων από οδικά ατυχήματα έως το 2050 – ([12], 2018). Τα αυτοματοποιημένα οχήματα δεν είναι ακόμη έτοιμα να λειτουργήσουν **χωρίς ανθρώπινη επίβλεψη**. Μένουν ακόμη να επιλυθούν πολλές προκλήσεις τεχνικής φύσεως προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι το όχημα θα είναι πλήρως ικανό να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του, να κατανοεί και να αναλαμβάνει τις κατάλληλες ενέργειες, όπως ένας κανονικός οδηγός. Τα διάφορα επίπεδα αυτοματισμού περιγράφονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.1 Διάφορα επίπεδα αυτοματισμού (πηγή: Society of Automotive Engineers – SAE) [12]

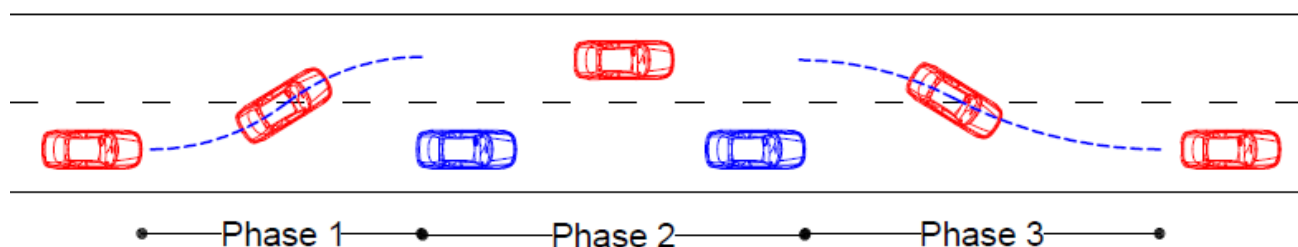
Στην αγορά αυτή τη στιγμή διατίθενται οχήματα με επίπεδο αυτοματισμού 1 και 2 (Σχήμα 1.1), ενώ ήδη πραγματοποιούνται δοκιμές σε αυτοματοποιημένα οχήματα υψηλότερων επιπέδων αυτοματισμού, αλλά με διάφορους περιορισμούς (επίπεδα 3 και 4).

Στη βιβλιογραφία υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ερευνών που σχετίζονται με τη διαδικασία της προσπέρασης, στις οποίες έχουν δημιουργηθεί μοντέλα που σχετίζονται με τις παραμέτρους της προσπέρασης. Σε πολλές από αυτές, συλλέχθηκαν δεδομένα ελιγμών προσπέρασης χρησιμοποιώντας το όχημα που εκτελεί την προσπέραση, είτε εξοπλισμένο με εργαλεία συλλογής δεδομένων, είτε με βιντεοσκόπηση, όπου ο στόχος ήταν να εκτιμηθεί το συνολικό μήκος της προσπέρασης, χρονικές διάρκειες επιμέρους φάσεων και ταχύτητες. Επιπλέον, ορισμένοι συγγραφείς χρησιμοποίησαν προσομοιωτές οδήγησης για να εξάγουν συμπεράσματα. Τα πλεονεκτήματα των πειραμάτων προσομοίωσης, εκτός από την παροχή δημογραφικών πληροφοριών των οδηγών, είναι ότι οι αξιολογήσεις παρέχουν πολύ ακριβή δεδομένα που σχετίζονται με τον ελιγμό προσπέρασης.

Η προσπέραση αυτόνομων οχημάτων αποτελεί ένα από τα πιο σύνθετα προβλήματα ελιγμών για την αυτοματοποίηση των οχημάτων. Σε σύγκριση με την παραμονή σε μία λωρίδα και τις αλλαγές λωρίδων, η προσπέραση αποτελείται από τη σύνθεση τριών φάσεων:

- I. Αλλαγή λωρίδας
- II. Οδήγηση σε μία συγκεκριμένη τροχιά, παράλληλη στο όχημα που προσπερνιέται, στη διπλανή λωρίδα
- III. Επαναφορά στην αρχική λωρίδα, η οποία πρέπει να είναι προγραμματισμένη και συντονισμένη

Οι τρεις φάσεις φαίνονται στο Σχήμα 1.2 παρακάτω



Σχήμα 1.2 Τροχιά Προσπέρασης και οι τρεις φάσεις της

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε διερεύνηση της διαδικασίας προσπέρασης μέσω πειραμάτων σε προσομοιωτή οδήγησης. Τα πειράματα εκτελέστηκαν από κανονικούς οδηγούς νεαρής ηλικίας (20-27 ετών) και τα χαρακτηριστικά των οδηγών καταγράφηκαν μέσω ερωτηματολογίου. Σκοπός της διερεύνησης είναι η προτυποποίηση του ελιγμού προσπέρασης ώστε να αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα της έρευνας, τουλάχιστον σε αρχικό στάδιο, για χρήση σε οχήματα αυτοματοποιημένης κινητικότητας επιπέδου 3 και άνω (Σχήμα 1.1) .

## 1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Η ασφάλεια των χρηστών του οδικού δικτύου καθώς και η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν μείζονα θέματα στην καθημερινότητα. Η χρήση αυτόνομων οχημάτων σκοπεύει στην εξάλειψη των προαναφερθέντων ζητημάτων. **Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προτυποποίηση της τροχιάς της προσπέρασης για χρήση σε αυτόνομα οχήματα.** Για το σκοπό αυτό, μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο οι χρήστες – οδηγοί αρχίζουν και ολοκληρώνουν τη διαδικασία της προσπέρασης σε **προσομοιωτή οδήγησης**. Συγκεκριμένα, λήφθηκαν υπ' όψιν οι παράμετροι:

- Ταχύτητα
- Επιτάχυνση-επιβράδυνση
- Συνολικό μήκος της προσπέρασης
- Αποστάσεις του οχήματος χρήστη με το όχημα που προσπερνιέται στην αρχή και το πέρας της διαδικασίας προσπέρασης
- Στοιχεία του οχήματος στην αρχή και στο πέρας της διαδικασίας προσπέρασης η οποία αποτελείται από **επάλληλα τόξα αντίρροπης καμπυλότητας**.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, απαιτείται η ανάπτυξη και η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων. Επομένως επιμέρους στόχο της Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η επιλογή των κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, που θα περιγράψουν και θα ποσοτικοποιούν επαρκώς την τροχιά των οχημάτων κατά τη διαδικασία της προσπέρασης.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης και τα συμπεράσματα της εργασίας, αποτελούν μία πρώτη προσέγγιση στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας της προσπέρασης και προσφέρονται για περαιτέρω αξιοποίηση από ερευνητές με στόχο την ανάλυση επιπλέον παραμέτρων και την ανάπτυξη πιο σύνθετων και ολοκληρωμένων διαδικασιών οι οποίες να εφαρμόζονται σε μεγαλύτερα επίπεδα αυτοματισμού.

## 1.3 Μεθοδολογία

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε έρευνα στο διαδίκτυο, ώστε να υπάρχει εξοικείωση με το θέμα της διπλωματικής εργασίας, μέσα από άλλες μελέτες αντιστοίχου περιεχομένου. Μέσα από τη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** συλλέχθηκαν πληροφορίες και καταγράφηκαν οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση των εκάστοτε εργασιών. Επίσης, αποκτήθηκε μια πρώτη εικόνα για τη δομή που θα έχει η παρούσα διπλωματική εργασία καθώς επίσης και τη μεθοδολογία που θα ακολουθήσει για την καλύτερη στατιστική ανάλυση των δεδομένων και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Σε πρώτη φάση αποφασίστηκε η μέθοδος με την οποία θα γίνει η **συλλογή των στοιχείων**. Για την εκπόνηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκε **προσομοιωτής οδήγησης**, όπου συμμετείχαν οδηγοί νεαρής ηλικίας (20-27 ετών) και εμπειρίας 4,5 ετών κατά μέσο όρο. Στις μετρήσεις συμμετείχαν 31 χρήστες, δείγμα το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό για τους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Το πρώτο βήμα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας δοκιμής του κάθε χρήστη, ήταν η συμπλήρωση **ερωτηματολογίου**. Στο ερωτηματολόγιο τέθηκαν ερωτήματα που αφορούσαν τις κύριες οδηγικές συνήθειες του χρήστη (χιλιόμετρα που οδηγεί την εβδομάδα σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον), δημογραφικά στοιχεία (γένος, ηλικία) καθώς και η οδηγική εμπειρία του κάθε χρήστη ώστε να υπάρχει συνολική εικόνα για τα χαρακτηριστικά του δείγματος.

Στη συνέχεια, κάθε οδηγός πραγματοποίησε τέσσερις δοκιμές στον **προσομοιωτή οδήγησης**. Το σενάριο οδήγησης ήταν το ίδιο, αλλά κάθε φορά άλλαζε το όριο ταχύτητας, δηλαδή άλλαζε η μέγιστη ταχύτητα την οποία μπορούσαν να αναπτύξουν οι συμμετέχοντες. Η πρώτη δοκιμή ήταν δοκιμαστική ώστε να εξοικειωθεί ο χρήστης με την οδήγηση σε προσομοιωτή. Οι επόμενες τρεις δοκιμές που ακολούθησαν ήταν αυτές από τις οποίες αντλήθηκαν τα δεδομένα, ώστε να επεξεργαστούν για την ολοκλήρωση της μελέτης. Το λογισμικό του προσομοιωτή οδήγησης μετά το πέρας κάθε μίας εκ των τριών δοκιμών κατέγραφε σε αρχείο txt διάφορα δεδομένα. Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής: Χρονική στιγμή, χιλιομετρική θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση, απόσταση από πορευμένο όχημα κτλ.

Αφού ολοκληρώθηκαν οι δοκιμές από τους χρήστες, πραγματοποιήθηκε η **εφαρμογή της μεθοδολογίας και επεξεργασίας δεδομένων**. Με τη χρήση **γωνιακού διαγράμματος**, μία μέθοδο με την οποία υπολογίζονται οι **ακτίνες καμπυλότητας** στην οριζοντιογραφία από τις συντεταγμένες της τροχιάς του οχήματος, υπολογίστηκαν, για κάθε προσπέραση, **τα στοιχεία των αντίρροπων τόξων που προκύπτουν κατά τον ελιγμό προσπέρασης**, καθώς και διάφοροι μέσοι όροι δεδομένων για κάθε μία από τις ακτίνες. Στο Σχήμα 1.2 φαίνονται με μπλε γραμμή τα αντίρροπα τόξα. Για κάθε προσπέραση υπολογίζονται τέσσερις ακτίνες, αποτελούμενες από ένα ζεύγος τιμών και ακτινών πριν και ένα μετά τη διαδικασία. Η τροχιά προσπέρασης έχει τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 1.2.

Συνολικά αναλύθηκαν **211** ελιγμοί προσπέρασης, εκ των οποίων ορισμένοι αποκλείστηκαν από τα δεδομένα της μελέτης βάση συγκεκριμένων κριτηρίων που αναφέρονται σε επόμενο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας καταγράφηκαν σε πίνακα με τη χρήση υπολογιστικού φύλλου **Google Sheet**.

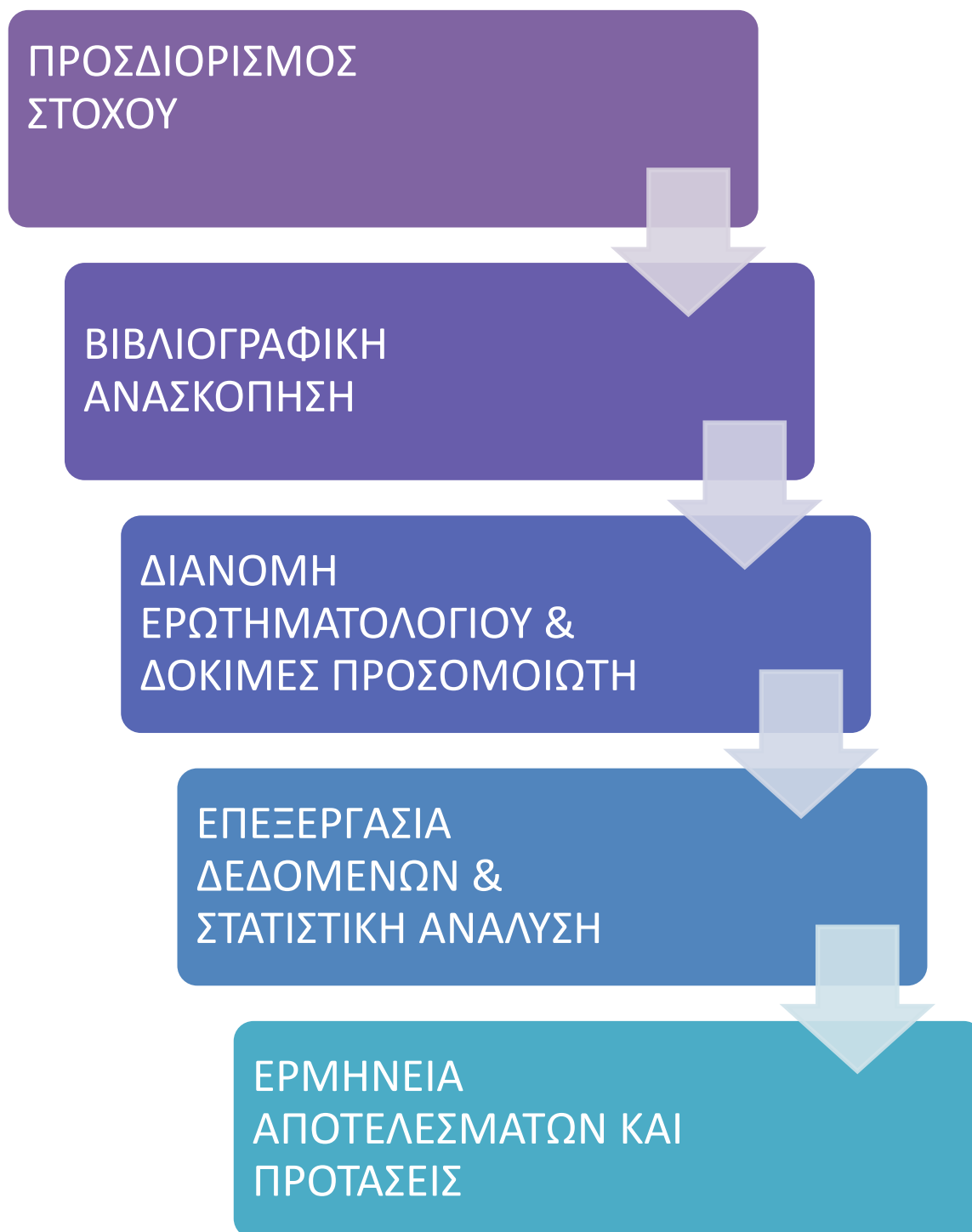
Έπειτα έγινε η **στατιστική επεξεργασία** με χρήση της πλατφόρμας **R Studio**. Τα στοιχεία κωδικοποιήθηκαν με κατάλληλο τρόπο ώστε να υπάρχει συμφωνία με τις απαιτήσεις του λογισμικού. Τα δεδομένα κατηγοριοποιήθηκαν βάση της ταχύτητας μελέτης. Ανάλυση και προτυποποίηση πραγματοποιήθηκε όμως λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό δείγμα χωρίς διαχωρισμό σε ταχύτητα μελέτης. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το **γραμμικό μοντέλο με εξαρτημένες μεταβλητές τις ακτίνες καμπυλότητας R1,R2,R3,R4**. Ως **ανεξάρτητες μεταβλητές ανά ακτίνα**



καμπυλότητας χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές: των ταχυτήτων, των επιταχύνσεων, της διαφοράς ταχύτητας μεταξύ του οχήματος που προσπερνάει και αυτού που προσπερνιέται, του μήκους των κυκλικών τροχιών, καθώς και των αποστάσεων των δύο οχημάτων. Όμοια, αναπτύχθηκε λογαριθμικό μοντέλο, αφού πρώτα μετατράπηκαν τα δεδομένα σε λογαριθμικά.

Μετά την αξιολόγηση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για τον βαθμό και τον τύπο της επιρροής των εκάστοτε ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το υπό εξέταση πρόβλημα και διατυπώθηκαν αξιολογες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

### 1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας



Σχήμα 1.3 : Βήματα της Διπλωματικής εργασίας

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την εισαγωγή της Διπλωματικής εργασίας και έχει σκοπό να παρουσιάσει στον αναγνώστη το γενικότερο πλαίσιο του αντικειμένου με το οποίο ασχολείται. Αρχικά, γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος. Έπειτα παρουσιάζεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας που είναι η προτυποποίηση της τροχιάς της προσπέρασης. Στη συνέχεια, ακολουθεί αναφορά των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της μελέτης. Τα βήματα είναι τα εξής:

1. Δοκιμές στον προσομοιωτή οδήγησης
2. Επεξεργασία δεδομένων με χρήση γωνιακού διαγράμματος
3. Στατιστική ανάλυση και προτυποποίηση της τροχιάς της προσπέρασης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, τα οποία προέκυψαν από την αναζήτηση και την καταγραφή ερευνών (δημοσιευμένα άρθρα, διδακτορικές διατριβές, βιβλία, πρακτικά επιστημονικών οργανισμών κ.α.), με αντικείμενο την μελέτη της προσπέρασης και του διαθέσιμου μήκους ορατότητας. Παρουσιάζονται μέθοδοι ανάλυσης της συμπεριφοράς του οχήματος σε διάφορες οδηγικές συνθήκες. Για το σκοπό αυτό, εξετάζονται εργασίες από την Ελλάδα και το εξωτερικό, έρευνες που έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά, βιβλία, άρθρα, πρακτικά συνεδρίων με σκοπό την καλύτερη εξοικείωση του αναγνώστη με το ζήτημα. Επίσης, αναφέρονται οι πηγές από τις οποίες συλλέχθηκαν πληροφορίες για τη μέθοδο χρήσης του προσομοιωτή οδήγησης. Συνοπτικά, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι και τα αποτελέσματα της προτυποποίησης του ελιγμού της προσπέρασης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

Το θέμα του κεφαλαίου αυτού είναι το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Περιέχει δηλαδή αναλυτικά πληροφορίες από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία οι οποίες ήταν καθοριστικές για τη συγκρότηση της όλης πορείας της εργασίας κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης έρευνας. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν κυρίως στο γνωσιολογικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική, η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων, η ανάλυση καθώς επίσης η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Στην αρχή του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του προσομοιωτή οδήγησης και μερικές από τις λειτουργίες του. Ακόμα, αναφέρονται η χρησιμότητα του γωνιακού διαγράμματος στην ανάλυση και τέλος παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες της στατιστικής και διάφορες παλινδρομήσεις.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει τη συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της έρευνας. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με χρήση προσομοιωτή οδήγησης από πραγματικούς οδηγούς. Επιλέχθηκε δείγμα νεαρής ηλικίας με κατοχή διπλώματος κατηγορίας

Β. Επίσης, οι οδηγοί συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο που αφορούσε δημογραφικά χαρακτηριστικά καθώς και οδηγικές συνήθειες.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της μεθοδολογίας και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν. Παρουσιάζεται δηλαδή, το πείραμα για τη συλλογή δεδομένων, η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν, καθώς και η πορεία της στατιστικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε. Αναλυτικότερα, γίνεται αναφορά στις δοκιμές στον προσομοιωτή οδήγησης και τη διαδικασία τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο επεξεργάστηκαν τα δεδομένα στο γωνιακό διάγραμμα, και τέλος αναφέρεται η κωδικοποίηση των δεδομένων ώστε να εισαχθούν στην πλατφόρμα R-Studio, με στόχο τη στατιστική ανάλυση και τη προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης. Τα μαθηματικά μοντέλα προέκυψαν από γραμμική παλινδρόμηση και λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση. Το εν λόγω μοντέλο, εκφράζει ποιες παράμετροι επηρεάζουν την ακτίνα της εκάστοτε καμπύλης που μελετάται. Τέλος, γίνεται μία πρώτη καταγραφή των αποτελεσμάτων ούτως ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα από την στατιστική επεξεργασία.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται προσπάθεια να διερευνηθούν αναλυτικά τα αποτελέσματα της έρευνας, ώστε να προκύψουν τα **τελικά συμπεράσματα**. Στην αρχή του κεφαλαίου γίνεται μία σύντομη περιγραφή του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας και της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, καθώς επίσης γίνεται και μία σύνοψη των συμπερασμάτων. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης. Τα συμπεράσματα αυτά δίνουν μια άποψη για την αυτόνομη οδήγηση και την προτυποποίηση της τροχιάς της προσπέρασης και με αυτό τον τρόπο συμβάλουν καθοριστικά στο να διαμορφωθούν οι διάφορες προτάσεις-λύσεις. Τελικά, δίνονται κάποιες προτάσεις και παράμετροι του προβλήματος, οι οποίες μπορούν να διερευνηθούν από μελλοντικές έρευνες.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει τις **βιβλιογραφικές αναφορές** της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ώστε να είναι εύκολη η εύρεση, από τον αναγνώστη, κάποιου συγκεκριμένου βιβλίου ή άρθρου σχετικού με το θέμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: *ΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: *Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΟΦΟΡΜΑ R-STUDIO*

## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** και περιλαμβάνει έρευνες αναφορικά με την προτυποποίηση της διαδικασίας προσπέρασης με διάφορες μεθοδολογίες όπου περιγράφονται. Συγκεκριμένα παρατίθενται έρευνες και δίνεται έμφαση στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την ανάλυση της τροχιάς της προσπέρασης. Για κάθε επιστημονική έρευνα παρατίθεται σύνοψη της, η οποία περιλαμβάνει το πλαίσιο της έρευνας, τη μεθοδολογία και τα βασικά αποτελέσματα της με έμφαση σε αυτά που σχετίζονται με τη Διπλωματική εργασία. Μέσω της ανασκόπησης αξιολογείται το σύνολο των συγκεκριμένων εργασιών και προσδιορίζονται τα χρήσιμα στοιχεία για την επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας, η οποία θα συντελέσει στην επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής εργασίας.

### 2.2 Συναφείς έρευνες και Μεθοδολογίες

Το υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τα βασικά σημεία των ερευνών οι οποίες σχετίζονται με την τροχιά ελιγμών προσπέρασης και με το μήκος ορατότητας προσπέρασης. Οι έρευνες αυτές βασίζονται σε πειραματικές εκτιμήσεις και υπολογιστικές μεθόδους. Σκοπός είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες έρευνες, οι οποίες έχουν παρεμφερές περιεχόμενο.

#### 2.2.1 Analysis of Dynamic Available Passing Sight Distance near Right-turn Horizontal Curves during Overtaking Using LiDAR Data ([1], 2019)

##### Στόχος:

Στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία ενός μοντέλου το οποίο μετράει το διαθέσιμο μήκος ορατότητας προσπέρασης (Available Passing Sight Distance (APSD)) κατά τη διάρκεια της προσπέρασης, χρησιμοποιώντας αισθητήρες φωτός και συστήματα ανίχνευσης (LiDAR : Light detection and ranging data). Η ανάλυση θεωρεί ένα προσπερνούμενο όχημα με προκαθορισμένες παραμέτρους, οι οποίες είναι: διαστάσεις του οχήματος, αρχική κατεύθυνση και διαφορά ταχύτητας με όχημα που το προσπερνάει. Το μοντέλο προσομοιώνει τη διαδικασία διέλευσης και εκτιμά το APSD θεωρώντας δύο τύπους εμποδίων: 1)Εμπόδια που σχετίζονται με το περιβάλλον της οδού, 2)Προσπερνούμενο όχημα, του οποίου η θέση είναι κρίσιμη ειδικά όταν βρίσκεται σε δεξιές στροφές.

##### Μεθοδολογία:

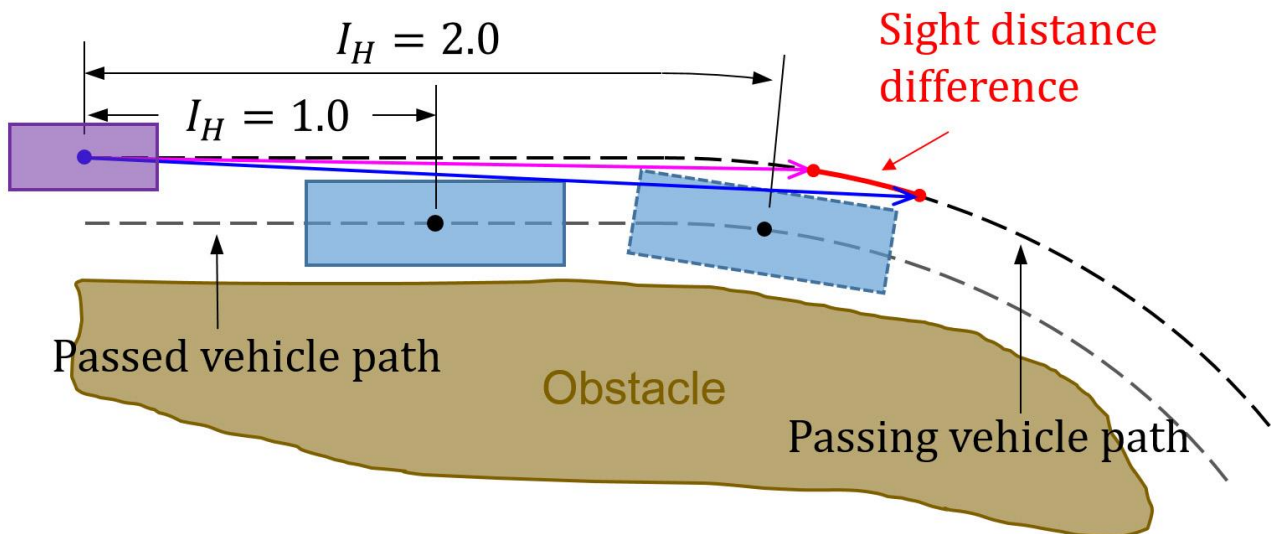
Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε πραγματικό περιβάλλον. Η μεθοδολογία της κατασκευής ενός δυναμικού APSD μοντέλου αποτελείται από τρία στοιχεία: την αναπαράσταση της τροχιάς, την αναπαράσταση του προσπερνούμενου οχήματος, καθώς και τον αλγόριθμο που υπολογίζει το APSD.

Η αναπαράσταση της τροχιάς αποτυπώνει τις τροχιές των διερχομένων και προσπερνούμενων οχημάτων. Οι διαδρομές αποτυπώνονται με σημεία, των οποίων οι συντεταγμένες μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας GNSS (Global Navigation Satellite System) τεχνολογία. Ο δέκτης GNSS βρισκόταν στην οροφή του οχήματος, τα οποία μετακινούνταν προσεκτικά στον άξονα της λωρίδας

κυκλοφορίας. Η πραγματική απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων σημείων της διαδρομής του οχήματος σχετίζεται με την ταχύτητα του μετρούμενου οχήματος.

Αποτελέσματα:

- Για τα οχήματα που προσπερνούν και βρίσκονται κοντά σε δεξιά οριζόντια καμπύλη, υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις για το όχημα που προσπερνάται. Αν το όχημα που προσπερνάει εισέρχεται σε δεξιά οριζόντια καμπύλη, το δυναμικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει ποσοτικά τις επιπτώσεις του περασμένου οχήματος στο διαθέσιμο πεδίο ορατότητας (APSD) και να εντοπίσει τους πιθανούς κινδύνους που σχετίζονται άμεσα με το APSD.
- Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι η θέση του οχήματος που προσπερνάει όταν ξεκινά η προσπέραση, οι διαστάσεις του περασμένου οχήματος, η αρχική απόσταση μεταξύ των οχημάτων και η διαφορά των ταχυτήτων μεταξύ των οχημάτων έχουν επίπτωση στο APSD. Για ελιγμό προσπέρασης από θέση κοντά σε στροφή, μεγάλη αρχική απόσταση μεταξύ των οχημάτων, μεγάλη ταχύτητα οχήματος από αντίθετη λωρίδα και μεγάλη ή πολύ μικρή διαφορά ταχυτήτων μπορεί να οδηγήσουν σε σφοδρές μετωπικές συγκρούσεις.



Σχήμα 2.1 Προσπέραση κοντά σε δεξιά στροφή ([1], 2019)

Η μελέτη επικεντρώνεται στο APSD αποκλειστικά και δεν υπολογίζει τα δυναμικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της προσπέρασης.

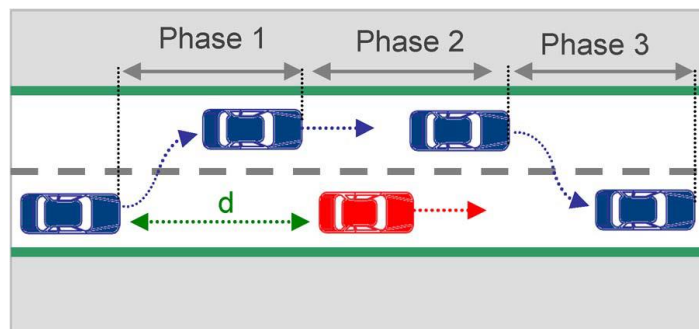
## 2.2.2 Modelling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking ([2], 2014)

### Στόχος:

Σκοπός της μελέτης είναι η δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου και βοηθητικού συστήματος ελέγχου για χρήση σε αυτόνομα οχήματα

### Μεθοδολογία:

Θεωρείται ότι ο ελιγμός της προσπέρασης αποτελείται από τρεις φάσεις. Η τροχιά της προσπέρασης σε κάθε φάση υπολογίζεται ως πολυώνυμο 3<sup>ου</sup> βαθμού



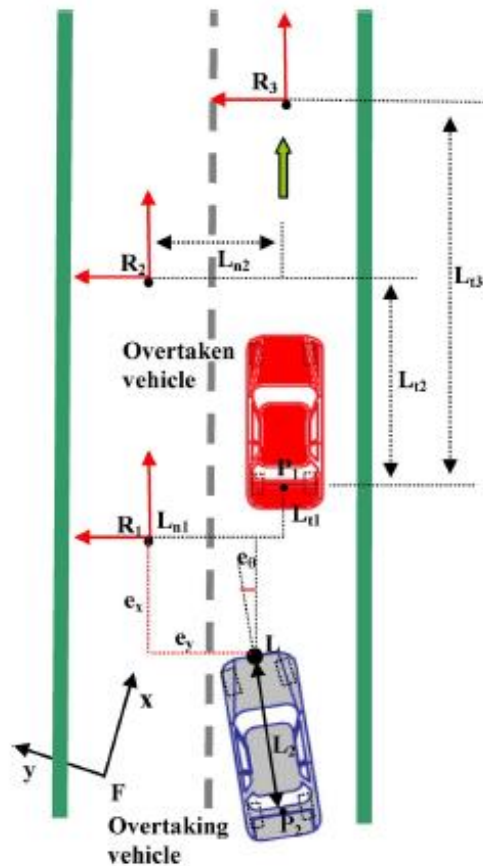
Σχήμα 2.2 Τρεις φάσεις ελιγμού προσπέρασης δύο οχημάτων ([2],2014)

Κατά τη διάρκεια της προσπέρασης, θεωρούνται οι ακόλουθες παραδοχές:

- Το κόκκινο όχημα ακολουθεί ευθύγραμμη διαδρομή
- Η γραμμική ταχύτητα του οχήματος που προσπερνάται είναι άγνωστη
- Οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι η σχετική θέση και η κατεύθυνση μεταξύ των δύο οχημάτων

Σε κάθε φάση χαράζεται μία τροχιά. Η κατάλληλη θέση και ταχύτητα σε κάθε φάση της προσπέρασης, καθώς και η διάρκεια της, καθορίζονται βάση των κανονισμών λειτουργίας και οδικής ασφάλειας.

Για να προσδιοριστεί η θέση και η κατεύθυνση των οχημάτων κατά τη διάρκεια της προσπέρασης, προσδιορίστηκαν διάφορα επίπεδα συντεταγμένων. Η ιδέα είναι να παρουσιαστούν εικονικά τα σημεία του κάθε οχήματος.



Σχήμα 2.3 Σχέδιο του ελιγμού προσπέρασης ([2],2014)

Για το σχεδιασμό της τροχιάς, γίνεται η παραδοχή ότι αποτελείται από διάφορα σημεία και ενώνοντας τα προκύπτει μία ενιαία τεθλασμένη γραμμή. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην πρώτη φάση όπου η κατεύθυνση του οχήματος που θέλει να προσπεράσει δεν είναι ίδια με του περασμένου οχήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3. Το πρόβλημα είναι ότι το σύστημα συντεταγμένων αλλάζει συγκριτικά με την αρχική θέση και για αυτό πρέπει σε κάθε σημείο της τροχιάς να προσδιοριστεί το τοπικό σύστημα αξόνων και να γίνεται κάθε φορά η αντίστοιχη μετάθεση στο διάνυσμα της ταχύτητας.

Για να απεικονιστεί η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν αρκετές προσομοιώσεις, ώστε να οριστεί η συμπεριφορά του οχήματος που προσπερνάει και η ακρίβεια της προσπέρασης κατά τη διάρκεια των τριών φάσεων της προσπέρασης. Στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού MATLAB και ένα όχημα προσομοιωμένο με δίτροχο δύο βαθμών ελευθερίας. Στη δημοσίευση της έρευνας μπορούν να βρεθούν αναλυτικά αποτελέσματα της συγκεκριμένης προσομοίωσης.

#### Αποτελέσματα:

Τα δεδομένα που είναι χρήσιμα είναι οι σχετική θέσεις και κατεύθυνσεις των δύο οχημάτων. Η άγνωστη ταχύτητα του περασμένου οχήματος εκτιμήθηκε προσεγγιστικά. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάστηκαν προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του προτεινόμενου μοντέλου.



Η προτυποποίηση της τροχιάς έγινε λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις συντεταγμένες του οχήματος και όχι τα δυναμικά χαρακτηριστικά του. Ο σχεδιασμός της τροχιάς περιλαμβάνει μόνο γεωμετρικά στοιχεία.

### 2.2.3 Passing Experiment on Two-Lane Rural Highways ([3], 1987)

#### Στόχος:

Οι στόχοι της μελέτης ήταν δύο:

- Η έρευνα των δυναμικών χαρακτηριστικών του ελιγμού προσπέρασης σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων και η σχέση μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών
- Η αξιολόγηση της επάρκειας των υφιστάμενων οδηγιών σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας

#### Μεθοδολογία:

Τα δεδομένα της μελέτης συλλέχθηκαν από δύο οχήματα τα οποία κυκλοφορούσαν ταυτόχρονα στη μία λωρίδα κυκλοφορίας της υπεραστικής οδού, με πρακτικά άπειρο μήκος ορατότητας, σε πραγματικό περιβάλλον. Τα δύο οχήματα ήταν εξοπλισμένα με ένα πολλαπλών χρήσεων σύστημα λήψης και επεξεργασίας δεδομένων, το οποίο ονομάζεται Traffic Engineering Logger (TEL) . Ομάδα δύο ατόμων, ένας οδηγός και ο χειριστής του TEL, ήταν υπεύθυνοι για κάθε όχημα. Το πρώτο αυτοκίνητο προσπεράστηκε από το δεύτερο, το οποίο ήταν ταχύτερο. Στοιχεία όπως η συνολική απόσταση και χρόνος του ελιγμού προσπέρασης, ο χώρος και ο χρόνος της παραμονής στην αντίθετη λωρίδα , η απόσταση και ο χρόνος κατά την ολοκλήρωση της προσπέρασης και τα χαρακτηριστικά της επιτάχυνσης αξιολογήθηκαν και συζητήθηκαν. Συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα με τις τιμές που δίνουν οι αμερικάνικες οδηγίες.

#### Αποτελέσματα:

Δύο φάσεις του ελιγμού προσπέρασης μελετήθηκαν

1. Η πρώτη φάση είναι ο αρχικός ελιγμός, ο οποίος αρχίζει όταν αποφασίζει ο οδηγός να εισέλθει στην αντίθετη λωρίδα, μέχρι να εισέλθει ολοκληρωτικά σε αυτή. Η μέση απόσταση ήταν 46 μέτρα, το 85% των παρατηρήσεων ήταν 68 μέτρα, η μέση διάρκεια ήταν 1.74 δευτερόλεπτα και το 85% των παρατηρήσεων της διάρκειας ήταν 2.59 δευτερόλεπτα.
2. Η δεύτερη φάση είναι η χρονική περίοδος όπου το όχημα βρίσκεται ολοκληρωτικά στην αντίθετη λωρίδα μέχρις ότου ξεκινάει τον ελιγμό για επιστροφή στην αρχική λωρίδα. Η μέση απόσταση ήταν 224 μέτρα, το 85% των παρατηρήσεων της απόστασης μετρήθηκε στα 294 μέτρα, η μέση διάρκεια ήταν 8 δευτερόλεπτα και το 85% των παρατηρήσεων της διάρκειας μετρήθηκε 10,14 δευτερόλεπτα.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι τιμές που δίνουν οι αμερικάνικες οδηγίες για το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων, είναι συντηρητικές. Η γνώμη του συγγραφέα της συγκεκριμένης μελέτης είναι ότι ο ελιγμός προσπέρασης πρέπει να μελετηθεί εκτενέστερα, με στόχο την αναθεώρηση ισχυουσών οδηγιών για το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων.

Στη μελέτη υπολογίζονται οι αποστάσεις και οι χρόνοι όπου το όχημα εκτελεί τους διάφορους ελιγμούς λαμβάνοντας ως μεταβλητές την ταχύτητα και την επιτάχυνση των δύο οχημάτων. Η τρίτη φάση του ελιγμού προσπέρασης, όπου το όχημα ξεκινά τον ελιγμό για επιστροφή στην αρχική λωρίδα δεν μελετάται καθόλου.

### 2.2.4 Trajectory planning and combined design for critical high-speed lane change manoeuvres ([4], 2019)

#### Στόχος:

Στόχος αυτής της έρευνας είναι η ανάπτυξη ενός προηγμένου βοηθητικού συστήματος οδήγησης για τη διαμήκη και πλευρική κατεύθυνση οχημάτων σε κρίσιμες, υψηλών ταχυτήτων, αλλαγές λωρίδας. Το σύστημα έχει δύο λειτουργίες: Σχεδιασμός τροχιάς και διαμήκης και πλευρικός έλεγχος.

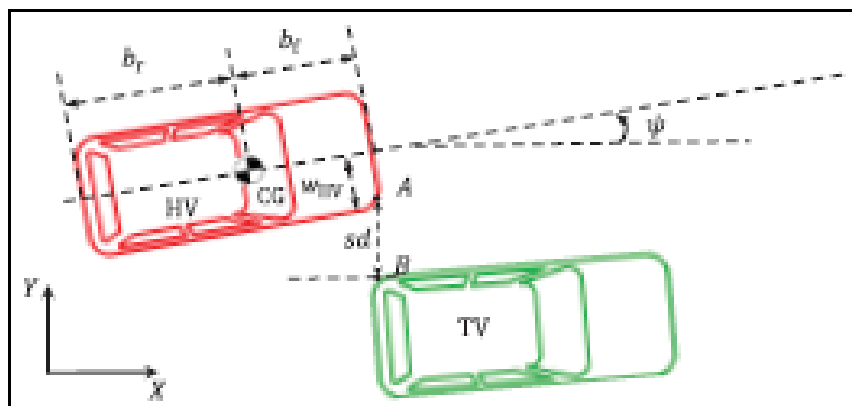
#### Μεθοδολογία:

Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων έγινε από λογισμικό προσομοίωσης CarSim, σε όχημα κατηγορίας D, Sedan.

#### Σχεδιασμός τροχιάς

Αρχικά, λαμβάνοντας υπόψη τα δυναμικά χαρακτηριστικά των οχημάτων και των ελαστικών, καθώς και τη μέγιστη τιμή της τριβής, χαράσσεται η τροχιά. Κάθε τροχιά της οποίας η μέγιστη απαιτούμενη τριβή είναι μεγαλύτερη από την τιμή της ανεκτής τριβής δεν είναι αποδεκτή. Τελικά, η τροχιά της οποίας η μέγιστη απαιτούμενη τριβή είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες, επιλέγεται ως καταλληλότερη. Οι παραδοχές που εικάστηκαν για την ανάπτυξη της μεθόδου ήταν οι ακόλουθες:

- Η κεφαλή του οχήματος παραμένει επαφτόμενη στην επιθυμητή τροχιά
- Λόγω της υψηλής ταχύτητας και της μικρής διάρκειας του ελιγμού, για να παραμείνει σταθερό το όχημα, η πλευρική γωνία ( $\psi$ ) που φαίνεται στην εικόνα 2.4 πρέπει να είναι μικρή.



Σχήμα 2.4 Περιγραφή της πλευρικής απόστασης μεταξύ των δύο οχημάτων ([4],2019)

Η επιθυμητή πλευρική θέση του οχήματος που προσπερνάει εκφράζεται με πολυώνυμο 5<sup>ου</sup> βαθμού, συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δύο οχημάτων που φαίνονται στην Εικόνα 2.4.

#### Αποτελέσματα:

Η μελέτη παρουσιάζει ένα σύστημα καθοδήγησης για διαμήκη και εγκάρσια μετατόπιση κατά την αλλαγή λωρίδας. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι κατάλληλος για το σχεδιασμό της τροχιάς. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για ελιγμούς αποφυγής εμποδίων επιβεβαίωσαν την αποτελεσματικότητα του μοντέλου. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι τα εξής:

1. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα και σε ελιγμούς με σταθερή ταχύτητα, επιβραδυνόμενη και επιταχυνόμενη.
2. Συγκριτικά με άλλες έρευνες, επειδή ο σχεδιασμός της τροχιάς εκτελέστηκε αλγεβρικά, το υπολογιστικό κόστος είναι πολύ χαμηλό. Αυτό είναι πολύτιμο σε υλοποιήσεις πραγματικού χρόνου.

Για τη χάραξη της τροχιάς ο μελετητής χρησιμοποίησε δυναμικά χαρακτηριστικά οχήματος, όπως είναι η τριβή των ελαστικών, ταχύτητα και επιτάχυνση, καθώς και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οχημάτων. Η μελέτη εξετάζει αποκλειστικά τη μετάβαση στην αριστερή λωρίδα, συνεπώς η τρίτη φάση της προσπέρασης, που είναι η επιστροφή στην αρχική λωρίδα, δεν μελετήθηκε.

### **2.2.5 Passing sight distance assessment through the interaction of road – vehicle parameters ([5], 2019)**

#### Στόχος:

Η μελέτη αυτή ερευνά τη σχέση μεταξύ των δυναμικών παραμέτρων ενός οχήματος και της γεωμετρίας της οδού κατά τη διάρκεια της προσπέρασης.

#### Μεθοδολογία:

Η μεθοδολογία βασίζεται σε πραγματική αποτύπωση της τροχιάς προσπέρασης με σεβασμό στο αναγραφόμενο όριο ταχύτητας της οδού και τη δυνατότητα του οχήματος να εκτελέσει τέτοιο ελιγμό. Χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά γραμμικά μοντέλα, λαμβάνοντας υπόψη τους Γερμανικούς κανονισμούς, για να οριστεί το μήκος ορατότητας προσπέρασης (PSD) με συνδυασμό τεσσάρων κρίσιμων οχημάτων και των παραμέτρων τους. Χρησιμοποιήθηκαν η ονομαστική ιπποδύναμη των οχημάτων, οι διαφορές μεταξύ των ταχυτήτων των οχημάτων και των αναγραφόμενων ορίων στην οδό, οι συντελεστές τριβής και οι τιμές των επικλίσεων.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μία υπεραστική οδό μίας λωρίδας για κάθε κατεύθυνση. Η συσκευή καταγραφής για δεδομένα ταχύτητας και απόστασης ήταν το Vericom VC400 accelerometer. Επίσης, μία υψηλής ευκρίνειας κάμερα τοποθετήθηκε στην οροφή του οχήματος που προσπερνάει, όπου βιντεοσκοπεί συνεχόμενα το περασμένο όχημα κατά τον ελιγμό. Αυτό σημαίνει ότι η απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια.

### Αποτελέσματα:

Η ανάλυση έδειξε ότι η διαφορά ταχύτητας του περασμένου οχήματος και του ορίου ταχύτητας, επηρεάζουν υπερβολικά το PSD, ειδικά για τιμές κάτω από 20 χλμ/ώρα. Η λογαριθμική προσέγγιση μοντελοποίησης για την πρόβλεψη PSD κρίθηκε αποτελεσματική και είναι χρήσιμη για τους ερευνητές και τους επαγγελματίες που στοχεύουν στην αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης των υφιστάμενων οδών και παραμέτρων οχήματος, όσον αφορά τον προσδιορισμό του PSD καθώς και των ζωνών προσπέρασης. Τα μοντέλα που προέκυψαν προβλέπουν το μήκος ορατότητας προσπέρασης λαμβάνοντας υπόψη τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού.

### **2.2.6 Modeling and Intelligent Control System Design for Overtaking Maneuver in Autonomous Vehicles ([6], 2012)**

#### Στόχος:

Ο σκοπός της μελέτης είναι ο σχεδιασμός ενός έξυπνου συστήματος ελέγχου που να καθοδηγεί τον ελιγμό προσπέρασης με καλύτερη απόδοση από τα υπάρχον συστήματα.

#### Μεθοδολογία:

Για να επιτευχθεί ο στόχος χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο NN (neural network), το οποίο αναλύεται εκτεταμένα στην έρευνα. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από κυκλοφοριακή βάση δεδομένων, τα οποία συλλέχθηκαν με βιντεοσκόπηση. Τα δεδομένα αφορούν την προσπέραση σε αυτοκινητόδρομο, και οι τιμές των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό του μοντέλου. Συνολικά, σε ευθεία 640 μέτρων καταγράφηκαν 6101 ελιγμοί προσπέρασης σε τρεις δεκαπεντάλεπτες μετρήσεις. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη είναι η επιτάχυνση και η γωνία διεύθυνσης του οχήματος που εκτελεί την προσπέραση για κάθε σημείο της τροχιάς του.

Έπειτα, με χρήση του μοντέλου NN όπου εισάγονται η γωνία διεύθυνσης και η επιτάχυνση, ο μελετητής παίρνει ως αποτέλεσμα τις μετατοπίσεις X και Y (εγκάρσια και διαμήκης μετατόπιση).

Στη συνέχεια, τα δεδομένα εισήχθησαν σε λογισμικό προσομοίωσης Simulink, MATLAB για να αξιολογηθεί η απόδοση του μοντέλου. Πράγματι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επιβεβαίωσαν το μοντέλο.

#### Αποτελέσματα:

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μοντέλο που παρουσιάστηκε βελτιώθηκε σε σύγκριση με άλλα μοντέλα, καθώς οι στιγμιαίες τιμές των μεταβλητών δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα από ότι τα μοντέλα που χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξε ότι το μοντέλο που αναπτύχθηκε έχει πολύ στενή σχέση με τα δεδομένα του πραγματικού περιβάλλοντος και αντικατοπτρίζει την κατάσταση της κυκλοφορίας με πιο ρεαλιστικό τρόπο.

Το μοντέλο δε λαμβάνει υπόψη γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και των οχημάτων, καθώς επίσης και την παρουσία του προπορευόμενου οχήματος. Προτείνει δηλαδή ένα βοηθητικό σύστημα οδήγησης όπου το όχημα εκτελεί την προσπέραση μετά από εντολή του οδηγού.

### 2.2.7 Evaluation of passing process on two-lane rural highways on Spain using a methodology based on video data ([7], 2011)

#### Στόχος:

Στόχος της έρευνας είναι να δημιουργηθούν μοντέλα που να προβλέπουν το PSD (Passing Sight Distance, Μήκος ορατότητας προσπέρασης), ώστε να προταθεί αναθεώρηση των υπάρχοντων κριτηρίων PSD στην Ισπανία.

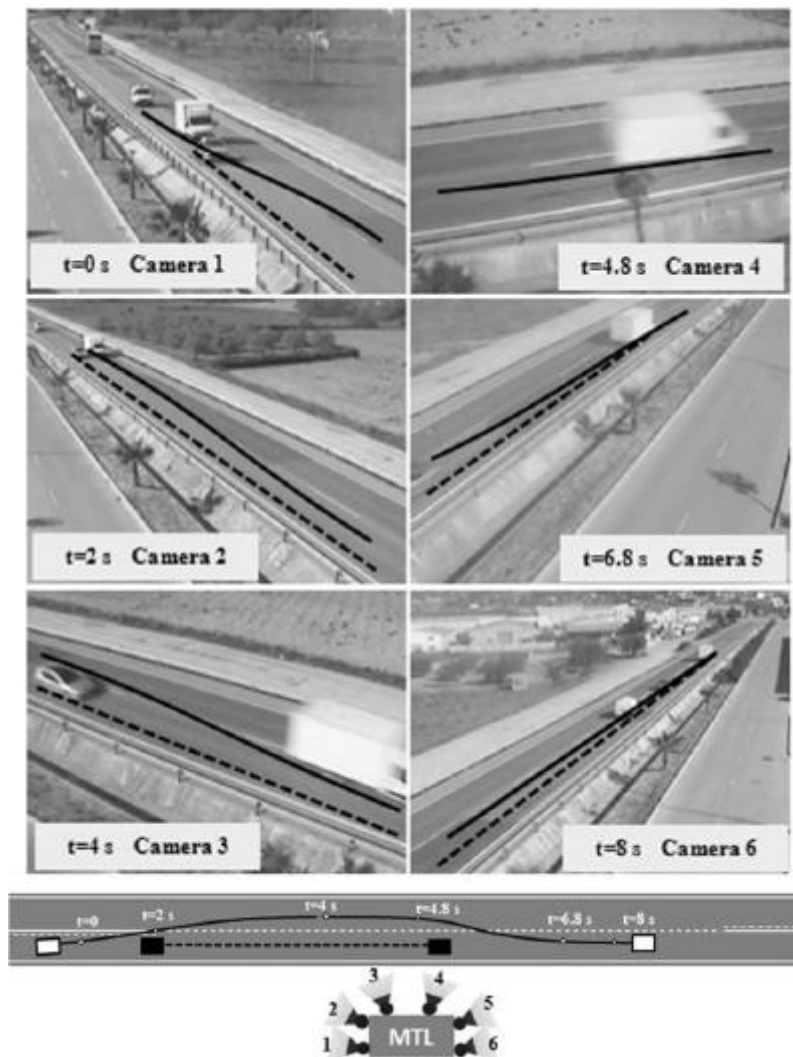
#### Μεθοδολογία:

Τα οχήματα που μπορούν να συμμετέχουν σε έναν ελιγμό προσπέρασης είναι 3: Όχημα που προσπερνάει, όχημα που προσπερνιέται, όχημα που κατευθύνεται αντίθετα από τα δύο πρώτα. Κάθε ελιγμός προσπέρασης έχει ως χαρακτηριστικά το συνολικό μήκος που διανύει κάθε όχημα κατά τη διαδικασία, την αρχική και τελική θέση κάθε οχήματος, τις χρονικές στιγμές και τις επιταχύνσεις για κάθε θέση που σημειώνεται.

Η μεθοδολογία βασίζεται σε δεδομένα από βιντεοσκοπημένες εικόνες. Τοποθετούνται έως 6 κάμερες σε Mobile Traffic Laboratory (MTL), ώστε να γίνει μια ακριβής περιγραφή για τη διαδικασία της προσπέρασης. Το MTL είναι μία αρθρωτή πλατφόρμα που μπορεί να ανυψωθεί έως 12 μέτρα. Οι κάμερες τοποθετούνται στο υψηλότερο σημείο της πλατφόρμας. Οι λειτουργίες των καμερών ελέγχονται από φορητό υπολογιστή μέσω ασύρματου δικτύου. Με τη μέθοδο αυτή, και το σωστό χειρισμό των καμερών μπορεί να καλυφθεί μεγάλη περιοχή σε εικόνα. Υπολογίζεται ότι το εύρος της εικόνας είναι 1000 έως 1500 μέτρα, όταν το MTL έχει τοποθετηθεί στο κέντρο της ζώνης προσπέρασης. Στην εικόνα 2.5 φαίνεται το σύστημα με τις 6 κάμερες.

Ξεκινώντας σε απόσταση 300 μέτρων από το MTL, λόγω ποιότητας των καμερών, η ανάλυση των ελιγμών είναι περιορισμένη. Η επεξεργασία της τροχιάς, σύμφωνα με τον περιορισμό που αναφέρθηκε, είναι εφικτή μέχρι τα 600 μέτρα σε ζώνη προσπέρασης. Η βιντεοσκόπηση από τις κάμερες γίνεται ταυτόχρονα για τη συλλογή δεδομένων. Η συχνότητα των σημείων που καταγράφηκαν για την τροχιά είναι 5 σημεία το δευτερόλεπτο. Οι ταχύτητες και η επιτάχυνση των τριών οχημάτων επίσης υπολογίζονται. Αυτό σημαίνει ότι σε έναν ελιγμό 10 δευτερολέπτων σημειώθηκαν 50 σημεία.

Στη συνέχεια, έγινε στατιστική ανάλυση των δεδομένων



Εικόνα 2.1 Σύστημα MTL, Καρέ από τη διαδικασία της προσπέρασης ([5], 2013)

#### Αποτελέσματα:

Μετά τη στατιστική ανάλυση πρόεκυψαν μοντέλα τα οποία προβλέπουν τους χρόνους που διαρκεί η κάθε μία από τις τρεις φάσεις του ελιγμού καθώς και την απόσταση που διανύει το όχημα στην αριστερή λωρίδα. Τα μοντέλα έχουν ως ανεξάρτητες μεταβλητές τον τύπο του οχήματος καθώς και το μήκος προσπέρασης (Zone Length).

### 2.2.8 Functional and Acceptance of Overtaking Assistant Design Tested in Driving Simulator Experiment ([8], 2006)

#### Στόχος:

Στόχος της μελέτης ήταν ο σχεδιασμός ενός βοηθητικού συστήματος οδήγησης για τον ελιγμό προσπέρασης. Το βοηθητικό σύστημα ενημερώνει τον οδηγό πότε είναι ασφαλές να προσπεράσει, βάσει του διαθέσιμου χρόνου έως το όχημα από την αντίθετη κατεύθυνση πλησιάσει.

Μεθοδολογία:

Για να εξετασθούν τα σενάρια προσπέρασης και να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιήθηκε προσομοιωτής οδήγησης.

Επιλέχθηκε χαμηλού κόστους TNO προσομοιωτής οδήγησης λόγω της διαθεσιμότητας και της δυνατότητας διαμόρφωσης σεναρίου. Τα σενάρια μπορούν να αναπτυχθούν και να εξετασθούν από έναν απλό ηλεκτρονικό υπολογιστή, απλής χρήσης, με την προσθήκη τιμονιού και πεταλιών, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για βιντεοπαιχνίδια.

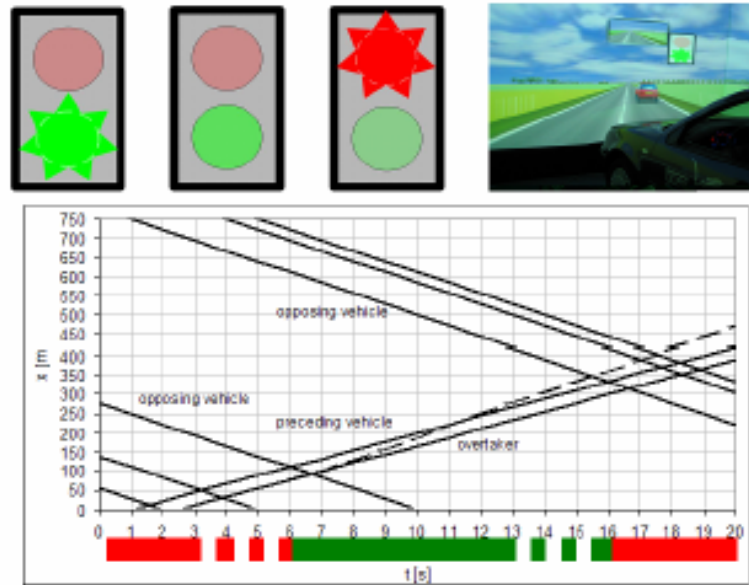
Για το πείραμα συμμετείχαν 24 έμπειροι οδηγοί, 12 άντρες και 12 γυναίκες. Η ηλικία ήταν κατά μέσο όρο 45 ετών με τυπική απόκλιση 9 έτη. Κατά μέσο όρο, κάθε οδηγός είχε άδεια οδήγησης 26 έτη και είχε οδηγήσει τουλάχιστον 17.000 χιλιόμετρα το τελευταίο έτος. Να σημειωθεί ότι όλοι οι οδηγοί είχαν εμπειρία στο συγκεκριμένο προσομοιωτή οδήγησης. Κάθε οδηγός, σε ένα χρονικό πλαίσιο τριών ωρών, πέρασε από μία σύντομη εκπαίδευση, οδήγησε στον προσομοιωτή και συμπλήρωσε ερωτηματολόγια. Παρόλο που οι οδηγοί είχαν εμπειρία με τον προσομοιωτή οδήγησης, χρειάστηκε λίγος χρόνος για να συνηθίσουν το χειρισμό του. Οι γενικές οδηγίες που δόθηκαν στους οδηγούς ήταν να οδηγούν όσο πιο ομαλά γίνεται, αλλά να σκέφτονται ότι βιάζονται κατά μία έννοια. Η οδήγηση διήρκεσε 15 λεπτά.

Το οδικό περιβάλλον ήταν παρόμοιο με το Ολλανδικό μιας και είχαν προηγηθεί δύο άλλες σχετικές μελέτες. Οι ευθείες ήταν σχετικές μεγάλες, γύρω στα 5 χιλιόμετρα και υπήρχε τέλεια ορατότητα. Το συνολικό μήκος ήταν 20 χιλιόμετρα, συμπεριλαμβανομένου 3 τμημάτων 5 χιλιομέτρων και 2 κόμβων.

Τα οχήματα που συναντούσαν οι οδηγοί μπροστά τους προγραμματίστηκαν σε τρεις ταχύτητες. Το πρώτο με σταθερή ταχύτητα 75 χλμ/ώρα, το δεύτερο με 85 χλμ/ώρα και το τρίτο άλλαζε ταχύτητα κάθε 8 δευτερόλεπτα μεταξύ 76 και 91 χλμ/ώρα. Τα οχήματα που ερχόντουσαν από την αντίθετη κατεύθυνση προγραμματίστηκαν να πηγαίνουν με 100 χλμ/ώρα η οποία ήταν όσο το όριο ταχύτητας της οδού.

Το βοηθητικό σύστημα αναπτύχθηκε με βάση παλαιότερες έρευνες της τροχιάς προσπέρασης. Όσον αφορά τη λειτουργία του, μία πράσινη ένδειξη εμφανίζεται στην οθόνη όταν η προσπέραση μπορεί να εκτελεστεί με ασφάλεια. Αυτό συμβαίνει όταν όλα τα οχήματα από την αντίθετη κατεύθυνση έχουν περάσει. Αντίθετα, σε περίπτωση που η προσπέραση δεν είναι ασφαλής κόκκινη ένδειξη εμφανίζεται στην οθόνη.

Η κάθε προσπέραση διήρκεσε περίπου 8 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 2.2 Περιβάλλον της προσπεράσης και απεικόνιση της λειτουργίας ([8],2006)

### Αποτελέσματα:

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι οδηγοί πραγματοποιούν προσπεράσεις μικρότερου μήκους όταν λειτουργεί το βοηθητικό σύστημα, παρά χωρίς αυτό. Παρατηρήθηκε ότι οι άντρες πραγματοποίησαν περισσότερες προσπεράσεις από τις γυναίκες. Επίσης, 23 από τους 24 συμμετέχοντες προτιμούσαν να έχουν το βοηθητικό σύστημα ενεργοποιημένο. Ενδιαφέρον συνδυασμοί αποτελεσμάτων μεταξύ των σεναρίων με ή χωρίς βοηθητικό σύστημα προκύπτουν μεταξύ ανδρών και γυναικών.

- Με το βοηθητικό σύστημα, οι άνδρες προσπερνούσαν λιγότερο και οι γυναίκες περισσότερο από την οδήγηση χωρίς βοηθητικό σύστημα.
- Με το βοηθητικό σύστημα, ο χρόνος που οι άνδρες βρισκότουσαν στην αριστερή λωρίδα αυξήθηκε και ο χρόνος που οι γυναίκες βρισκότουσαν στην αριστερή λωρίδα μειώθηκε.

Αυτό σημαίνει ότι και για τα δύο φύλα οι διαφορές στην εκτέλεση της προσπεράσης μειώνονται, οπότε η μοντελοποίηση του βοηθητικού συστήματος δε γίνεται βάση φύλου.

Η μελέτη στοχεύει στη προτυποποίηση ενός βοηθητικού συστήματος και όχι στην προτυποποίηση της τροχιάς προσπεράσης.

### **2.2.9 Autonomous Highway Overtaking ([9], 2018)**

#### Στόχος:

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός αυτόματου συστήματος οδήγησης για επιταχυνόμενη, κανονική και ιπτάμενη προσπεράση (Ιπτάμενη προσπεράση ονομάζεται αυτή όπου το όχημα που προσπερνάει, συνεχίζει με τη δική του ταχύτητα και δεν την προσαρμόζει με βάση του περασμένου κατά τη διάρκεια του ελιγμού). Αρχικά, το πρωτόκολλο για τον ελιγμό προσπεράσης αναπτύσσεται βάσει τα ISO (International organization for Standardization) πρότυπα, τα ευρωπαϊκό NCAP (New Car Assessment Programme (πρωτόκολλα υποβοήθησης



ασφάλειας), και διάφορους κανόνες και περιορισμούς που έχουν τεθεί από συγκεκριμένες κυβερνήσεις (Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο και επαρχία της Alberta). Να σημειωθεί ότι για τον ελιγμό προσπέρασης τέθηκαν δύο σενάρια. Αρχικά, το όχημα που προσπερνάει δεν συναντάει οχήματα γύρω του. Στη συνέχεια έγιναν δοκιμές με την ύπαρξη οχήματος σε γειτονική λωρίδα με ίδια κατεύθυνση με αυτή του οχήματος που μελετούμε.

Το αυτόματο σύστημα οδήγησης για ελιγμούς προσπέρασης, μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός συστημάτων ADAS (Advanced driver assistant systems), V2V (Vehicle to Vehicle). Η ιδέα της ΑΗΟ (Autonomous Highway Overtaking (αυτόνομη προσπέραση σε εθνικές οδούς)) είναι να ξεπεράσει τις δυνατότητες των πραγματικών οδηγών ώστε να αυξηθεί η οδική ασφάλεια, η άνεση και η αποτελεσματικότητα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν ότι το προτεινόμενο σύστημα ΑΗΟ είναι εφικτό και αξιόπιστο.

### Μεθοδολογία:

Για να υλοποιηθούν οι δοκιμές καθορίστηκαν οι προαναφερόμενοι στόχοι.

- Η μοντελοποίηση του οδικού περιβάλλοντος έγινε με χρήση του λογισμικού PreScan
- Βελτιστοποίηση και εφαρμογή υφιστάμενων συστημάτων υποβοήθησης έγινε με χρήση του PreScan και με εργαλεία της MATLAB/Simulink
- Η ανάπτυξη του πρωτόκολλου δοκιμών για προσπέραση σε αυτοκινητόδρομο έγινε με βάση τα ISO πρότυπα, το Euro NCAP, κτλ, σε δύο περιπτώσεις.
  1. Όταν δεν υπάρχει όχημα σε γειτονική λωρίδα
  2. Όταν υπάρχει όχημα σε γειτονική λωρίδα
- Αναπτύχθηκε ένα αυτόνομο σύστημα ελέγχου του τιμονιού (για αλλαγές λωρίδας κατά τη διάρκεια της προσπέρασης). Το αυτόνομο σύστημα οδήγησης αποτελείται από τα ως συστήματα: ACC (Adaptive Cruise Control), LCA (Lane Change Assist), BSM (Blind Spot Monitoring), LKA (Lane Keeping Assist), LDW (Lane Departure Warning), V2V (Vehicle to Vehicle communication)

Ο αυτοκινητόδρομος ήταν ευθεία, τριών λωρίδων, μίας κατεύθυνσης και δεν υπήρχαν στροφές και αλλαγές στην κατά μήκος κλίση. Τα οχήματα που συμμετείχαν είναι τρία: Αυτό που προσπερνάει, το περασμένο και το ακόλουθο όχημα. Το όχημα που προσπερνάει είναι εξοπλισμένο με όλα τα προαναφερθέν υφιστάμενα συστήματα. Τα δύο άλλα οχήματα είχαν σταθερή ταχύτητα και δεν άλλαζαν λωρίδα κατεύθυνσης.

### Αποτελέσματα:

Το πρωτόκολλο δοκιμών αναλύθηκε χρησιμοποιώντας μαθηματικές σχέσεις και το αυτόματο σύστημα οδήγησης δοκιμάστηκε σε προσομοιωτή. Το σύστημα λειτουργεί με κριτήριο την ασφάλεια και την άνεση. Τα αποτελέσματα δίνουν ενδεικτικές τιμές παραμέτρων όπως πλευρική απόσταση με όχημα που προσπερνιέται, ταχύτητα και επιτάχυνση οχήματος που προσπερνάει, καθώς και τη διάρκεια της διαδικασίας. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δημιουργία συστήματος που να εκτελεί βέλτιστη προσπέραση σε αυτοκινητόδρομο.

Η μελέτη δεν έλαβε υπόψη γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και των οχημάτων, ούτε δεδομένα επερχόμενης κυκλοφορίας.

### 2.3 Σύνοψη Βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Με βάση τα παραπάνω, παρατηρείται ότι σε καμία από τις προαναφερθείσες έρευνες δεν έχει αναλυθεί η τροχιά του οχήματος που επιχειρεί προσπέραση με βάση τις **τέσσερις ακτίνες καμπυλότητας** που διαγράφονται στην αρχή και το πέρας της διαδικασίας.

Πολλές από τις έρευνες που παρατέθηκαν προτυποποιούσαν την τροχιά της προσπέρασης, πραγματοποιώντας την ανάλυση με γεωμετρικές μεθόδους αποκλειστικά.

Επίσης σε όσες μελέτες χρησιμοποιήθηκε προσομοιωτής οδήγησης για συλλογή δεδομένων, δεν έγινε στατιστική ανάλυση με γραμμική παλινδρόμηση όπου να έχει ως **εξαρτημένη μεταβλητή τις τιμές των ακτινών καμπυλότητας**.

Επομένως, κρίνεται αναγκαία η διερεύνηση μοντέλων με γραμμική παλινδρόμηση, η οποία θα περιγράφει την τροχιά του οχήματος που προσπερνά μέσω του προσδιορισμού **των επάλληλων τόξων αντίρροπης καμπυλότητας** συναρτήσει άλλων δυναμικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών που υπολογίστηκαν στην επεξεργασία δεδομένων.

## 3. Θεωρητικό υπόβαθρο

### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το Θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε η συλλογή δεδομένων, η επεξεργασία και η ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας καθώς και βασικές στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης. Για το σκοπό της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν δεδομένα από προσομοιωτή οδήγησης και έγινε επεξεργασία με το γωνιακό διάγραμμα. Στη συνέχεια αναλύθηκαν τα δεδομένα εφαρμόζοντας γραμμική και λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση (linear and log-linear regression) , με σκοπό την εξαγωγή μοντέλων που θα προβλέπουν τις ακτίνες καμπυλότητας της τροχιάς της προσπέρασης συναρτήσει διάφορων παραμέτρων της προσπέρασης.

### 3.2 Προσομοιωτής οδήγησης

Για τη συλλογή δεδομένων, πραγματοποιήθηκαν πειράματα στον προσομοιωτή οδήγησης **Dr. Foerst F12PF-3A88-NR** στο εργαστήριο Κυκλοφοριακής Τεχνική της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αποτελείται από ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή, 3 οθονών LCD40", και μίας καμπίνας οδηγού αυτοκινήτου μοντέλου Ford Focus. Η καμπίνα περιλαμβάνει τα εξής:

1. Ρυθμιζόμενο κάθισμα οδήγησης
2. Ζώνη ασφάλειας
3. Πίνακας οργάνων οχήματος (ταχύμετρο, στροφόμετρο)
4. Τιμόνι διαμέτρου 27cm
5. Λεβιές σχέσεων 5 ταχυτήτων και όπισθεν (χειροκίνητο)
6. Χειριστήρια (φλας, υαλοκαθαριστήρες, φώτα, κόρνα, μίζα, χειρόφρενο)
7. Ποδόπληκτρα χειρισμού (επιτάχυνσης, επιβράδυνσης και συμπλέκτη)

Οι οθόνες έχουν τραπεζοειδή διάταξη σε κάτοψη. Οι διαστάσεις σε πλήρη ανάπτυξη είναι 230 X 180 cm, ενώ το πλάτος βάσης 78cm. Το οπτικό πεδίο είναι 170 μοίρες. Η μεσαία οθόνη απεικονίζει την εικόνα που έχει ο οδηγός, ενώ οι πλάγιες οθόνες απεικονίζουν τις εικόνες όταν κάποιος κοιτάζει τους πλαϊνούς καθρέπτες.



Εικόνα 3.1 Προσομοιωτής οδήγησης Dr. Foerst F12PF-3A88-NR, [13]

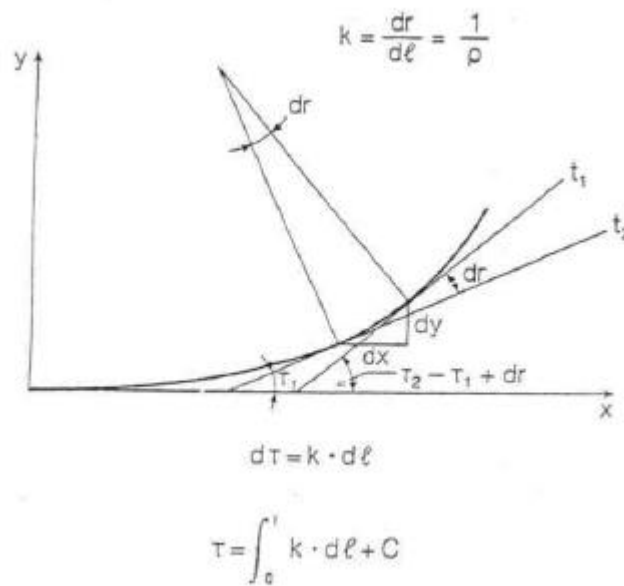


Εικόνα 3.2 Θέση οδηγού στον προσομοιωτή οδήγησης, [13]

Μέσω υπολογιστή παράγεται το **εικονικό οδικό περιβάλλον**. Οι χρήστες πραγματοποιούν τη διαδρομή υπό συνθήκες που προσομοιώνουν ρεαλιστικά τις πραγματικές. Είναι σαφές ότι οι συνθήκες οδήγησης στον προσομοιωτή δεν μπορεί να είναι απολύτως όμοιες με εκείνες που αντιλαμβάνεται ο οδηγός σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ πολλών οδικών συνθηκών, όσον αφορά: τον **τύπο της οδού** (υπεραστική οδός, αστική οδός, αυτοκινητόδρομος), τις **κυκλοφοριακές συνθήκες** (κανονικός κυκλοφοριακός φόρτος, αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος), το **περιβάλλον** (καλός καιρός, ομίχλη, βροχή, χιόνι, νύχτα), καθώς και το **όχημα μελέτης** (ΙΧ, φορτηγό όχημα με ή χωρίς τρέιλερ, αγωνιστικό όχημα). Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν σενάρια οδήγησης. Για την υποκείμενη διπλωματική εργασία διαμορφώθηκε ένα σενάριο το οποίο θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο (Παράγραφος 5.2)

### 3.3 Γωνιακό διάγραμμα

Ως γωνιακό διάγραμμα ορίζεται το διάγραμμα, που δίνει τη γωνία διεύθυνσης της καμπύλης αναφοράς της τροχιάς προσπέρασης συναρτήσεως της χιλιομετρικής θέσης. Μαθηματικά προκύπτει ως το ολοκλήρωμα της συνάρτησης καμπυλότητας (Σχήμα 3.1).

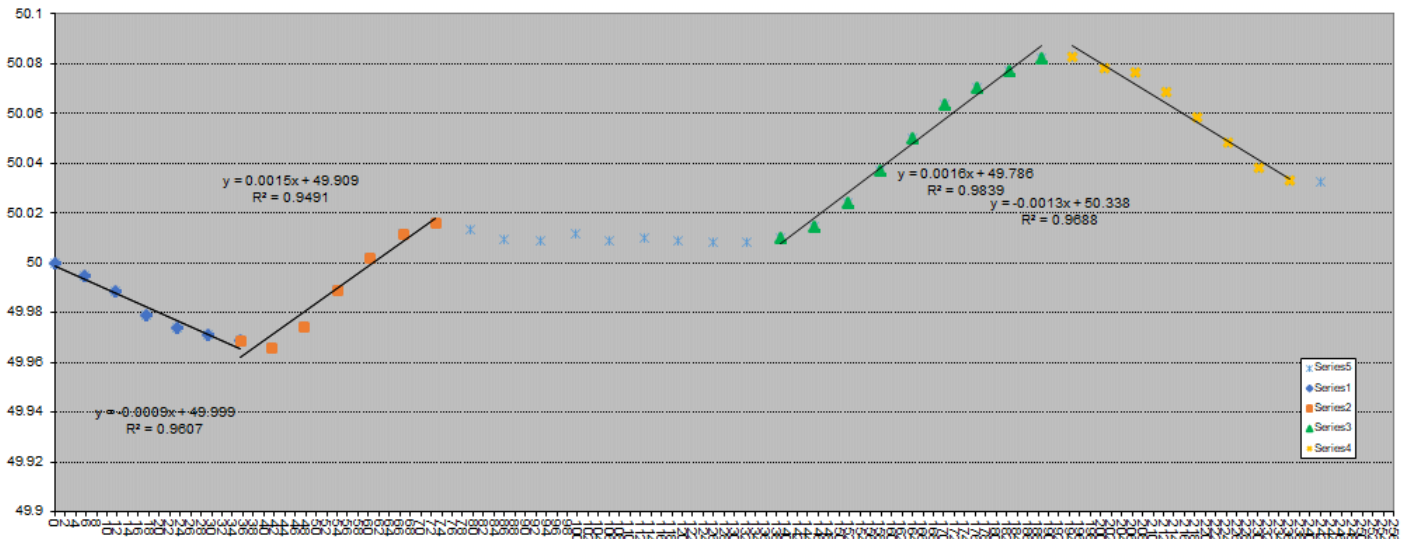


Σχήμα 3.1 Γωνιακό διάγραμμα καμπύλης αναφοράς

Το γωνιακό διάγραμμα είναι πολύ βασικό εργαλείο στην επεξεργασία της γεωμετρίας της τροχιάς προσπέρασης για την επίτευξη διαφόρων στόχων μιας μελέτης, όπως μετατοπίσεις άξονα και αναγνώριση των γεωμετρικών στοιχείων. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το γωνιακό διάγραμμα, για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών στοιχείων, από τα οποία αποτελείται η τροχιά της προσπέρασης, απαιτείται γνώση των συντεταγμένων της κάθε καμπύλης. Οι συντεταγμένες αυτές προκύπτουν από την καταγραφή δεδομένων στον προσομοιωτή οδήγησης.

Η μέθοδος αναπτύσσεται σε υπολογιστικό φύλλο **Microsoft Excel**. Στο φύλλο αυτό υπολογίζονται οι χιλιομετρικές θέσεις κάθε σημείου και η αλλαγή του αζιμούθιου. Ύστερα με την κατάλληλη τροποποίηση επιλέγονται τέσσερις ομάδες στοιχείων, όσες και οι καμπύλες ενός ελιγμού προσπέρασης - η κάθε μία αντλεί χιλιομετρικές θέσεις και σχέση σημείου με αζιμούθιο - , οι οποίες αναπαριστούν τέσσερις γραμμές στο διάγραμμα. Ως άξονα X έχει τη χιλιομετρική θέση και ως άξονα Y το αζιμούθιο.

Η κάθε ομάδα στοιχείων προσαρμόζεται σε κάθε μία καμπύλη του ελιγμού προσπέρασης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Η κάθε γραμμή τάσης που δημιουργείται, έχει αξιοπιστία  $R^2$ . Για να θεωρείται σωστό το δείγμα, καμπύλες όπου οι ευθείες του γωνιακού διαγράμματος είχαν  $R^2 < 0.85$  δεν λήφθηκαν υπόψη στη μελέτη. Στο σύνολο της μελέτης αποκλείστηκαν περίπου 15 καμπύλες.



Σχήμα 3.2 Ακτίνες καμπυλότητας τροχιάς προσπέρασης

Το Σχήμα 3.2 αναπαριστά μία από τις επεξεργασίες δεδομένων που έγιναν. Η καθοδική πορεία στις γραμμές φανερώνει ότι το όχημα έστριψε αριστερά, ενώ η ανοδική πορεία δείχνει ότι το όχημα έστριψε δεξιά. Κάτω από κάθε ευθεία φαίνεται και ο αριθμός  $R^2$  όπου δηλώνει την αξιοπιστία. Μεταξύ πορτοκαλί και πράσινης γραμμής –  $R^2$  και  $R^3$  – διακρίνεται μια ευθεία. Τα σημεία αυτά αναπαριστούν τη φάση όπου το όχημα βρίσκεται στην αριστερή λωρίδα, επιταχύνει για να προσπεράσει και ακολουθεί **ευθύγραμμη πορεία**.

### 3.4 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης

Η **ανάλυση παλινδρόμησης** (regression analysis) αφορά μια διαδικασία για τον υπολογισμό των σχέσεων μεταξύ μεταβλητών, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως όταν στόχος είναι ο συσχετισμός μιας εξαρτημένης μεταβλητής με μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές. Ως εκ τούτου, δίνεται η δυνατότητα κατανόησης του τρόπου που μια τυπική τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής επηρεάζεται από την αλλαγή μιας ανεξάρτητης μεταβλητής όταν οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές.

**Εξαρτημένη μεταβλητή** ορίζεται η μεταβλητή της οποίας η τιμή αναμένεται να προβλεφθεί από το μοντέλο, ενώ **ανεξάρτητη μεταβλητή** ορίζεται η μεταβλητή, η οποία επιδρά στην πρόβλεψη της εξαρτημένης λαμβάνοντας συγκεκριμένες τιμές. Για τον καθορισμό των ανεξάρτητων μεταβλητών που όντως έχουν επίδραση στην πρόβλεψη της τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα, τα οποία δείχνουν μαθηματικά την σχέση μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από το είδος της εξαρτημένης μεταβλητής (συνεχής ή διακριτή). Οι συνηθέστερες μέθοδοι σε συναφείς έρευνες με την υφιστάμενη είναι αυτές της **γραμμικής παλινδρόμησης** (linear regression) και **λογαριθμικής γραμμικής παλινδρόμησης**.

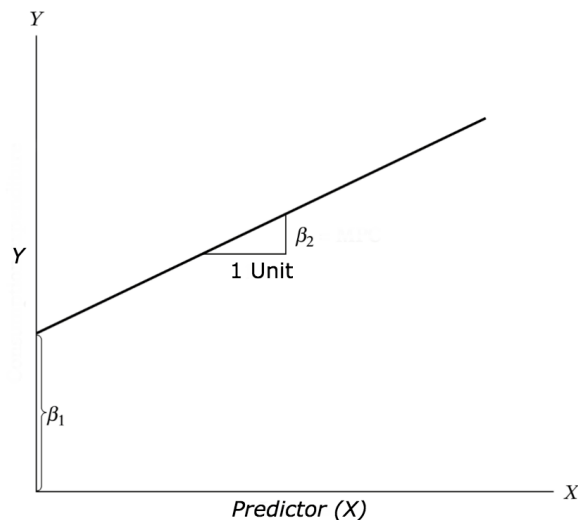
#### 3.4.1 Γραμμική παλινδρόμηση

Η γραμμική παλινδρόμηση (linear regression) υπολογίζει τη συνάρτηση χρησιμότητας κάποιου γεγονότος σε σχέση με παράγοντες που το επηρεάζουν καταλήγοντας σε ένα γραμμικό μαθηματικό πρότυπο. Με βάση αυτό το μαθηματικό πρότυπο υπολογίζεται η πιθανότητα πραγματοποίησης του γεγονότος (πρότυπο πρόβλεψης πιθανότητας).

Στόχος της γραμμικής παλινδρόμησης είναι η προτυποποίηση μίας συνεχούς μεταβλητής  $Y$  ως μαθηματική συνάρτηση μίας ή παραπάνω μεταβλητών  $X$ , έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παλινδρόμηση για να προβλέπει την τιμή του  $Y$  όταν είναι γνωστά μόνο τα  $X$ . Η μαθηματική σχέση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$y = \beta_1 + \beta_2 \cdot x + \epsilon$$

Όπου  $\beta_1$  είναι ο σταθερός όρος,  $\beta_2$  η κλίση. Ως σύνολο, ονομάζονται συντελεστές παλινδρόμησης.  $\epsilon$  είναι ο όρος σφάλματος, κομμάτι της μεταβλητής  $Y$ , όμως το γραμμικό μοντέλο δε μπορεί να το ερμηνεύσει.



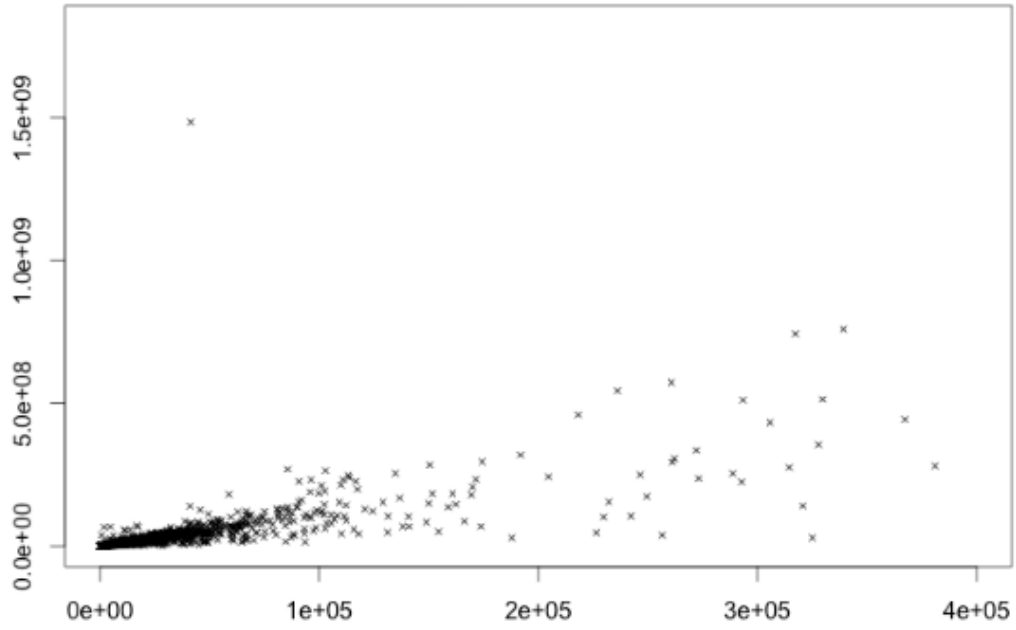
Σχήμα 3.3 Μορφή γραμμικού μοντέλου , Πηγή [14]

Η εκτίμηση των παραμέτρων στην γραμμική παλινδρόμηση πραγματοποιείται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών των τιμών που έχουν παρατηρηθεί από αυτές που έχουν υπολογιστεί να είναι το ελάχιστο.

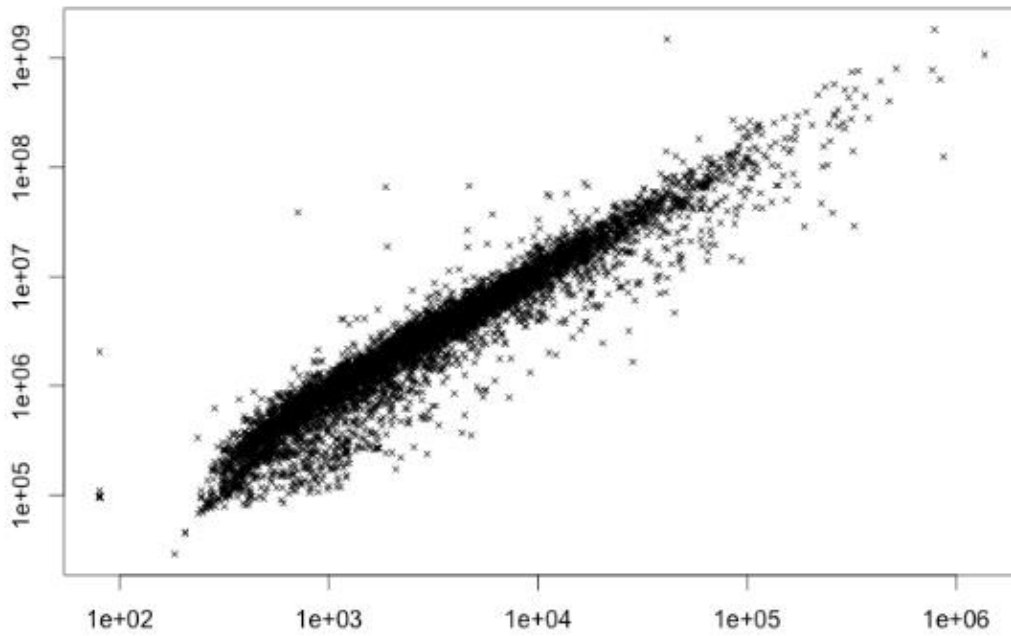
### 3.4.2 Λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση

Ο λογαριθμικός μετασχηματισμός μεταβλητών σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης είναι ένας πολύ συνηθισμένος τρόπος χειρισμού καταστάσεων όπου υπάρχει μη γραμμική σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών. Η χρήση του λογάριθμου μίας ή περισσότερων μεταβλητών αντί της μη καταγεγραμμένης φόρμας καθιστά αποτελεσματική σχέση μη γραμμική, διατηρώντας παράλληλα το γραμμικό μοντέλο. Με τη λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση καταλήγουμε αρχικά σε μια γραμμική συνάρτηση χρησιμότητας για το γεγονός που εξετάζεται.

Οι λογαριθμικοί μετασχηματισμοί είναι επίσης ένα βολικό μέσο για τη μετατροπή μιας μεταβλητής που έχει μεγάλη κλίση σε διάγραμμα διασποράς σε τιμές που έχουν ήπια κλίση στο ίδιο διάγραμμα. Τα παρακάτω απεικονίζονται στο Σχήμα 3.4 και Σχήμα 3.5



Σχήμα 3.4 Γράφημα διασποράς τιμών μεταβλητής  $x$ . Πηγή <https://stats.stackexchange.com/>



Σχήμα 3.5 Γράφημα διασποράς τιμών  $\log x$  του σχήματος 3.4. Πηγή <https://stats.stackexchange.com/>



**Interpretation of Log Models**

- ◆  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$ 
  - $\beta_1$  is the elasticity of  $y$  with respect to  $x$
- ◆  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 x + u$ 
  - $\beta_1$  is approximately the percentage change in  $y$  given a 1 unit change in  $x$
- ◆  $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$ 
  - $\beta_1$  is approximately the change in  $y$  for a 100 percent change in  $x$

Econometrics 8

Σχήμα 3.6 Μαθηματικές σχέσεις λογαριθμικών γραμμικών μοντέλων και επιρροή ανεξάρτητων μεταβλητών

Στο Σχήμα 3.6 φαίνονται οι διάφορες μαθηματικές σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφραστεί ένα λογαριθμικό μοντέλο.

Στη σχέση  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$  το  $y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,  $\beta_0$  ο σταθερός όρος,  $\beta_1$  ο συντελεστής του λογαρίθμου της ανεξάρτητης μεταβλητής,  $x$  η ανεξάρτητη μεταβλητή και  $u$  το σφάλμα. Το  $\beta_1$  είναι η ελαστικότητα της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  σε σχέση με την ανεξάρτητη μεταβλητή  $x$ .

Στη σχέση  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 x + u$  το  $\beta_1$  δείχνει το ποσοστό μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  για αλλαγή μίας μονάδας στην τιμή  $x$ .

Στη σχέση  $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$  το  $\beta_1$  δείχνει την μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  για 100% μεταβολή στην τιμή  $x$ .

### 3.5 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Τα κριτήρια βάσει των οποίων πραγματοποιείται η αξιολόγηση ενός μαθηματικού προτύπου μετά τη διαμόρφωσή του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών  $\beta_i$  της εκάστοτε εξίσωσης, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου καθώς και το σφάλμα της εξίσωσης.

- Λογική ερμηνεία των πρόσημων των συντελεστών

Θετικό πρόσημο του συντελεστή  $\beta_i$  συνεπάγεται αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντιθέτως, το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Επιπλέον, θα πρέπει να ερμηνεύεται λογικά και η τιμή του συντελεστή, καθώς αύξησης της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά μία μονάδα οδηγεί σε αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής κατά  $\beta_i$  μονάδες.

Σημαντικός έλεγχος για την αξιολόγηση του προτύπου είναι ο **έλεγχος t-test**. Μέσω του δείκτη  $t$  προσδιορίζεται η **στατιστική σημαντικότητα** των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή η επιλογή των μεταβλητών που θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής  $t$  εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

$$t = \frac{\beta_i}{s.e.}$$

Όπου s.e. το τυπικό σφάλμα (standard error).

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι μείωση του τυπικού σφάλματος επιφέρει αύξηση του συντελεστή  $t_{stat}$  και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του  $t$  κατά απόλυτη τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι κρίσιμες τιμές του συντελεστή  $t$  για το εκάστοτε επίπεδο εμπιστοσύνης.

Βαθμοί Ελευθερίας	Επίπεδο Εμπιστοσύνης				
	0,900	0,950	0,975	0,990	0.995
80	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
$\infty$	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Πίνακας 3.1 Κρίσιμες τιμές του συντελεστή  $t$  της Κατανομής Student

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% η τιμή  $t^* = 1,96$ , επομένως προκύπτει ότι για να συμπεριληφθεί κάποια μεταβλητή στο μοντέλο θα πρέπει να έχει συντελεστή  $t$  μεγαλύτερο του 1,96 κατά απόλυτη τιμή, έτσι ώστε να κρίνεται στατιστικά σημαντική. Στα μοντέλα λογαριθμικής παλινδρόμησης ισχύει ό,τι και σε αυτά της γραμμικής παλινδρόμησης.

- Το κριτήριο του  $R^2$

Η συνολική ποιότητα του μοντέλου ελέγχεται με τον συντελεστή προσαρμογής και ως κριτήριο καλής προσαρμογής χρησιμοποιείται ο συντελεστής  $R^2$ . Η μαθηματική σχέση που εκφράζει την τιμή  $R^2$  είναι η εξής.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

Όπου, SSE είναι το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων που δίνονται από τη σχέση  $SSE = \sum_{ni} (y_i - \hat{y}_i)^2$  και  $SST = \sum_{ni} (y_i - \bar{y}_i)^2$  είναι το άθροισμα του συνόλου τετραγώνων. Το  $\hat{y}_i$  είναι η προσαρμοσμένη τιμή για την παρατήρηση  $i$  και το  $\bar{y}_i$  είναι η μέση τιμή του  $Y$ .

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας μιας μεταβλητής από μια άλλη μεταβλητή και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όσο πιο κοντά στο 1 βρίσκεται η τιμή του  $R^2$ , τόσο πιο ισχυρή είναι η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Δεν απορρίπτεται απαραίτητα ένα μοντέλο με χαμηλή τιμή  $R^2$ . Είναι καλύτερη πρακτική να εξετάζεται η AIC και η ακρίβεια των προβλέψεων στο δείγμα όταν αποφασίζεται η αποτελεσματικότητα ενός μοντέλου.

-

- Adjusted R<sup>2</sup>

Αν προστεθούν  $X$  μεταβλητές σε ένα γραμμικό μοντέλο παρατηρείται ότι το  $R^2$  πάντα αυξάνεται συγκριτικά με το προηγούμενο μοντέλο που περιείχε λιγότερες μεταβλητές. Αυτό συμβαίνει διότι, καθώς όλες οι μεταβλητές που υπάρχουν στο αρχικό μοντέλο, η συμβολή τους στην εξήγηση της εξαρτημένης μεταβλητής θα υπάρχει και στο super-set, επομένως, οποιαδήποτε νέα μεταβλητή προστεθεί μπορεί να συνεισφέρει μόνο στην παραλλαγή που ήδη εξηγήθηκε. Εδώ έρχεται, η τιμή του Adjusted  $R^2$  να βοηθήσει. Το Adjusted  $R^2$  τιμωρεί τη συνολική αξία για των αριθμό των όρων στο μοντέλο. Επομένως, όταν συγκρίνονται μοντέλα, είναι καλή πρακτική να παρατηρείται η τιμή του adjusted  $R^2$  έναντι της τιμής του  $R^2$ . Η σχέση που υπολογίζει το adjusted  $R^2$  είναι η εξής:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{MSE}{MST}$$

Όπου,  $MSE$  είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που δίνεται από τη σχέση  $MSE = \frac{SSE}{(n-q)}$  και  $MST = \frac{SST}{(n-1)}$  είναι η μέση τιμή του συνόλου τετραγώνων, όπου  $n$  είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων και  $q$  είναι ο αριθμός συντελεστών στο μοντέλο.

- Standard Error and F-Statistic

Τα Standard errors και F-statistic είναι μέτρα καλής προσαρμογής του μοντέλου. Δίνονται από τις σχέσεις:

$$Std. Error = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{SSE}{n-q}}$$

$$F - statistic = \frac{MSR}{MSE}$$

Όπου,  $n$  ο αριθμός των παρατηρήσεων,  $q$  ο αριθμός συντελεστών και  $MSR$  είναι η μέση τετραγωνική παλινδρόμηση που υπολογίζεται ως,

$$MSR = \frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y})^2}{q-1} = \frac{SST - SSE}{q-1}$$

- AIC and BIC

Το Akaike Information Criterion – AIC (Akaike, 1974) και το Bayesian Information Criterion – BIC (Schwarz, 1978) είναι μέτρα προσαρμογής ενός εκτιμώμενου στατιστικού μοντέλου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή μοντέλου. Και τα δύο κριτήρια εξαρτώνται από τη μεγιστοποιημένη τιμή της συνάρτησης πιθανότητας (Likelihood function)  $L$  για το εκτιμώμενο μοντέλο.

Το AIC ορίζεται ως:

$$AIC = (-2) \times \ln(L) + (2 \times k)$$

Όπου,  $k$  είναι ο αριθμός των παραμέτρων στο μοντέλο. Το BIC ορίζεται ως:

$$BIC = (-2) \times \ln(L) + k \times \ln(n)$$

Όπου,  $n$  είναι ο αριθμός του δείγματος.

Για σύγκριση μοντέλων, προτιμάται το μοντέλο με χαμηλότερες τιμές AIC και BIC.

- Συσχέτιση

Η συσχέτιση είναι στατιστική μονάδα η οποία προτείνει το επίπεδο γραμμικής εξάρτησης μεταξύ 2 μεταβλητών, που συμβαίνουν σε ζεύγος. Η συσχέτιση παίρνει τιμές μεταξύ -1 και +1. Όσο μικρότερη τιμή τόσο καλύτερο για το μοντέλο. Αν 2 μεταβλητές έχουν τιμή συσχέτισης κοντά στην τιμή +1 τότε δε θα προκύψει στατιστικά ορθό μοντέλο

- Τιμή p-value

Οι τιμές p-Value είναι πολύ σημαντικές διότι, μπορεί να θεωρηθεί ένα γραμμικό μοντέλο στατιστικά σημαντικό μόνο όταν οι τιμές p-Value είναι μικρότερες από το προκαθορισμένο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας, όπου ιδανικά είναι 0,05. Αυτό ερμηνεύεται οπτικά από τα αστέρια στο τέλος της σειράς (Κεφάλαιο 5.4.4). Όσα περισσότερα αστέρια δίπλα από την τιμή p-Value τόσο πιο σημαντική είναι η μεταβλητή

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	1.6927	0.2002	8.455	5.43e-13	***
Manuever_Results_1\$logRL3	0.7519	0.1203	6.248	1.44e-08	***
---					
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Εικόνα 3.4 Στατιστική σημαντικότητα μεταβλητών. Τιμή p-Value

Παρακάτω παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας με τις κατάλληλες τιμές των στατιστικών μεγεθών ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια.

Στατιστικό μέγεθος	Κριτήριο
$R^2$	Μεγαλύτερη τιμή => Πιο Αξιόπιστο (>0.7)
Adj $R^2$	Μεγαλύτερη τιμή => Πιο Αξιόπιστο
F-Statistic	Μεγαλύτερη τιμή => Πιο Αξιόπιστο
Std.Error	Τιμή κοντά στο 0 => Πιο Αξιόπιστο
t-statistic	>1.96 ώστε το p-value να είναι μικρότερο από 0.05
AIC	Μικρότερη τιμή => Πιο Αξιόπιστο
BIC	Μικρότερη τιμή => Πιο Αξιόπιστο
MAPE (Mean absolute percentage error)	Μικρότερη τιμή => Πιο Αξιόπιστο
MSE (Mean squared error)	Μικρότερη τιμή => Πιο Αξιόπιστο

Πίνακας 3.2 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου. Πηγή <http://r-statistics.co/Linear-Regression>

## 4. Συλλογή στοιχείων

### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μέθοδος με την οποία συλλέχθηκαν τα δεδομένα για την επεξεργασία και την ανάλυση ώστε να ολοκληρωθεί η μελέτη.

### 4.2 Μέθοδος Συλλογής στοιχείων

Για την μελέτη, πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε προσομοιωτή οδήγησης. Πριν την εκκίνηση των δοκιμών, συμπληρώθηκε ερωτηματολόγιο με τη χρήση **Google Forms** όπου απαντήθηκαν οι εξής ερωτήσεις:

#### 1. Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα

- 1.1 Φύλο
- 1.2 Ηλικία

#### 2. Οδηγική εμπειρία συμμετέχοντα

- 2.1 Πόσα έτη κατέχει δίπλωμα οδήγησης
- 2.2 Πόσα χρόνια οδηγεί
- 2.3 Πόσες ημέρες οδηγεί την **εβδομάδα** σε αστικό περιβάλλον
- 2.4 Πόσα χιλιόμετρα διανύει την **εβδομάδα** σε αστικό περιβάλλον
- 2.5 Πόσες ημέρες οδηγεί το **μήνα** σε υπεραστικό περιβάλλον
- 2.6 Πόσα χιλιόμετρα διανύει το **μήνα** σε υπεραστικό περιβάλλον

#### 3. Οδηγική συμπεριφορά συμμετέχοντα

- 3.1 Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε **αστικό** περιβάλλον;
- 3.2 Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε **υπεραστικό** περιβάλλον;
- 3.3 Θεωρείτε ότι τα όρια ταχύτητας σε **υπεραστικό** περιβάλλον είναι σωστά;
- 3.4 Κατά την διαδικασία της προσπέρασης άλλου οχήματος σε υπεραστικό περιβάλλον οδού υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες υπερβαίνεται το όριο ταχύτητας;

#### 4. Ιστορικό οδικών συμβάντων συμμετέχοντα

- 4.1 Πόσες φορές έχει λάβει πρόστιμο για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας
- 4.2 Σε πόσα ατυχήματα έχει εμπλακεί ως οδηγός α) με υλικές ζημιές, β) με παθόντες

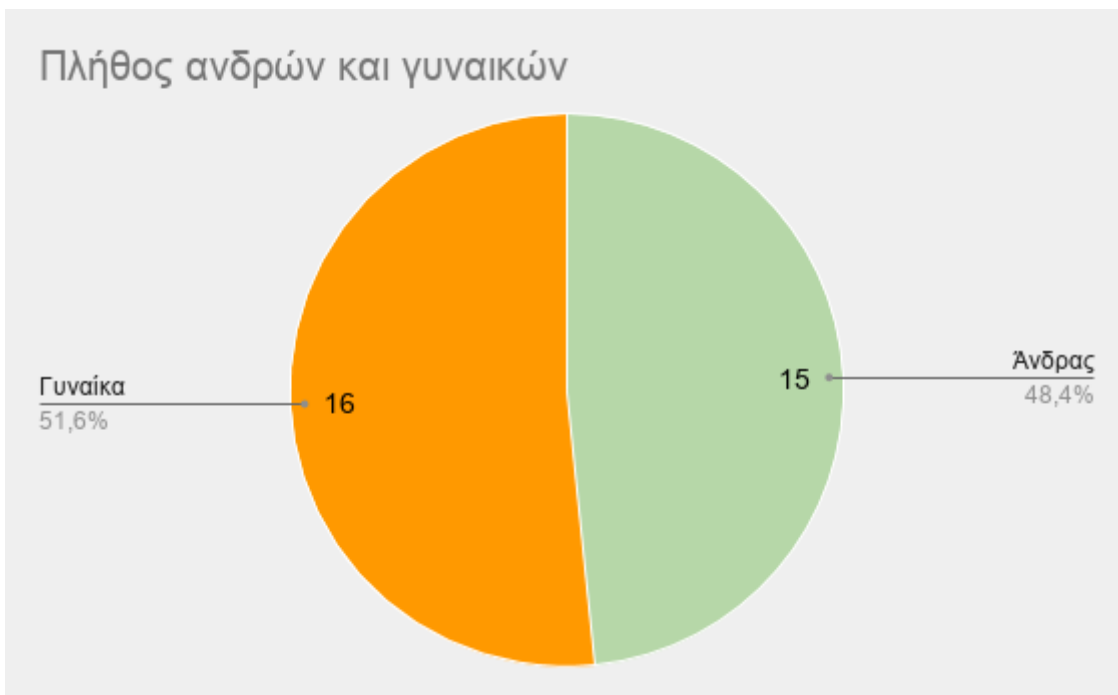
Στα πειράματα συνολικά συμμετείχαν 31 άτομα, 15 άνδρες και 16 γυναίκες, νεαρής ηλικίας 20-27 ετών, με μέσο όρο τα 24 έτη και μέσο όρο οδηγικής εμπειρίας τα 5 έτη. Η πλειοψηφία των ατόμων οδηγούσαν όχημα καθημερινά.

Συγκριτικά οι άνδρες θεωρούνται πιο έμπειροι οδηγοί αφού ο μέσος όρος που οδηγούν οι άνδρες ανέρχεται στα 6 έτη, ενώ των γυναικών στα 3 έτη.

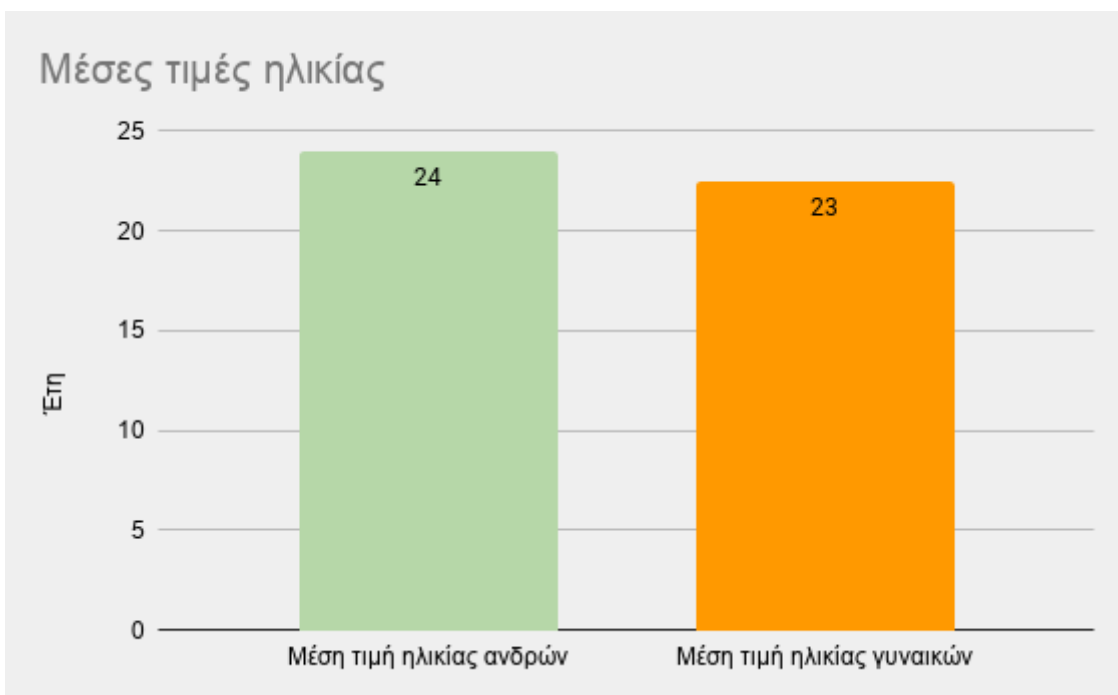
Η μέση τιμή ηλικίας των **ανδρών είναι 24 έτη** και των **γυναικών 23 έτη**.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι γυναίκες είναι πιο προσεκτικές στην οδήγηση καθώς οι άνδρες ως οδηγοί αθροιστικά έχουν **17 ατυχήματα εκ των οποίων 2 με παθόντες**, και ξεπερνούν τα όρια ταχύτητας πολύ συχνότερα από τις γυναίκες, ενώ οι γυναίκες αθροιστικά έχουν **9 ατυχήματα εκ των οποίων 1 με παθόντες**.

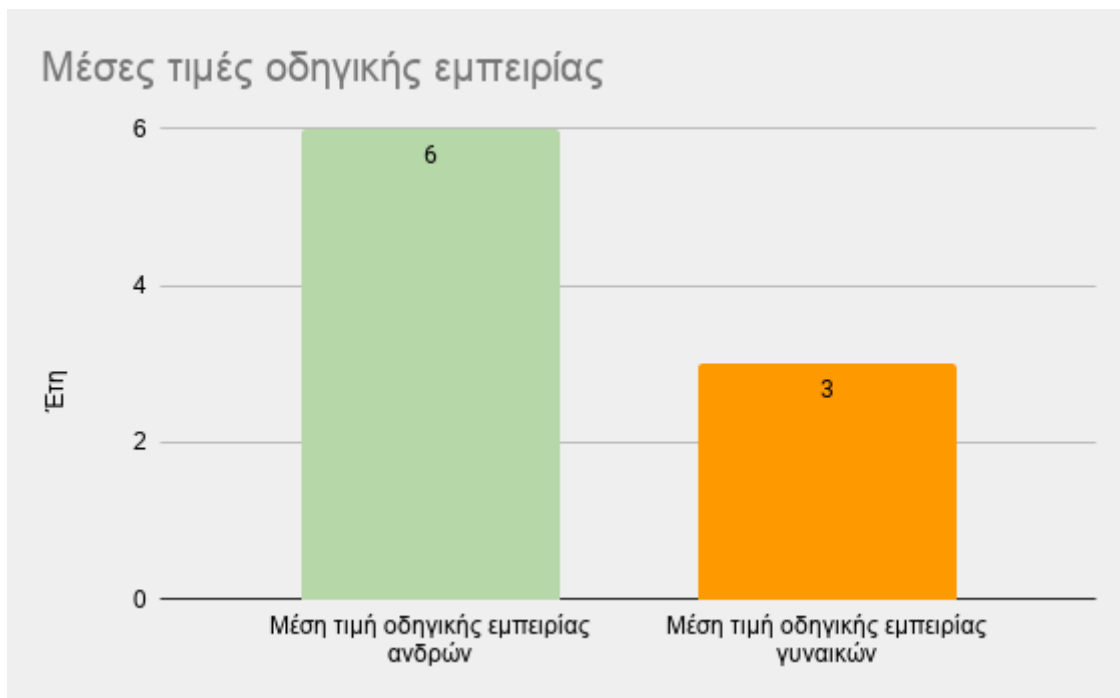
Όμως, για τη στατιστική ανάλυση δε κατηγοριοποιήθηκε το δείγμα με βάση τα χαρακτηριστικά του και η ανάλυση των δεδομένων έγινε ενιαία χωρίς να δοθεί βαρύτητα σε κάποιο από τα χαρακτηριστικά.



Σχήμα 4.1 Πλήθος ανδρών και γυναικών



Σχήμα 4.2 Μέσες τιμές ηλικίας

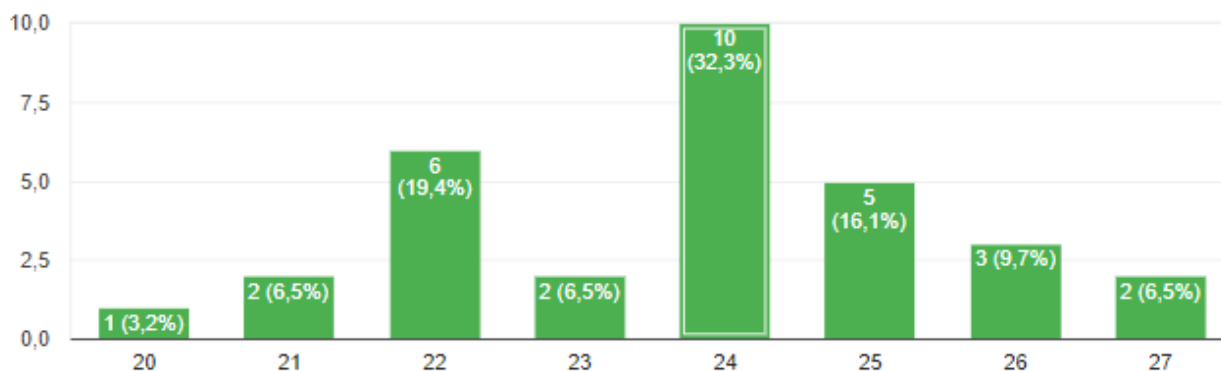


Σχήμα 4.3 Μέσες τιμές οδηγικής εμπειρίας

Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα με τις απαντήσεις του ερωτηματολογίου

Ηλικία

31 απαντήσεις

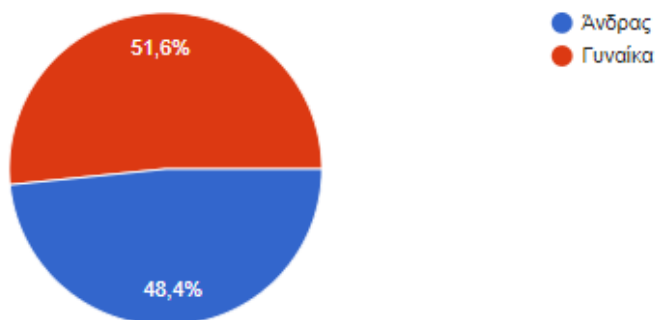


Σχήμα 4.4 Κατανομή Ηλικιών



Φύλο

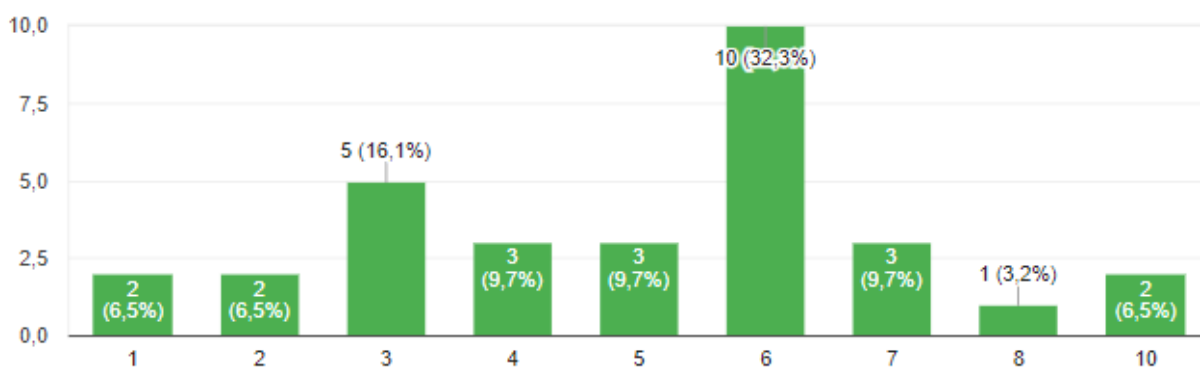
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.5 Κατανομή Φύλου

Πόσα έτη έχετε δίπλωμα οδήγησης;

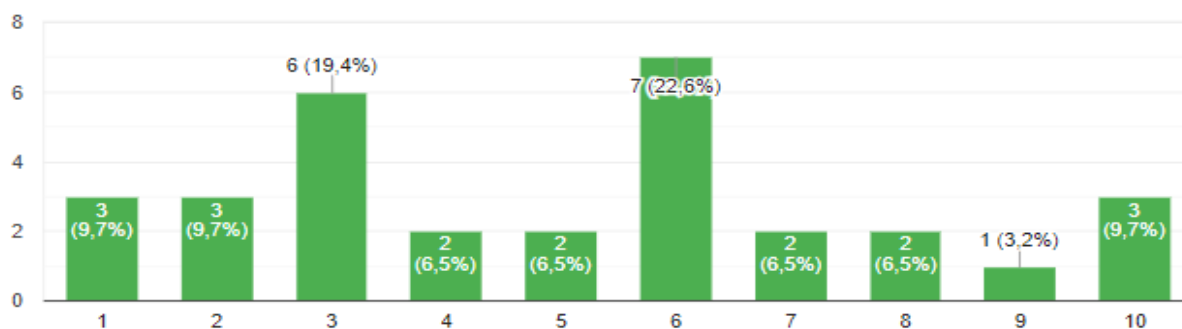
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.6 Κατανομή διάρκειας κατοχής διπλώματος

Πόσα χρόνια οδηγείτε;

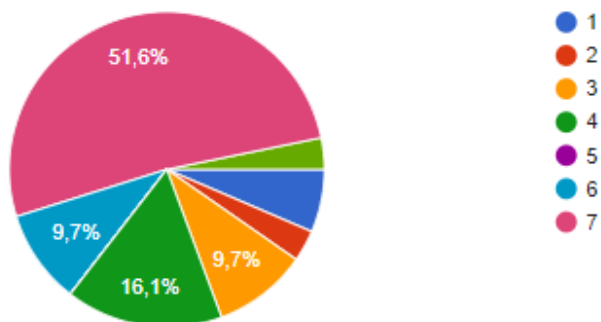
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.7 Κατανομή οδηγικής εμπειρίας σε έτη

Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον;

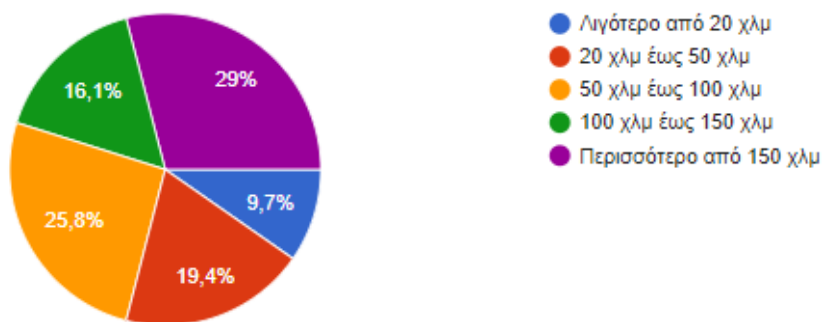
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.8 Κατανομή διάρκειας οδήγησης σε ημέρες ανά εβδομάδα, σε αστικό περιβάλλον

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον;

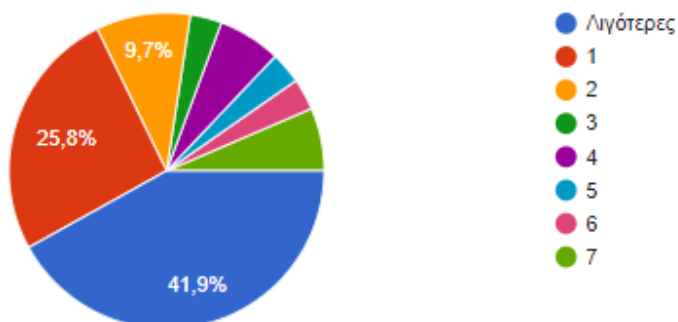
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.9 Χιλιόμετρα που διανύονται εβδομαδιαία σε αστικό περιβάλλον

Πόσες ημέρες οδηγείτε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον;

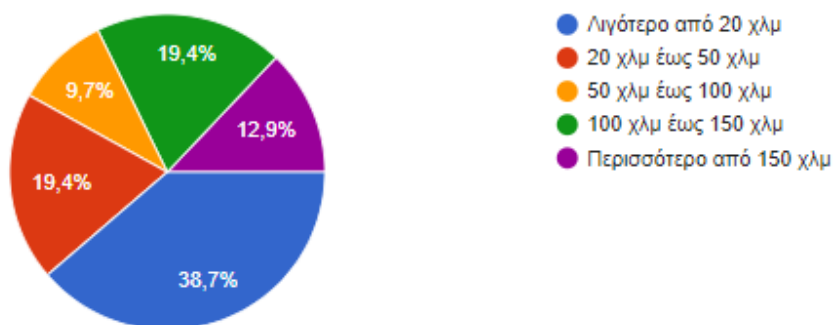
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.10 Κατανομή διάρκειας οδήγησης σε ημέρες ανά μήνα, σε υπεραστικό περιβάλλον

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον;

31 απαντήσεις

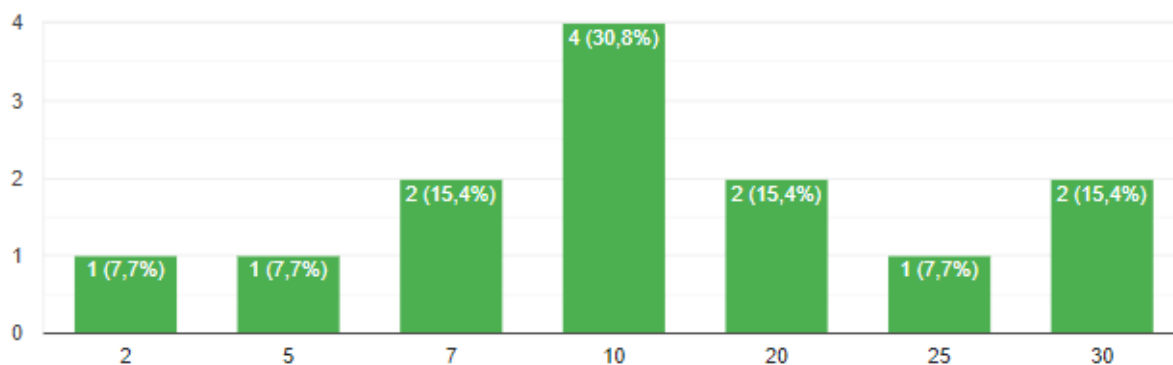


Σχήμα 4.11 Χιλιόμετρα που διανύονται μηνιαία σε υπεραστικό περιβάλλον

Η ερώτηση «Πόσες ημέρες κατά τη διάρκεια ενός έτους οδηγείτε σε **υπεραστικό περιβάλλον**;» τέθηκε μόνο σε όσους απάντησαν «Λιγότερες» στην ερώτηση, «Πόσες ημέρες οδηγείτε το μήνα σε **υπεραστικό περιβάλλον**;»

Πόσες ημέρες κατά τη διάρκεια ενός έτους οδηγείτε σε υπεραστικό περιβάλλον;

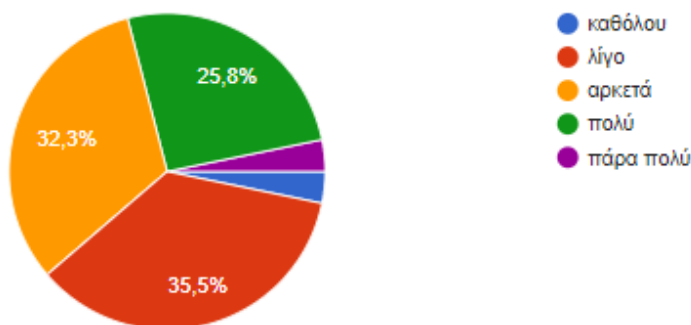
13 απαντήσεις



Σχήμα 4.12 Κατανομή διάρκειας οδήγησης σε ημέρες ανά έτος, σε υπεραστικό περιβάλλον

Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε αστικό περιβάλλον;

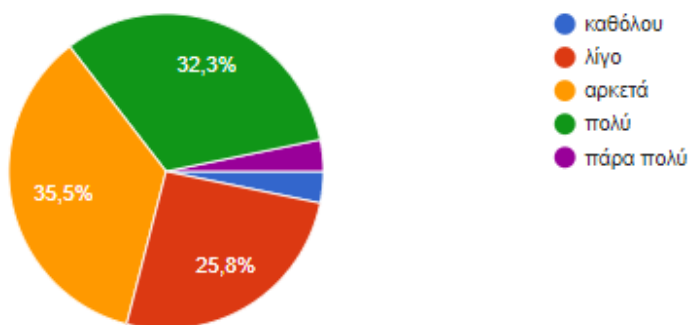
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.13 Συχνότητα τήρησης ορίων ταχυτήτων σε αστικό περιβάλλον

Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε υπεραστικό περιβάλλον;

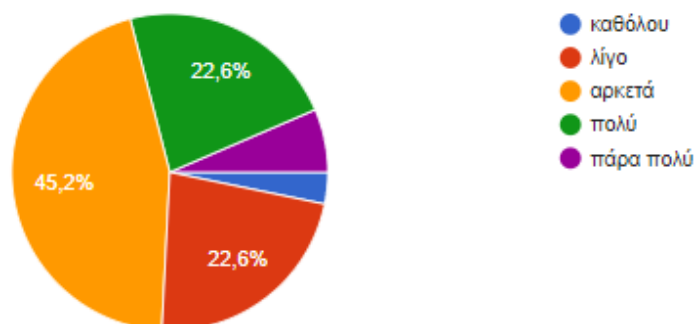
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.14 Συχνότητα τήρησης ορίων ταχυτήτων σε υπεραστικό περιβάλλον

Θεωρείτε ότι τα όρια ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον είναι σωστά;

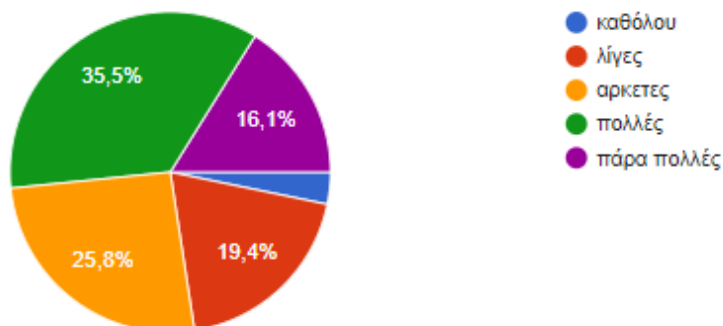
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.15 Αξιολόγηση ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον

Κατά τη διαδικασία της προσπέρασης άλλου οχήματος σε υπεραστικό περιβάλλον οδού υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες υπερβαίνετε το όριο ταχύτητας;

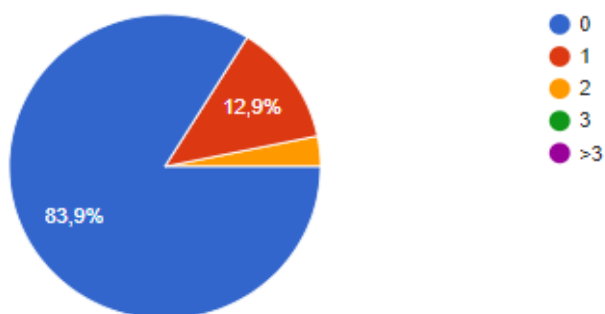
31 απαντήσεις



Σχήμα 4.16 Συχνότητα υπέρβασης ορίου ταχύτητας κατά την προσπέραση άλλου οχήματος σε υπεραστικό περιβάλλον

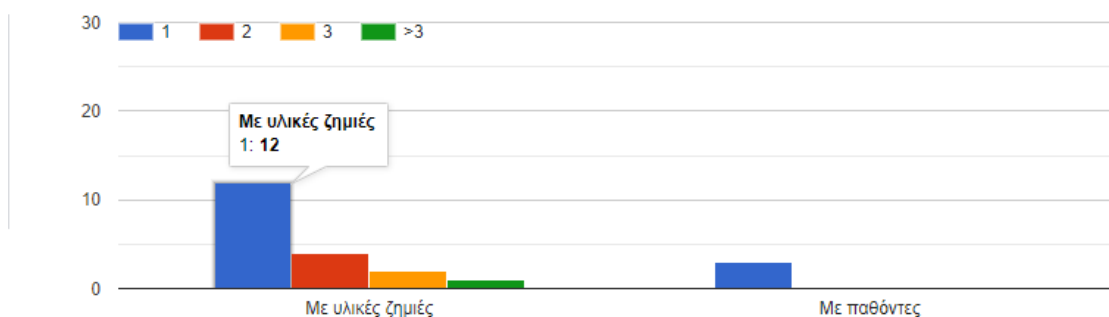
Πόσες φορές έχετε λάβει πρόστιμο για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας;

31 απαντήσεις



Σχήμα 4.17 Συχνότητα λήψης προστίμου

Σε πόσα ατυχήματα έχετε εμπλακεί ως οδηγός;



Σχήμα 4.18 Κατανομή ατυχημάτων με υλικές ζημιές ή με παθόντες

## 5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και επεξεργασίας δεδομένων

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η **μεθοδολογία** που χρησιμοποιήθηκε ώστε, αρχικά, να καταγραφούν τα δεδομένα και σε δεύτερη φάση να επεξεργαστούν κατάλληλα για την εκπόνηση της μελέτης.

### 5.2 Χάραξη τροχιάς μέσω προσομοιωτή οδήγησης

Αρχικά, η τροχιά της προσπέρασης έπρεπε να χαραχθεί ώστε να μελετηθεί. Η μέθοδος, η οποία επιλέχθηκε για τη χάραξη και την καταγραφή δεδομένων, ήταν η χρήση προσομοιωτή οδήγησης.

Το λογισμικό του προσομοιωτή δίνει τη δυνατότητα στο μελετητή να δημιουργήσει δικό του σενάριο. Για τη συγκεκριμένη μελέτη δημιουργήθηκε το εξής σενάριο, το οποίο επαναλήφθηκε τρεις φορές, για διαφορετικές ταχύτητες προσπέρασης κάθε φορά.

Σε **υπεραστική οδό δύο λωρίδων** βρίσκονται τρία προπορευόμενα οχήματα που απέχουν μεταξύ τους περίπου 100 μέτρα. Τη στιγμή που ξεκινά η καταγραφή των δεδομένων τα τρία προπορευόμενα οχήματα και το **όχημα του χρήστη** έχουν μηδενική ταχύτητα. Με σταθερή επιτάχυνση τα προπορευόμενα οχήματα φτάνουν τις **μέγιστες ταχύτητες των 50,60,70 χλμ/ώρα στην πρώτη, δεύτερη και τρίτη επανάληψη του πειράματος αντίστοιχα**. Η αρχική πορεία της οδού στην εκκίνηση του σεναρίου περιλαμβάνει αρκετές στροφές, έως ότου καταλήγει σε ευθύγραμμη πορεία μήκους περίπου 1500 μέτρων. Στο τέλος της ευθείας αυτής ολοκληρώνεται και το σενάριο.

Η πρώτη προσπάθεια των χρηστών είναι δοκιμαστική, ώστε να εξοικειωθεί ο χρήστης με το σύστημα του προσομοιωτή οδήγησης και να δοθούν οδηγίες από τον μελετητή. Οι οδηγίες περιλαμβάνουν δύο βασικούς περιορισμούς:

1. Ο χρήστης δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το όριο ταχύτητας για κάθε σενάριο. **Το όριο ταχύτητας του χρήστη είναι 20 χλμ/ώρα πάνω από την ταχύτητα των προπορευόμενων οχημάτων**. Για παράδειγμα στο πρώτο σενάριο (σενάριο 1) όπου τα προπορευόμενα οχήματα κινούνται με μέγιστη ταχύτητα τα 50 χλμ/ώρα, ο χρήστης έχει όριο ταχύτητας τα 70 χλμ/ώρα.
2. Για την διευκόλυνση της καταγραφής των δεδομένων, **ο χρήστης δεν εκτελεί ελιγμό προσπέρασης μέχρι τα οχήματα να εισέλθουν στην ευθεία**. Εν συνεχεία του προηγούμενου παραδείγματος, στο σενάριο 1, όταν ξεκινάει η ευθεία, ο χρήστης προσεγγίζει το προπορευόμενο όχημα με 50 χλμ/ώρα και καθώς πραγματοποιεί τον ελιγμό προσπέρασης επιταχύνει έως τα 70 χλμ/ώρα.

Το λογισμικό του προσομοιωτή καταγράφει τα δεδομένα κατά τη διάρκεια του πειράματος. Σε κάθε σενάριο πραγματοποιήθηκαν **δύο έως τρεις προσπεράσεις**. Συνολικά καταγράφηκαν από 31 χρήστες **211 ελιγμοί προσπέρασης**. Ελιγμοί οι οποίοι ξεπέρασαν τα όρια ταχύτητας κατά 10 χλμ/ώρα, καθώς και ελιγμοί οι οποίοι πραγματοποιήθηκαν πριν ξεκινήσει η ευθεία κρίθηκαν ακατάλληλοι και αποκλείστηκαν από τη στατιστική ανάλυση.



Εικόνα 5.1 Εκτέλεση πειράματος στον προσομοιωτή οδήγησης

### 5.2.1 Διαδικασία καταγραφής δεδομένων από λογισμικό προσομοιωτή οδήγησης

Κατά την εκκίνηση του πειράματος το λογισμικό του προσομοιωτή καταγράφει δεδομένα σε αρχείο **txt**. Τα αρχεία αυτά ονομάζονται **Logfiles**. Η καταγραφή γίνεται **60 φορές το δευτερόλεπτο**. Ενδεικτικά, σε ένα πείραμα διάρκειας 3 λεπτών καταγράφηκαν περισσότερα από 10000 σημεία δεδομένων. Το αρχείο txt περιλαμβάνει 33 στήλες δεδομένων.

1	Time	current real-time in milliseconds since start of the drive.
2	x-pos	x-position of the vehicle in m.
3	y-pos	y-position of the vehicle in m.
4	z-pos	z-position of the vehicle in m.
5	Road	road number of the vehicle in [int].
6	Richt	direction of the vehicle on the road in [BOOL] (0/1).
7	Rdist	distance of the vehicle from the beginning of the drive in m.
8	Rspur	track of the vehicle from the middle of the road in m.
9	Ralpha	direction of the vehicle compared to the road direction in degrees.
10	Dist	driven course in meters since begin of the drive.
11	Speed	actual speed in km/h.
12	Brk	brake pedal position in percent.
13	Acc	gas pedal position in percent.
14	Clutch	clutch pedal position in percent.
15	Gear	chosen gear (0 = idle, 6 = reverse).
16	Rpm	motor revolation in 1/min.
17	Hway	headway, distance to the ahead driving vehicle in m.
18	Dleft	Distance to the left road board in meter.
19	Dright	Distance to the right road board in meter.
20	Wheel	Steering wheel position in degrees.
21	Thead	time to headway, i. e. to collision with the ahead driving vehicle, in seconds
22	Ttl	time to line crossing, time until the road border line is exceeded, in seconds
23	Ttc	time to collision (all obstacles), in seconds.
24	Acclat	acceleration lateral, in m/sA2
25	acclon	acceleration longitudinal, in m/sA2
26	Evvis	event-visible-flag/event-indication, 0 = no event, 1 = event.
27	Evdist	event-distance in m.
28	Errlno	number of the most important driving failure since the last data set
29	errlval	state date belonging to the failure, content varies according to type of failure
31	err2val	additional date to failure 2.
32	err3no	number of a further driving failure (maybe empty).
33	err3val	additional date to failure 3.

Πίνακας 5.1 Πίνακας συλλεγόμενων μεταβλητών. Πηγή: DR –ING.REINER FOERST GMB



Για την παρούσα διπλωματική εργασία, χρειάζονται τα έξι. Αυτά είναι τα:

- **Time** , χρονική στιγμή του πειράματος
- **x-pos** , χιλιομετρική θέση του οχήματος του χρήστη
- **z-pos** , εγκάρσια θέση του οχήματος σε σύγκριση με ένα σημείο που ορίστηκε στο σενάριο
- **Speed** , ταχύτητα του οχήματος του χρήστη
- **Acc** , επιτάχυνση του οχήματος του χρήστη
- **Headway**, απόσταση οχήματος του χρήστη από το προπορευόμενο όχημα

### 5.3 Επεξεργασία ακτινών τροχιάς προσπέρασης μέσω γωνιακού διαγράμματος

Σε δεύτερη φάση τα καταγεγραμμένα δεδομένα του προσομοιωτή οδήγησης έπρεπε να επεξεργαστούν κατάλληλα, ώστε να αναλυθούν και να ολοκληρωθεί το τελικό μοντέλο. Η επεξεργασία έγινε μέσω του γωνιακού διαγράμματος σε υπολογιστικό φύλλο Microsoft excel. Το αρχείο αποτελείται από τρία φύλλα.

Στο **πρώτο φύλλο** εισάγονται τα δεδομένα από το Logfile. Επειδή η καταγραφή δεδομένων από τον προσομοιωτή γίνεται 60 φορές το δευτερόλεπτο, αποφασίστηκε ότι δεν είναι απαραίτητο να είναι τόσο πυκνές οι μετρήσεις, αφού η τάξη μεγέθους της κάθε προσπέρασης είναι στα 220 μέτρα κατά μέσο όρο και έχουν διάρκεια περίπου 14 δευτερόλεπτα. Συνεπώς, για την υφιστάμενη μελέτη τα σημεία της προσπέρασης σημειώνονται κάθε 0,3 δευτερόλεπτα.

Στο **δεύτερο φύλλο**, φαίνονται όλα τα δεδομένα του Logfile με τη χρονική διαφορά κάθε σημείου να είναι τα 0,3 δευτερόλεπτα. Στο φύλλο αυτό εμφανίζεται ένα διάγραμμα το οποίο έχει στον οριζόντιο άξονα τις τιμές **x-pos** και στον κατακόρυφο άξονα τις τιμές **z-pos**. Με τις τιμές αυτές, μπορούν να διακριθούν οι τροχιές των δύο ή τριών προσπεράσεων που εκτέλεσε ο χρήστης κατά τις δοκιμές στον προσομοιωτή οδήγησης. Η κάθε προσπέραση αποτελείται από 30-50 σημεία τα οποία σχηματίζονται ως μπλε κουκίδες στο διάγραμμα.



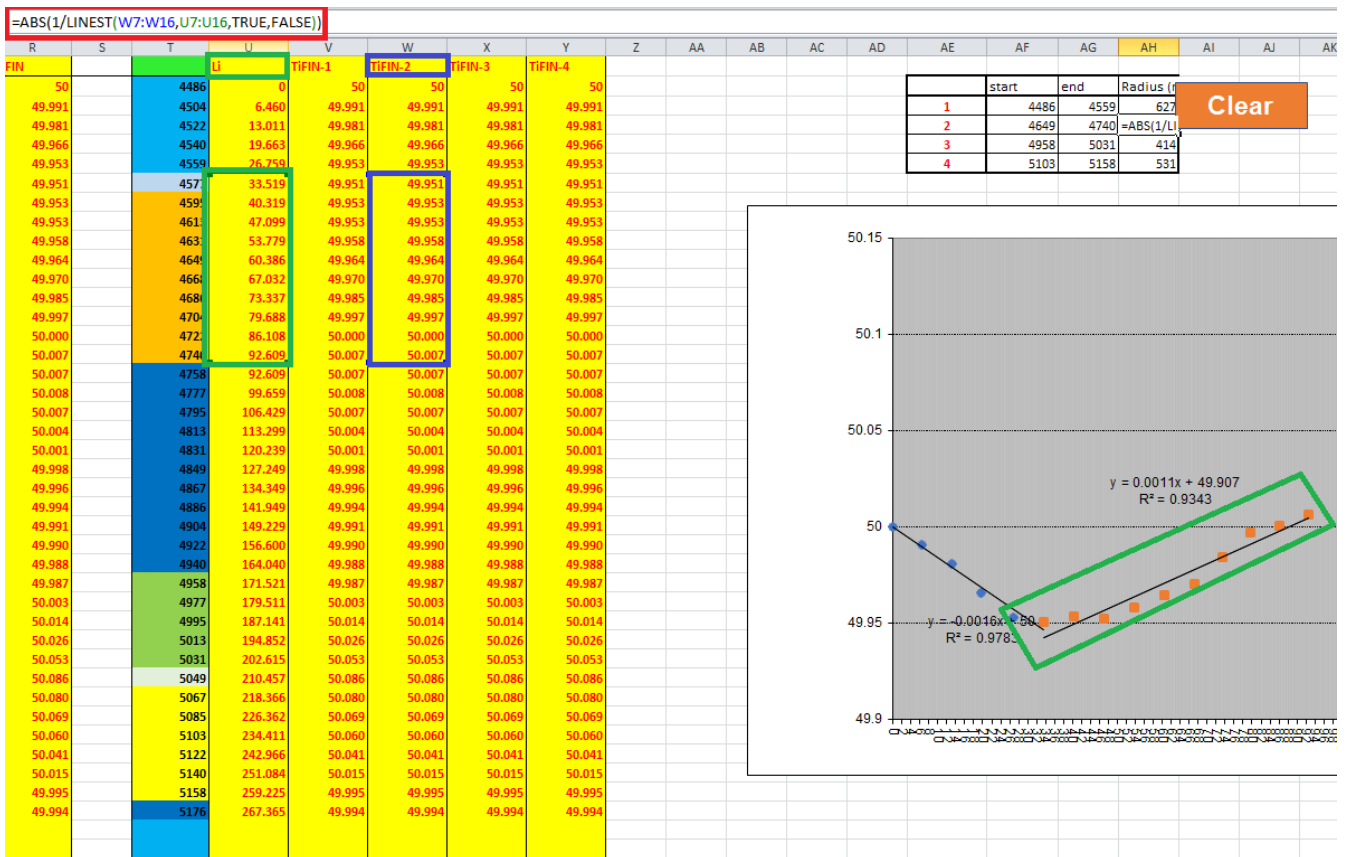
Εικόνα 5.2 Τροχιά προσπέρασης στο γωνιακό διάγραμμα

Από αυτά τα σημεία που φαίνονται στο διάγραμμα, σημειώθηκαν για κάθε προσπέραση το πρώτο και το τελευταίο σημείο της. Έπειτα, με μια μακροεντολή στο υπολογιστικό φύλλο απομονώθηκαν τα σημεία κάθε προσπέρασης δίνοντας τις τιμές **“Start point of overtaking”** & **“End point of**

overtaking”. Τα δεδομένα του αρχικού, τελικού και ενδιάμεσων σημείων μεταφέρονται στο **τρίτο φύλλο** του αρχείου.

Στο **τρίτο φύλλο**, ξεκινά η επεξεργασία. Αρχικά ορίζονται και υπολογίζονται οι **τέσσερις** ακτίνες της προσπέρασης με τη μέθοδο που αναφέρθηκε στην **Παράγραφο 3.2** και φαίνεται στο Σχήμα 3.2 Ακτίνες καμπυλότητας τροχιάς προσπέρασης.

Στη μέθοδο αυτή, **ορίζεται για κάθε καμπύλη το εύρος των χιλιομετρικών θέσεων και του αζιμουθίου της**. Στην εικόνα 5.3 με **πράσινο και μπλε πλαίσιο** φαίνονται τα δύο εύρη. Στη συνέχεια, δημιουργείται μία γραμμή τάσης όπου έχει επίπεδο αξιοπιστίας  $R^2$  και εκφράζεται μαθηματικά από γραμμική συνάρτηση της μορφής  $y = ax + b$ . Στα δεξιά της εικόνας 5.3 φαίνονται με **μπλε και πορτοκαλί κουκίδες** δύο γραμμές τάσεις, οι μαθηματικές σχέσεις που τις εκφράζουν, καθώς και οι τιμές των  $R^2$  (πρώτη και δεύτερη καμπύλη προσπέρασης). Στόχος είναι η καλύτερη προσαρμογή της γραμμής, ώστε η τιμή  $R^2$  να πλησιάζει την τιμή 1. **Η τιμή της ακτίνας καμπυλότητας υπολογίζεται ως η αντίστροφη τιμή του συντελεστή α της παραπάνω μαθηματικής σχέσης**. Η τιμή της δεύτερης ακτίνας που υπολογίζεται από τη σχέση στο κόκκινο πλαίσιο υπολογίστηκε στα 951 μέτρα (1/0,001051)



Εικόνα 5.3 Υπολογιστικό φύλλο γωνιακού διαγράμματος.

Έπειτα, για κάθε ακτίνα σημειώθηκε **η μέση ταχύτητα, η μέση επιτάχυνση και υπολογίστηκε το μήκος τόξου της κάθε ακτίνας** ως η διαφορά των χιλιομετρικών θέσεων αρχικού με τελικού σημείου της κάθε καμπύλης. Συγκεκριμένα για **την πρώτη και την τέταρτη – τελευταία καμπύλη** σημειώθηκαν και **οι αποστάσεις που είχε το όχημα του χρήστη σε σχέση με το αντίστοιχο που προσπερνάται**. Για την πρώτη ακτίνα σημειώνεται η απόσταση τη χρονική στιγμή που το όχημα

έχει αρχίσει να μεταφέρεται στην αριστερή λωρίδα. Για την τέταρτη ακτίνα σημειώνεται η απόσταση τη χρονική στιγμή όπου το όχημα του χρήστη έχει επαναφερθεί στην αρχική λωρίδα.

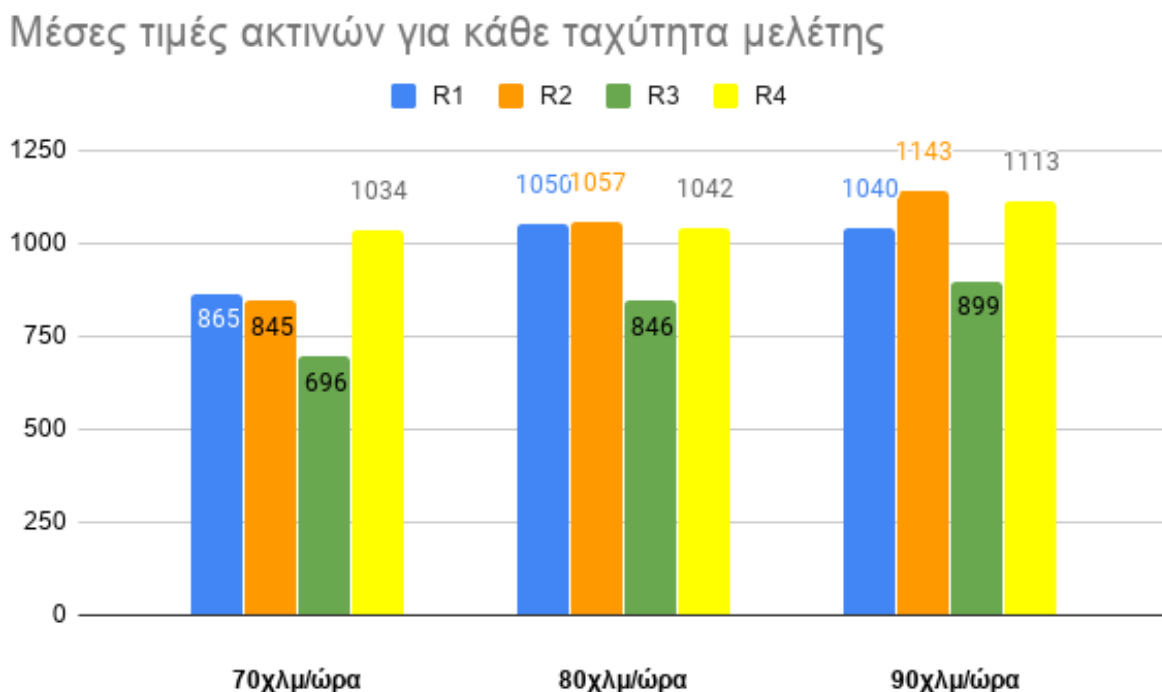
Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε για 211 προσπεράσεις.

### 5.3.1 Αποτελέσματα

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων με τη μέθοδο του γωνιακού διαγράμματος.

Αρχικά, καταγράφηκαν τα αποτελέσματα σε πίνακα, με χρήση υπολογιστικού φύλλου **Google Sheets** για τον κάθε χρήστη ξεχωριστά.

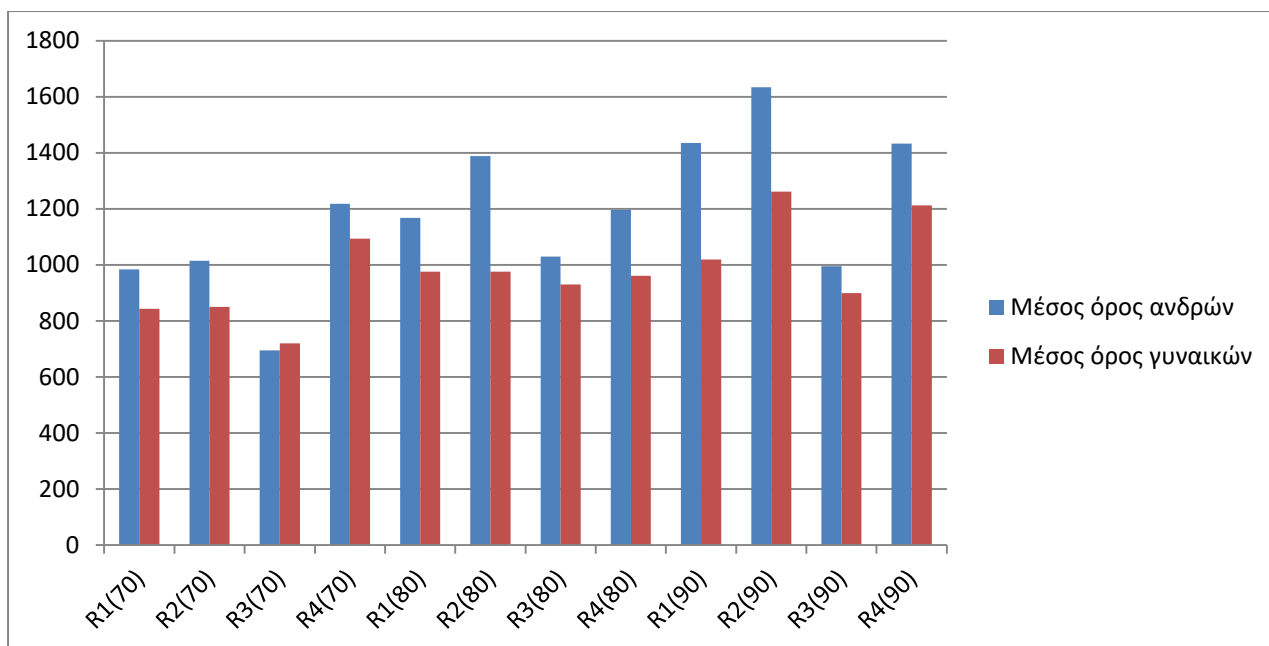
Οι μέσες τιμές των ακτινών που υπολογίσθηκαν φαίνονται στο σχήμα 5.1



Σχήμα 5.1 Μέσες τιμές ακτινών για κάθε ταχύτητα μελέτης

Τα αποτελέσματα κατηγοριοποιήθηκαν κατά άνδρες και γυναίκες. Οι μέσοι όροι των ακτινών για κάθε σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Σημειώνεται πως όσο μεγαλύτερη η ακτίνα τόσο πιο ομαλή είναι η οδήγηση.



Σχήμα 5.2 Μέσοι όροι ανδρών και γυναικών

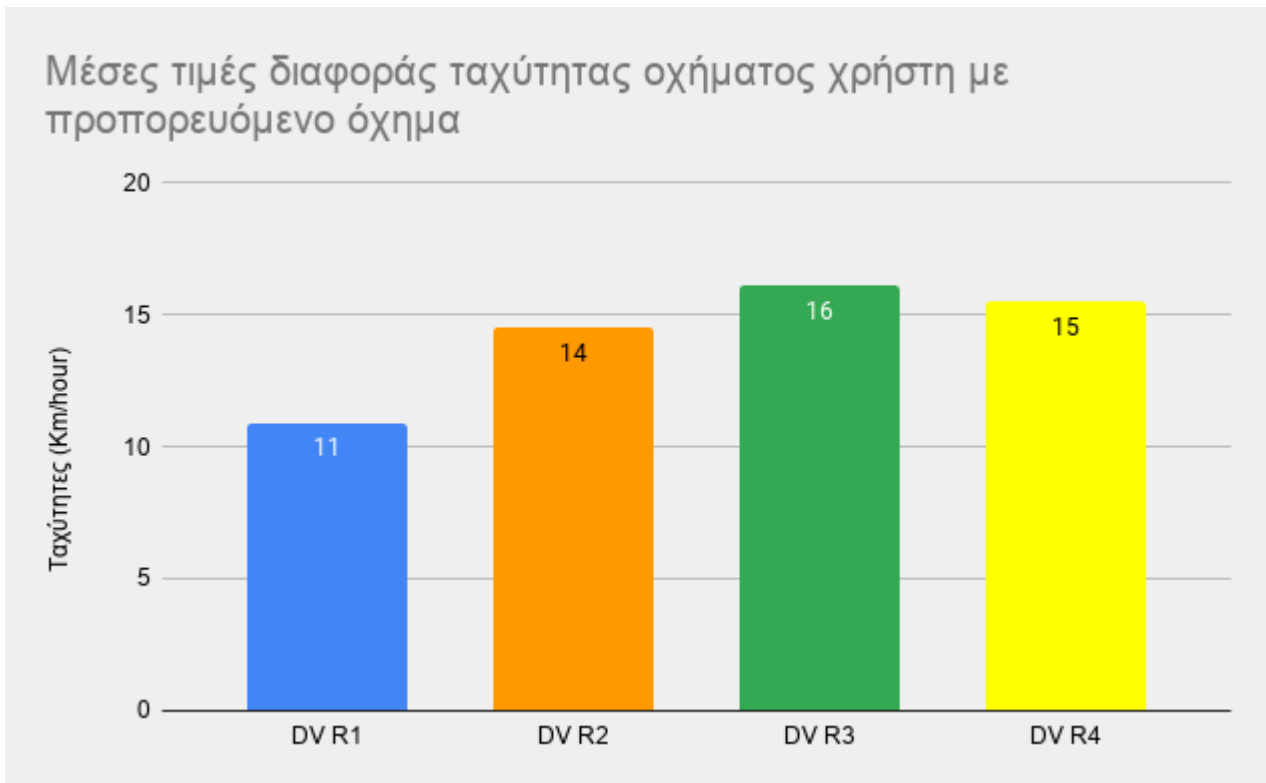
Από το σχήμα 5.2 φαίνεται ότι οι άντρες οδηγούν πιο ομαλά σε σύγκριση με τις γυναίκες.

Ακόμα υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων για τις δύο πρώτες προσπεράσεις του κάθε σεναρίου. Η τρίτη προσπέραση αποκλείστηκε από τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης, διότι τα αποτελέσματα ήταν πολύ λιγότερα σε πλήθος συγκριτικά με τις δύο πρώτες προσπεράσεις (περίπου 15% των χρηστών πραγματοποίησε τρίτη προσπέραση στα πειράματα του προσομοιωτή). Για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης των ακτινών χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση STDEV του Google Sheet. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Τυπική απόκλιση $s^2$		
	A προσπέραση	B προσπέραση
R1(70)	600,9	600,9
R2(70)	828,0	531,1
R3(70)	341,0	269,5
R4(70)	829,9	541,2
R1(80)	480,3	447,3
R2(80)	759,9	695,4
R3(80)	693,2	507,4
R4(80)	739,0	397,9
R1(90)	885,4	702,8
R2(90)	794,0	1149,0
R3(90)	635,7	602,8
R4(90)	1168,8	654,9

Πίνακας 5.2 Τυπική απόκλιση ακτινών

Για την υφιστάμενη μελέτη, τα δεδομένα ενοποιήθηκαν. Αυτό σημαίνει ότι δεν έγινε διαχωρισμός των ταχυτήτων μελέτης, και τα δεδομένα αναλύθηκαν ως ενιαίο σύνολο. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε μία νέα μεταβλητή που ονομάστηκε DV (Difference of Velocities) . Η DV υπολογίζεται ως η διαφορά ταχύτητας του οχήματος του χρήστη σε σχέση με την ταχύτητα του προπορευμένου οχήματος. Η τιμές δηλαδή κυμαίνονται από 15-25 km/hour.



Σχήμα 5.3 Μέσες τιμές διαφοράς ταχύτητας οχήματος χρήση με προπορευόμενο όχημα

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπήρξαν μεγάλες διαφορές στις τιμές των μεταβλητών ανάλογα με τη σειρά κάθε προσπέρασης (1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup>). Στην 1<sup>η</sup> προσπέραση ο χρήστης ακλουθούσε το προπορευόμενο όχημα με την ταχύτητα του και στη συνέχεια επιτάχυνε έως το όριο ταχύτητας του σεναρίου. Στις επόμενες δύο προσπεράσεις ο χρήστης είχε σταθερή ταχύτητα και μικρή επιτάχυνση καθ' όλη τη διάρκεια του ελιγμού προσπέρασης (**flyover**), συνεπώς η κίνηση του ήταν, προσεγγιστικά, ευθύγραμμη ομαλή. **Για το λόγο αυτό, στην παρούσα διπλωματική εργασία η μελέτη έγινε αποκλειστικά για την πρώτη προσπέραση που εκτέλεσαν οι χρήστες, δηλαδή την επιταχυνόμενη προσπέραση.** Τα υπόλοιπα δεδομένα που καταγράφηκαν θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν σε μελλοντικές μελέτες.

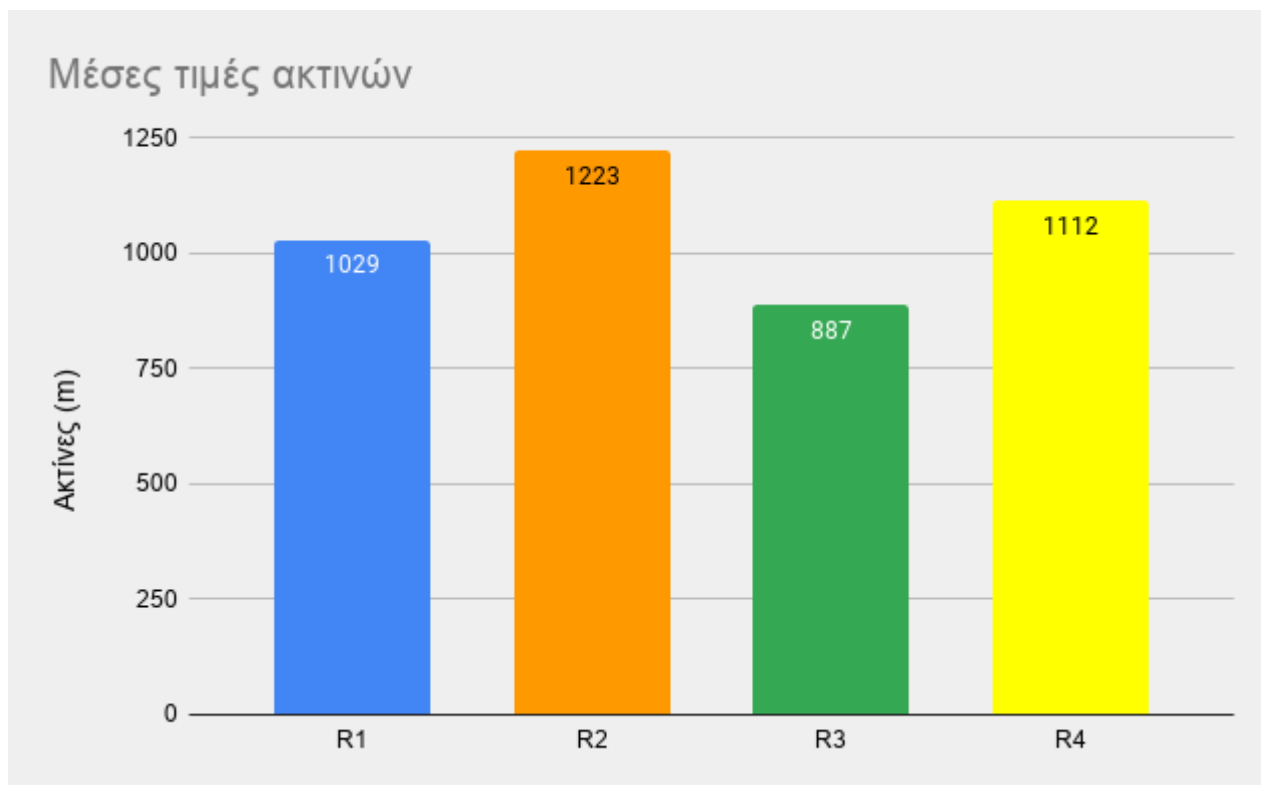
Για να ολοκληρωθεί η ανάλυση και να δημιουργηθεί το μοντέλο, έπρεπε να αποφασιστεί ποια από τα δεδομένα που καταγράφει ο προσομοιωτής οδήγησης είναι τα ποιοτικότερα για τη μελέτη. Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, κρίθηκε ότι υπήρχε έλλειψη σε έρευνα η οποία να **προβλέπει τις ακτίνες επάλληλων τόξων αντίρροπης καμπυλότητας της τροχιάς της προσπέρασης**. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

- Ταχύτητα (km/hour)
- Επιτάχυνση (km/hour<sup>2</sup>)
- Μήκος καμπύλης (m)
- Headway (m)
- DV (km/hour)
- Συνολικό μήκος προσπέρασης – Overtaking Zone (m)

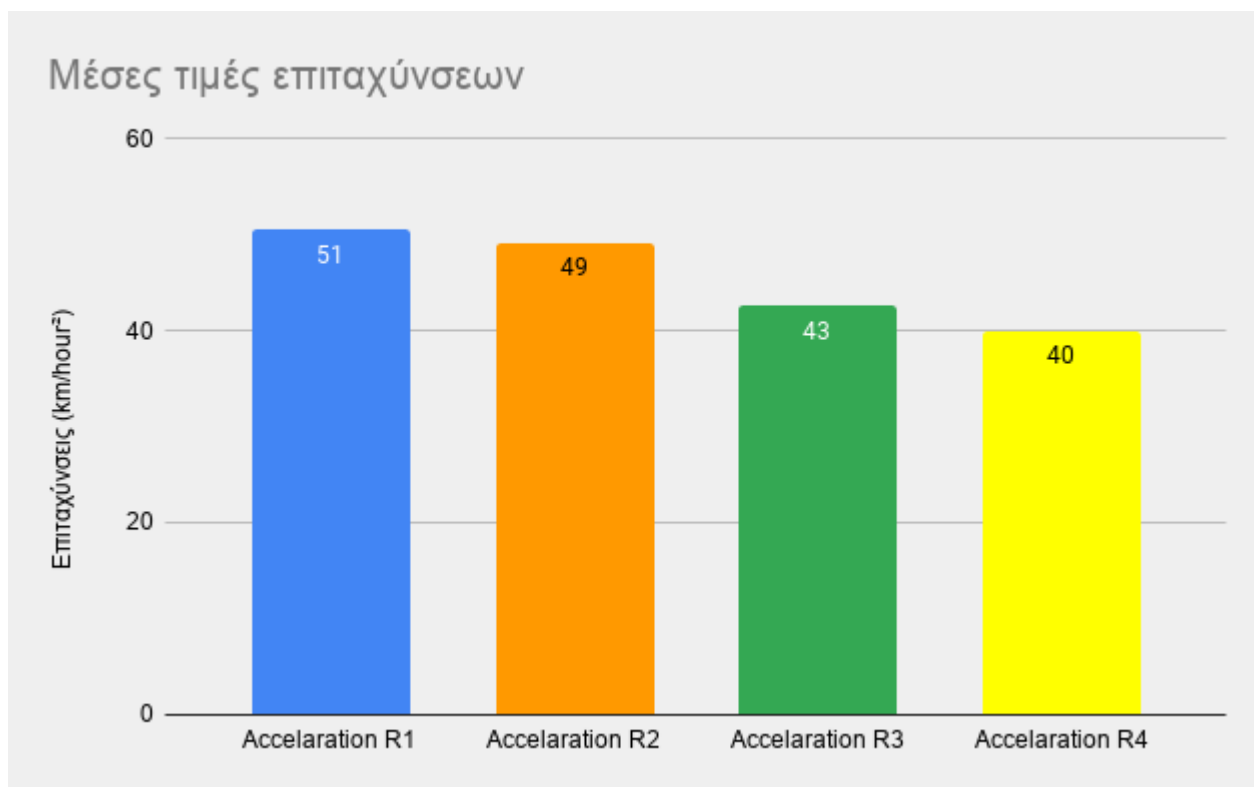
Το Headway είναι η απόσταση του οχήματος του χρήστη με το προπορευόμενο όχημα τη στιγμή που έχει πλήρως μεταφερθεί στην αριστερή λωρίδα. Η τιμή Headway επίσης μετρήθηκε όταν το όχημα επαναφερόταν στην αρχική λωρίδα και ορίζεται ως η απόσταση των δύο οχημάτων, όταν το όχημα του χρήστη έχει ολοκληρώσει πλέον την προσπέραση.

Τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκαν επιμέρους για κάθε μία από τις τέσσερις καμπύλες που διαγράφονται στον ελιγμό προσπέρασης.

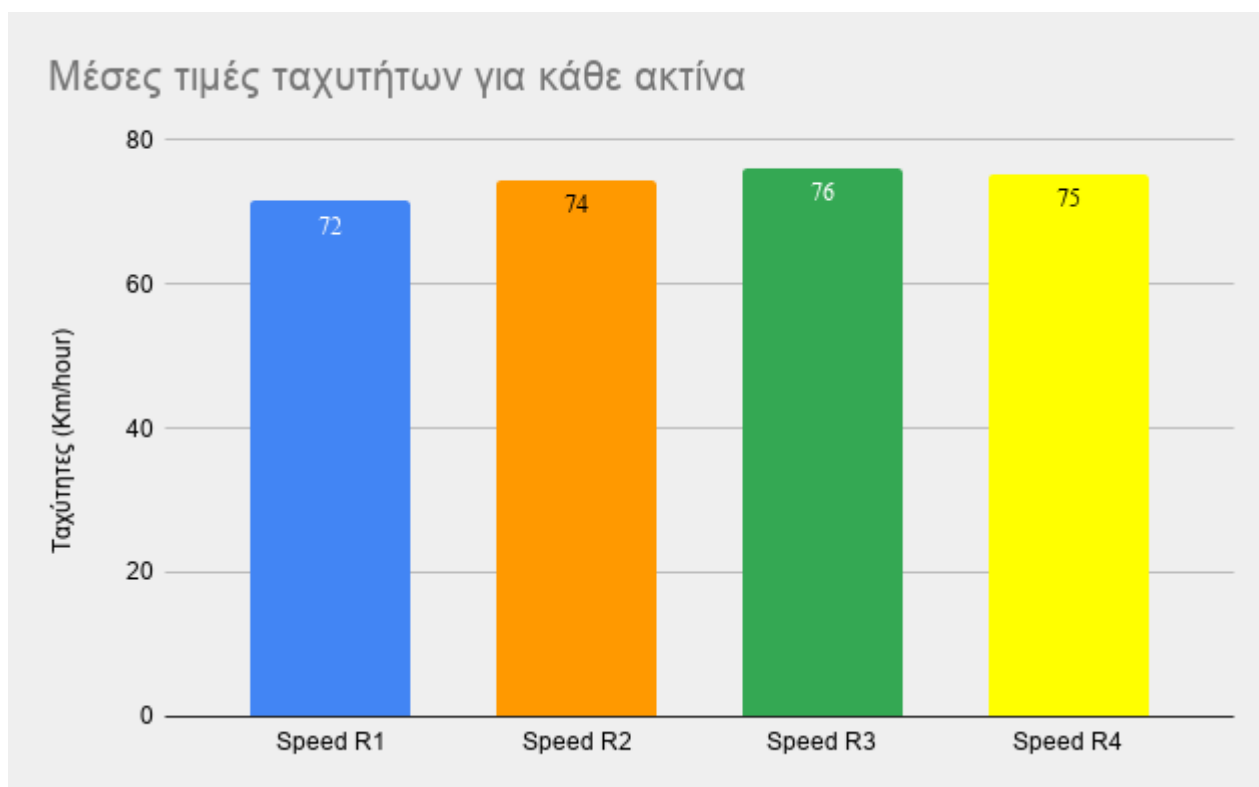
Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται οι μέσες τιμές των μεταβλητών που αναφέρθηκαν παραπάνω για κάθε καμπύλη.



Σχήμα 5.4 Μέσες τιμές ακτινών

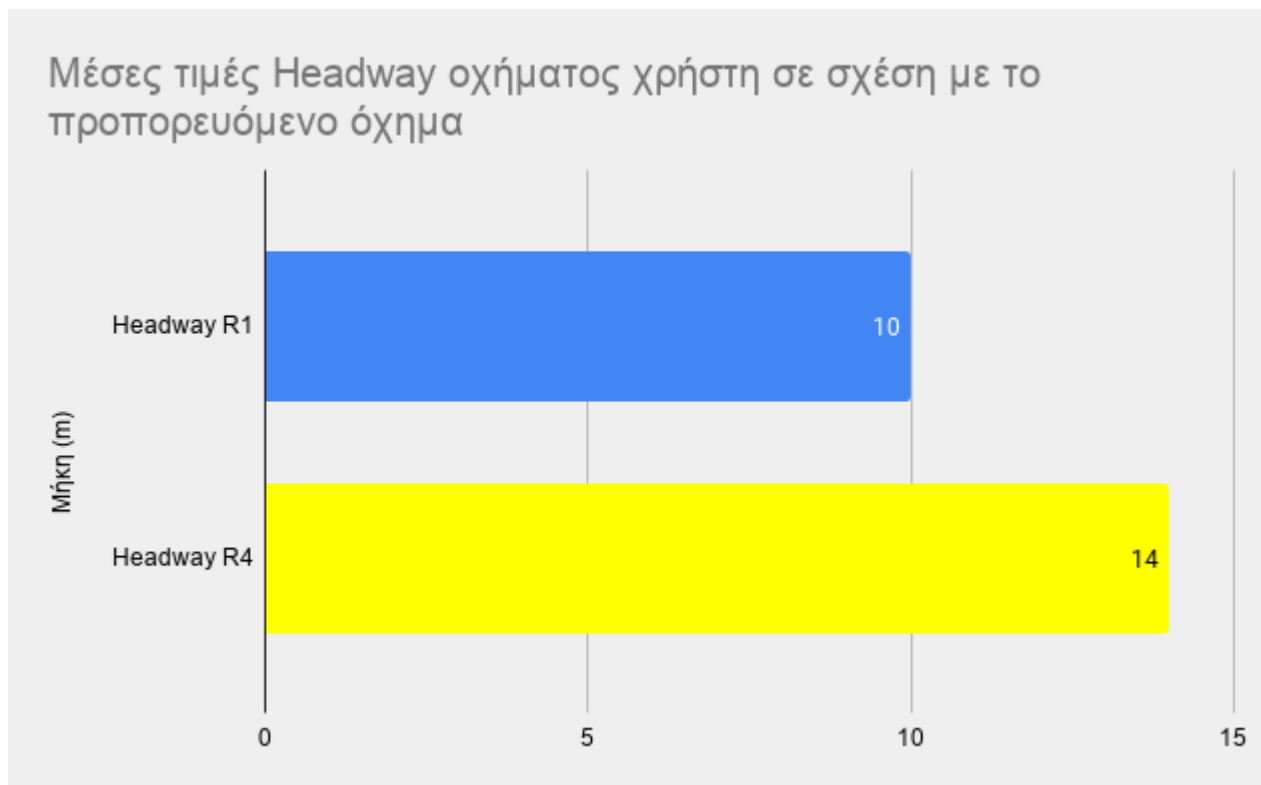


Σχήμα 5.5 Μέσες τιμές επιταχύνσεων

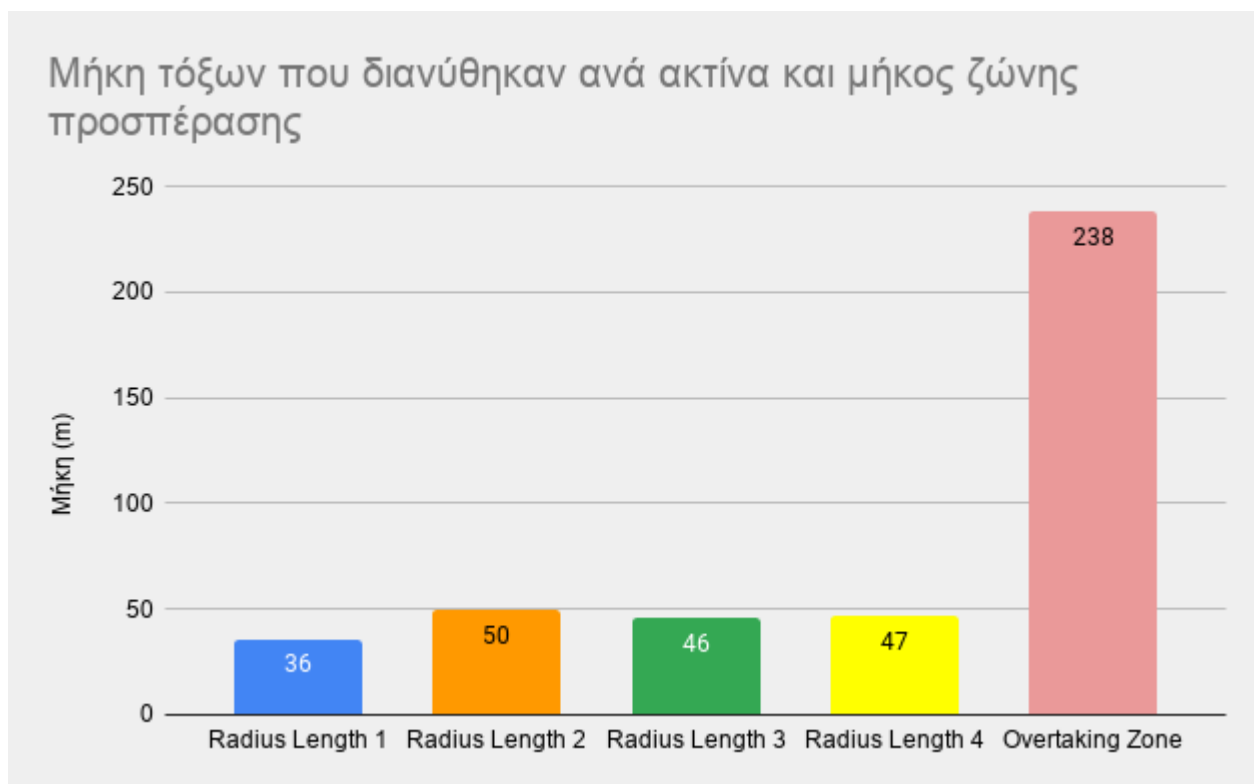


Σχήμα 5.6 Μέσες τιμές ταχυτήτων για κάθε ακτίνα





Σχήμα 5.7 Μέσες τιμές Headway



Σχήμα 5.8 Μήκη τόξων που διανύθηκαν ανά ακτίνα και μήκος ζώνης προσπέρασης

## 5.4 Στατιστικό πρότυπο γραμμικής παλινδρόμησης

### 5.4.1 Εισαγωγή δεδομένων στο R-Studio

Σε πρώτο στάδιο δημιουργήθηκε ένας πίνακας σε αρχείο Microsoft Excel ο οποίος περιέχει όλα τα δεδομένα των πρώτων προσπεράσεων με κατηγοριοποιημένα δεδομένα. Για κάθε μία από τις τέσσερις καμπύλες έχει φτιαχτεί το εξής dataset. **Ακτίνα R (R1,R2,R3,R4), μήκος ακτίνας (RL), Μέση ταχύτητα (ASp), Μέση επιτάχυνση (AAcc), Μέση Διαφορά ταχύτητας χρήστη με προπορευόμενο όχημα (DV).** Επίσης, για την πρώτη και την τέταρτη καμπύλη έχουν σημειωθεί τα **Headways(HW)**, η έννοια του οποίου έχει εξηγηθεί αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Σε δεύτερη φάση ο πίνακας εισήχθη στην πλατφόρμα **R-Studio**. Το R-Studio έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει αρχεία μορφής **.xlsx**, αφού πρώτα εγκατασταθεί το κατάλληλο πακέτο το οποίο ονομάζεται **readxl**. Η εντολή που χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση του πακέτου είναι η **install.packages(readxl)**. Έπειτα με την εντολή **read\_excel** και δίνοντας του το κατάλληλο path όπου είναι αποθηκευμένο το αρχείο excel με τα δεδομένα, ο πίνακας πλέον βρίσκεται στην πλατφόρμα του R-Studio. Ενδεικτικά παρουσιάζεται μία εικόνα με τον πίνακα

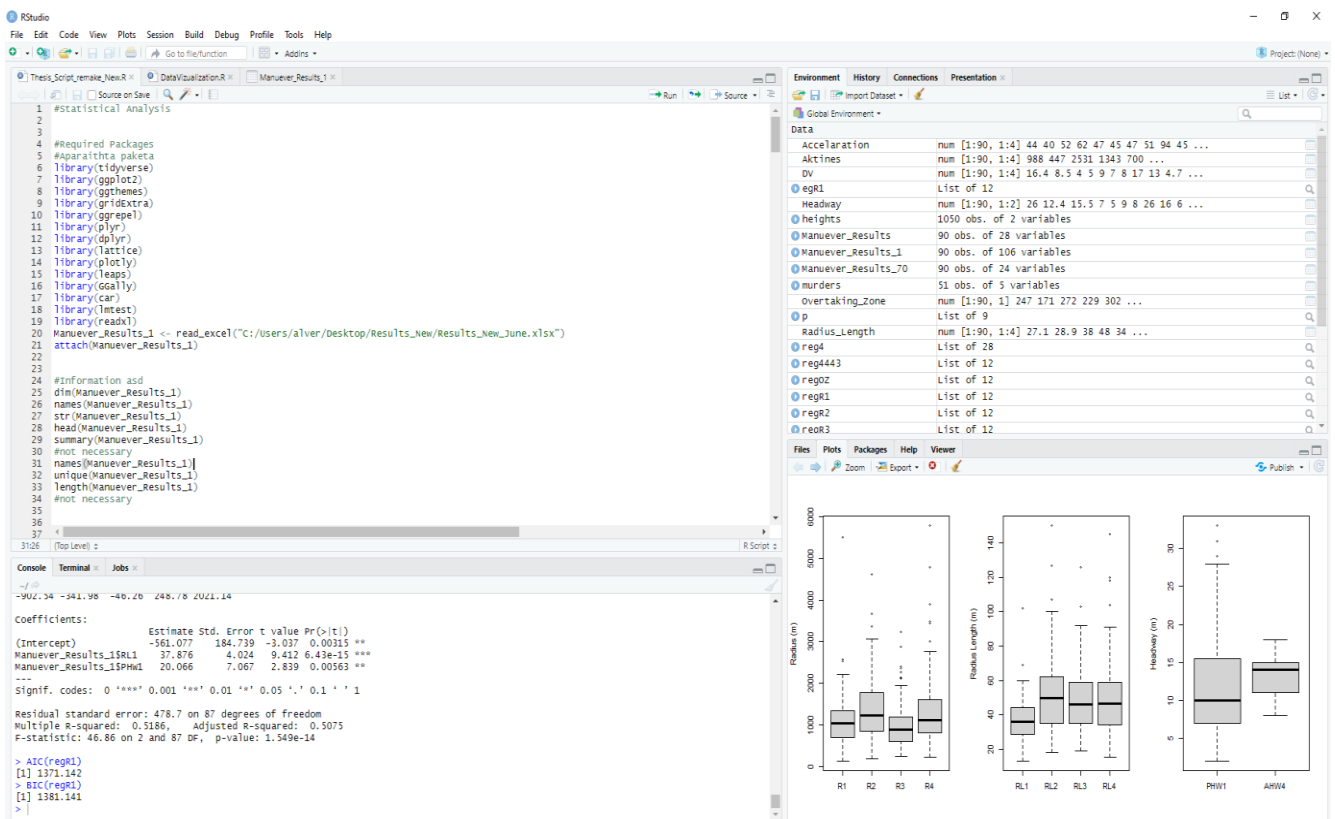
	R1	ASp1	AHW1	RL1	AAcc1	PSp1	DV1	PHW1	PAcc1	R2	ASp2	DV2	AHW2	RL2	AAcc2
1	988	67.1860	25.000	27.085	40.174	66.4	16.4	26.0	44	977	72.850	22.850	9999.9	29.729	48.875
2	447	58.0000	10.500	28.932	44.000	58.5	8.5	12.4	40	860	65.500	15.500	9999.9	26.766	66.000
3	2531	45.8600	16.500	38.000	50.000	54.0	4.0	15.5	52	1962	63.000	13.000	9999.9	28.000	100.000
4	1343	54.0000	10.000	48.000	51.000	55.0	5.0	7.0	62	1459	69.000	19.000	9999.9	46.000	64.000
5	700	55.6200	7.000	34.000	44.800	59.0	9.0	5.0	47	1279	63.420	13.420	9999.9	47.000	45.000
6	1250	53.0000	10.000	33.000	47.000	57.0	7.0	9.0	45	843	65.920	15.920	9999.9	50.000	49.000
7	229	57.4600	10.000	19.000	49.600	58.0	8.0	8.0	47	255	62.000	12.000	9999.9	26.000	50.000
8	947	67.9400	28.000	40.000	54.000	67.0	17.0	26.0	51	1148	71.000	21.000	9999.9	61.000	40.400
9	1126	60.1000	18.000	25.000	95.200	63.0	13.0	16.0	94	1483	76.100	26.100	9999.9	69.000	82.000
10	740	56.5800	9.880	44.000	44.500	54.7	4.7	6.0	45	892	63.530	13.530	9999.9	53.000	37.330
11	821	54.0000	7.600	44.000	30.000	54.3	4.3	6.0	37	1224	55.000	5.000	9999.9	38.000	60.000
12	1083	54.0000	11.675	28.000	50.333	57.0	7.0	11.0	51	1451	65.000	15.000	9999.9	59.000	45.000
13	1112	55.6200	10.000	30.000	41.833	56.0	6.0	9.0	43	1058	64.116	14.116	9999.9	44.000	49.333
14	638	55.0000	25.000	18.000	40.000	56.0	6.0	23.0	48	2273	62.000	12.000	9999.9	72.000	50.000
15	2572	58.0000	16.000	59.000	44.000	59.0	9.0	14.0	45	4630	63.000	13.000	9999.9	64.000	35.000
16	727	60.0400	8.000	26.000	61.200	64.0	14.0	5.0	62	840	68.000	18.000	9999.9	29.000	60.250
17	1419	66.0000	25.066	45.000	51.500	70.0	20.0	18.0	49	726	72.250	22.250	9999.9	31.000	47.250
18	695	52.0000	11.000	50.000	50.000	60.0	10.0	9.0	65	707	69.420	19.420	9999.9	47.000	63.000
19	832	54.0000	5.380	50.000	40.000	58.0	8.0	3.0	42	809	63.000	13.000	9999.9	31.000	60.000
20	1963	53.8000	12.883	43.000	53.667	62.0	12.0	10.0	55	2158	60.500	10.500	9999.9	66.000	44.833
21	632	57.5500	10.816	34.000	53.667	62.0	12.0	7.0	52	1257	67.442	17.442	9999.9	63.000	41.000

Εικόνα 5.4 Σειτ δεδομένων για στατιστική ανάλυση

Από την παραπάνω εικόνα διακρίνονται 15 στήλες δεδομένων και 21 σειρές για πρακτικούς λόγους. Το Dataset αποτελείται από 28 στήλες και 90 σειρές. Το dataset για την παρούσα διπλωματική εργασία ονομάστηκε **Manuever\_Results\_1**.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το script σε γλώσσα προγραμματισμού **R**, στο οποίο συντάχθηκε ο κώδικας για την ανάπτυξη των γραμμικών μοντέλων και διάφορων διαγραμμάτων ώστε να απεικονιστούν τα δεδομένα.

Η τελική μορφή του κώδικα στο R-Studio έχει τη μορφή της Εικόνας 5.4 που παρατίθεται παρακάτω.



Εικόνα 5.5 Τελική μορφή κώδικα σε R-Studio

## 5.4.2 Ο Κώδικας

Στον πάνω αριστερά μέρος της Εικόνας 5.5 απεικονίζεται μέρος του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης, ενώ ακριβώς από κάτω στο πλαίσιο Console απεικονίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Ολόκληρος ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε παρατίθεται στο **Παράρτημα Β**. Παρακάτω, περιγράφονται τα βήματα που οδήγησαν στα τελικά μοντέλα.

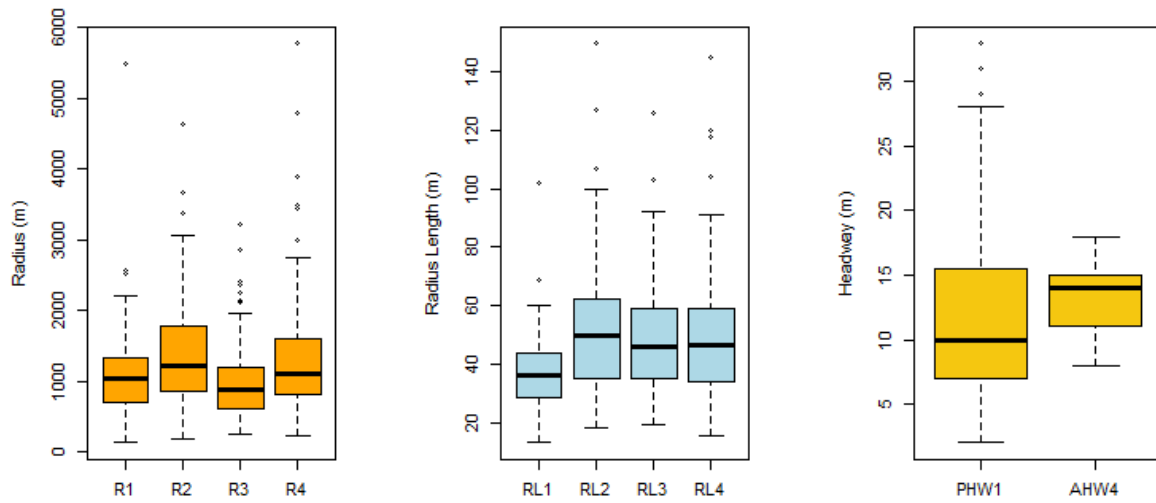
Αρχικά, οι πρώτες 10 γραμμές περιλαμβάνουν τις εντολές *library()* – στην παρένθεση εισάγεται ο τίτλος του πακέτου - με την οποία γίνεται **επίκληση διάφορων υποπρογραμμάτων**, τα οποία ενεργοποιούν δυνατότητες της πλατφόρμας R-Studio. Ενδεικτικά, αναφέρονται τρεις εξ' αυτών και οι λειτουργίες τους.

*Library(ggplot2)* ← Δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν διαγράμματα στα οποία μπορούν να προστεθούν τίτλοι, χαρακτηριστικά, κλπ.

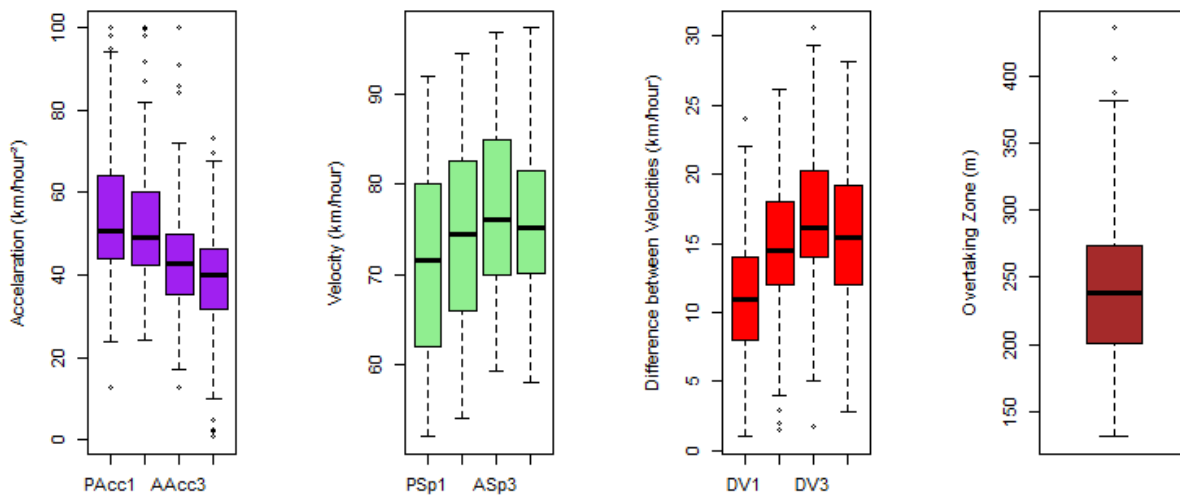
*Library(readxl)* ← Δίνεται η δυνατότητα να εισαχθεί αρχείο **Microsoft Excel** στην πλατφόρμα

*Library(lmtest)* ← Δίνεται η δυνατότητα να κατασκευαστεί το γραμμικό μοντέλου και να γίνει ο στατιστικός έλεγχος του μοντέλου.

Στη συνέχεια, δημιουργούνται *boxplots* για κάθε μεταβλητή του πίνακα με την εντολή *boxplot(name,y="name")* . Στα παρακάτω σχήματα παρατίθενται τα *boxplots* που δημιουργήθηκαν.

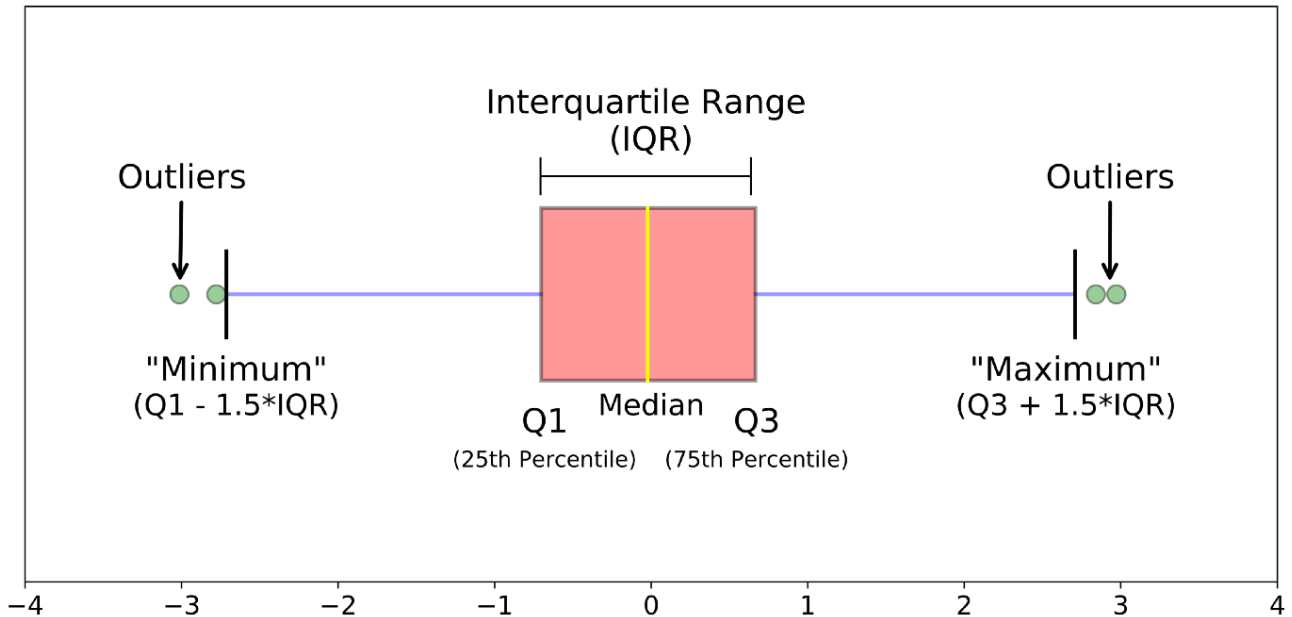


Σχήμα 5.9 Βoxplots Ακτιών, Μήκη Τόξων, Headway



Σχήμα 5.10 Βoxplot επιταχύνσεων, ταχυτήτων, διαφοράς ταχυτήτων και μήκος ζώνης προσπέρασης

Το *boxplot* όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.9 και στο Σχήμα 5.10, είναι ένα σχήμα το οποίο απεικονίζει τα ποσοστά των παρατηρήσεων καθώς και τις τιμές που είναι έξω από τις σύνηθες τιμές των παρατηρήσεων (*outliers*). Με μαύρη γραμμή εντός του ορθογωνίου φαίνονται οι μέσες τιμές των παρατηρήσεων για κάθε μεταβλητή.



Σχήμα 5.11 Οριζόντια μορφή boxplot και οι τιμές που απεικονίζει. Πηγή: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51?gi=66836ba2b673>

Η τιμή *median* (κίτρινη γραμμή) είναι η μέση τιμή του δείγματος που αντιστοιχεί στο 50% των παρατηρήσεων.

Η τιμή *Q1* (First Quartile) αντιστοιχεί στο 25% των παρατηρήσεων και είναι το μεσαίο νούμερο μεταξύ του μικρότερου αριθμού - όχι του ελάχιστου - και της μέσης τιμής των παρατηρήσεων.

Η τιμή *Q3* (Third Quartile) αντιστοιχεί στο 75% των παρατηρήσεων και είναι το μεσαίο νούμερο μεταξύ του μεγαλύτερου αριθμού - όχι του μέγιστου - και της μέσης τιμής των παρατηρήσεων.

Το *interquartile range* (IQR) είναι το εύρος μεταξύ *Q1* και *Q3*.

Η μέγιστη τιμή είναι η *Maximum* ( $Q3 + 1.5 * IQR$ )

Η ελάχιστη τιμή είναι η *Minimum* ( $Q1 - 1.5 * IQR$ )

Τα *Outliers* είναι οι πράσινες κουκίδες και απεικονίζουν τιμές οι οποίες είναι αρκετά διαφορετικές σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων.

Τα *boxplots* δίνουν μια σαφή εικόνα για την κατανομή των παρατηρήσεων. Στην εικόνα 5.11 το *boxplot* παριστάνει παρατηρήσεις κανονικής κατανομής.

Στη συνέχεια, δημιουργούνται νέες μεταβλητές από τα υπάρχοντα δεδομένα ώστε να προκύψουν τα μοντέλα. Αρχικά, το *dataset* είχε 28 στήλες δεδομένων και μετά την τροποποίηση είχε 106. **Ο λόγος που έγινε αυτή η διαδικασία είναι να δοκιμαστούν συνδυασμοί μεταβλητών ώστε το μοντέλο να είναι στατιστικά ποιοτικότερο.** Για παράδειγμα, για όλες τις στήλες υπολογίστηκαν οι λογαριθμικές τιμές τους, τα τετράγωνα τους και γινόμενα μεταξύ δύο μεταβλητών.

```

96
97 #METATROI SE LOG
98
99 #log Overtaking Zone
100 Maneuver_Results_1$logOZ <- log10(Maneuver_Results_1$OZ)
101
102 #log R1,2,3,4
103 Maneuver_Results_1$logR1 <- log10(Maneuver_Results_1$R1)
104 Maneuver_Results_1$logR2 <- log10(Maneuver_Results_1$R2)
105 Maneuver_Results_1$logR3 <- log10(Maneuver_Results_1$R3)
106 Maneuver_Results_1$logR4 <- log10(Maneuver_Results_1$R4)
107
108 #log RL1,2,3,4
109 Maneuver_Results_1$logRL1 <- log10(Maneuver_Results_1$RL1)
110 Maneuver_Results_1$logRL2 <- log10(Maneuver_Results_1$RL2)
111 Maneuver_Results_1$logRL3 <- log10(Maneuver_Results_1$RL3)
112 Maneuver_Results_1$logRL4 <- log10(Maneuver_Results_1$RL4)
113
114 #log Asp1,2,3,4
115 Maneuver_Results_1$logPsp1 <- log10(Maneuver_Results_1$Psp1)
116 Maneuver_Results_1$logASP2 <- log10(Maneuver_Results_1$ASP2)
117 Maneuver_Results_1$logASP3 <- log10(Maneuver_Results_1$ASP3)
118 Maneuver_Results_1$logASP4 <- log10(Maneuver_Results_1$ASP4)
119
120 #log AAcc1,2,3,4
121 Maneuver_Results_1$logPacc1 <- log10(Maneuver_Results_1$Pacc1)
122 Maneuver_Results_1$logAacc2 <- log10(Maneuver_Results_1$Aacc2)
123 Maneuver_Results_1$logAacc3 <- log10(Maneuver_Results_1$Aacc3)
124 Maneuver_Results_1$logAacc4 <- log10(Maneuver_Results_1$Aacc4)
125

```

Εικόνα 5.7 Μετατροπή δεδομένων σε λογαριθμικές τιμές

```

136 #GINOMENA
137
138 #Aktines X Radius Length
139 Maneuver_Results_1$R1RL1 <- Maneuver_Results_1$R1 * Maneuver_Results_1$RL1
140 Maneuver_Results_1$R2RL2 <- Maneuver_Results_1$R2 * Maneuver_Results_1$RL2
141 Maneuver_Results_1$R3RL3 <- Maneuver_Results_1$R3 * Maneuver_Results_1$RL3
142 Maneuver_Results_1$R4RL4 <- Maneuver_Results_1$R4 * Maneuver_Results_1$RL4
143
144 #Aktines X Taxytites
145 Maneuver_Results_1$R1Psp1 <- Maneuver_Results_1$R1 * Maneuver_Results_1$Psp1
146 Maneuver_Results_1$R2ASP2 <- Maneuver_Results_1$R2 * Maneuver_Results_1$ASP2
147 Maneuver_Results_1$R3ASP3 <- Maneuver_Results_1$R3 * Maneuver_Results_1$ASP3
148 Maneuver_Results_1$R4ASP4 <- Maneuver_Results_1$R4 * Maneuver_Results_1$ASP4
149
150 #Radius Length X Taxytites
151 Maneuver_Results_1$RL1Psp1 <- Maneuver_Results_1$RL1 * Maneuver_Results_1$Psp1
152 Maneuver_Results_1$RL2ASP2 <- Maneuver_Results_1$RL2 * Maneuver_Results_1$ASP2
153 Maneuver_Results_1$RL3ASP3 <- Maneuver_Results_1$RL3 * Maneuver_Results_1$ASP3
154 Maneuver_Results_1$RL4ASP4 <- Maneuver_Results_1$RL4 * Maneuver_Results_1$ASP4
155
156 #Aktines X Acceleration
157 Maneuver_Results_1$R1Pacc1 <- Maneuver_Results_1$R1 * Maneuver_Results_1$Pacc1
158 Maneuver_Results_1$R2Aacc2 <- Maneuver_Results_1$R2 * Maneuver_Results_1$Aacc2
159 Maneuver_Results_1$R3Aacc3 <- Maneuver_Results_1$R3 * Maneuver_Results_1$Aacc3
160 Maneuver_Results_1$R4Aacc4 <- Maneuver_Results_1$R4 * Maneuver_Results_1$Aacc4
161
162 #Radius Length X Acceleration
163 Maneuver_Results_1$RL1Pacc1 <- Maneuver_Results_1$RL1 * Maneuver_Results_1$Pacc1
164 Maneuver_Results_1$RL2Aacc2 <- Maneuver_Results_1$RL2 * Maneuver_Results_1$Aacc2
165 Maneuver_Results_1$RL3Aacc3 <- Maneuver_Results_1$RL3 * Maneuver_Results_1$Aacc3
166 Maneuver_Results_1$RL4Aacc4 <- Maneuver_Results_1$RL4 * Maneuver_Results_1$Aacc4
167

```

Εικόνα 5.8 Γινόμενα δεδομένων

	R1	ASp1	AHW1	RL1	AAcc1	PSp1	DV1	PHW1	PAcc1	R2	ASp2	DV2	AHW2	RL2	AAcc2	R3	ASp3	DV3	AHW3
1	988	67.1860	25.000	27.085	40.174	66.4	16.4	26.0	44	977	72.850	22.850	9999.9	29.729	48.875	1099	76.01400	26.01400	9999.9
2	447	58.0000	10.500	28.932	44.000	58.5	8.5	12.4	40	860	65.500	15.500	9999.9	26.766	66.000	795	65.30000	15.30000	9999.9
3	2531	45.8600	16.500	38.000	50.000	54.0	4.0	15.5	52	1962	63.000	13.000	9999.9	28.000	100.000	544	79.00000	29.00000	9999.9
4	1343	54.0000	10.000	48.000	51.000	55.0	5.0	7.0	62	1459	69.000	19.000	9999.9	46.000	64.000	913	71.22000	21.22000	9999.9
5	700	55.6200	7.000	34.000	44.800	59.0	9.0	5.0	47	1279	63.420	13.420	9999.9	47.000	45.000	1689	68.90000	18.90000	9999.9
6	1250	53.0000	10.000	33.000	47.000	57.0	7.0	9.0	45	843	65.920	15.920	9999.9	50.000	49.000	559	73.00000	23.00000	9999.9
7	229	57.4600	10.000	19.000	49.600	58.0	8.0	8.0	47	255	62.000	12.000	9999.9	26.000	50.000	483	68.00000	18.00000	9999.9
8	947	67.9400	28.000	40.000	54.000	67.0	17.0	26.0	51	1148	71.000	21.000	9999.9	61.000	40.400	986	67.56000	17.56000	9999.9
9	1126	60.1000	18.000	25.000	95.200	63.0	13.0	16.0	94	1483	76.100	26.100	9999.9	69.000	82.000	796	67.72000	17.72000	9999.9
10	740	56.5800	9.880	44.000	44.500	54.7	4.7	6.0	45	892	63.530	13.530	9999.9	53.000	37.330	778	64.20000	14.20000	9999.9
11	821	54.0000	7.600	44.000	30.000	54.3	4.3	6.0	37	1224	55.000	5.000	9999.9	38.000	60.000	779	68.40000	18.40000	9999.9
12	1083	54.0000	11.675	28.000	50.333	57.0	7.0	11.0	51	1451	65.000	15.000	9999.9	59.000	45.000	829	67.60000	17.60000	9999.9
13	1112	55.6200	10.000	30.000	41.833	56.0	6.0	9.0	43	1058	64.116	14.116	9999.9	44.000	49.333	937	72.88300	22.88300	9999.9
14	638	55.0000	25.000	18.000	40.000	56.0	6.0	23.0	48	2273	62.000	12.000	9999.9	72.000	50.000	299	62.00000	12.00000	9999.9
15	2572	58.0000	16.000	59.000	44.000	59.0	9.0	14.0	45	4630	63.000	13.000	9999.9	64.000	35.000	1465	60.00000	10.00000	9999.9
16	727	60.0400	8.000	26.000	61.200	64.0	14.0	5.0	62	840	68.000	18.000	9999.9	29.000	60.250	491	72.00000	22.00000	9999.9
17	1419	66.0000	25.066	45.000	51.500	70.0	20.0	18.0	49	726	72.250	22.250	9999.9	31.000	47.250	941	74.20000	24.20000	9999.9
18	695	52.0000	11.000	50.000	50.000	60.0	10.0	9.0	65	707	69.420	19.420	9999.9	47.000	63.000	781	80.62500	30.62500	9999.9
19	832	54.0000	5.380	50.000	40.000	58.0	3.0	3.0	42	800	63.000	13.000	9999.9	31.000	60.000	557	68.10000	16.10000	9999.9

Εικόνα 5.9 Μέρος του σετ δεδομένων

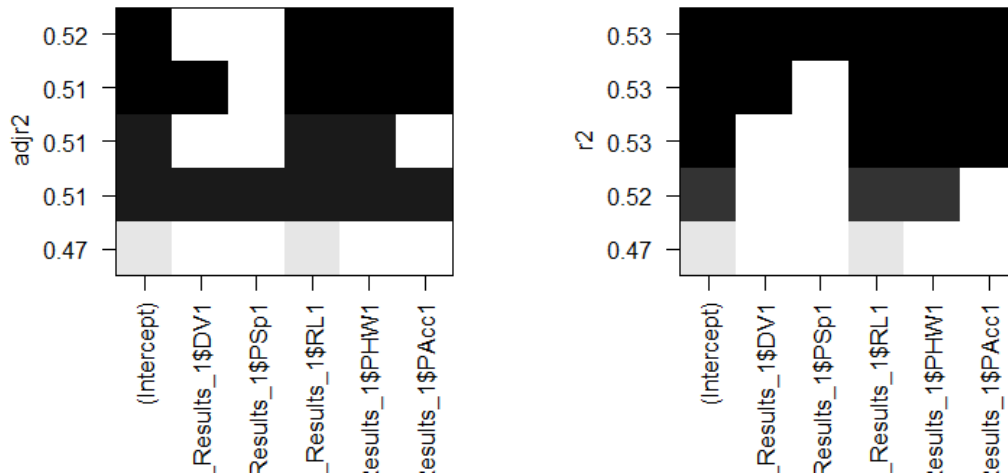
Έπειτα, με την εντολή *regsubsets* μπορεί κάποιος να δει ποια είναι η τιμή του *Adjusted R<sup>2</sup>* καθώς και τιμή του *R<sup>2</sup>* για οποιοδήποτε συνδυασμό δεδομένων.

```
regR1=regsubsets(Manuever_Results_1$R1 ~ Manuever_Results_1$DV1 +
  Manuever_Results_1$PSp1+
  Manuever_Results_1$RL1+
  Manuever_Results_1$PHW1 +
  Manuever_Results_1$PAcc1,data=Manuever_Results_1, weights =NULL, nbest=1,
  nvmax=30 )
plot(regR1,scale = "adjr2")
plot(regR1,scale= "r2")
```

Από τις παραπάνω γραμμές κώδικα διακρίνονται η εξαρτημένη μεταβλητή, καθώς και αυτές που την επηρεάζουν. Η εξαρτημένη μεταβλητή στο παράδειγμα είναι η *R1* και οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι οι: *DV1*, *PSp1*, *RL1*, *PHW1*, *PAcc1* από το σετ δεδομένων *Manuever\_Results\_1*.



Με τις εντολές plot εμφανίζονται τα εξής διαγράμματα:



Σχήμα 5.12 Διαγράμματα Adjusted R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup>

Στο αριστερά διάγραμμα της παραπάνω εικόνας με μαύρο χρώμα φαίνονται οι μεταβλητές οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές για το μοντέλο. Φαίνεται ότι οι μεταβλητές DV1 και PSP1 δεν είναι στατιστικά σημαντικές για το μοντέλο της R1.

Στη συνέχεια με την εντολή lm το R-Studio εμφανίζει έναν πίνακα που έχει την παρακάτω μορφή.

```
regR1=lm(Manuever_Results_1$R1 ~
  Manuever_Results_1$RL1+
  Manuever_Results_1$PHW1)
```

```
Call:
lm(formula = Manuever_Results_1$R1 ~ Manuever_Results_1$RL1 +
  Manuever_Results_1$PHW1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-902.54 -341.98  -46.26   248.78 2021.14

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -561.077    184.739   -3.037  0.00315 **
Manuever_Results_1$RL1    37.876     4.024    9.412 6.43e-15 ***
Manuever_Results_1$PHW1    20.066     7.067    2.839 0.00563 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 478.7 on 87 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5186,    Adjusted R-squared:  0.5075
F-statistic: 46.86 on 2 and 87 DF,  p-value: 1.549e-14
```

Εικόνα 5.10 Εντολή lm, Τελικό μοντέλο

Στην εικόνα 5.10, φαίνονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για να εκτελεστεί η εντολή `lm`. Κοιτώντας το αριστερό σχήμα του σχήματος 5.11, φαίνεται ότι επιρροή έχουν οι μεταβλητές `RL1`, `RHW1` & `PAcc1`. Η τιμή `PAcc1` αποκλείστηκε τελικά διότι είχε μεγάλη τιμή στο `P-Value` που σημαίνει ότι δεν είναι στατιστικά σημαντική μεταβλητή.

Στο σημείο *Coefficients* φαίνονται η τιμή του σταθερού όρου (-561,077) και οι συντελεστές των μεταβλητών `RL1` και `RHW1` ( 37.876 , 20.066).

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για τις τέσσερις καμπύλες του ελιγμού προσπέρασης ξεχωριστά.

### 5.4.3 Στατιστικός έλεγχος μοντέλου

Απολύτως απαραίτητος για την αποδοχή του μοντέλου θεωρείται ο στατιστικός έλεγχος του, ο οποίος πραγματοποιείται αυτόματα στο R-Studio κατά την εξαγωγή των μαθηματικών μοντέλων.

Βασική παράμετρος που πρέπει να ικανοποιείται για την επιλογή ή μη του μοντέλου, είναι η τιμή  $R^2$ . Ο δείκτης αυτός λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Υψηλές τιμές του δείκτη  $R^2$  δηλώνουν ένδειξη καλής προσαρμογής του μοντέλου. Το εν λόγω κριτήριο για τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν παίρνει τις τιμές για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή ως εξής:

$$R1, R^2 = 0.4849$$

$$R2, R^2 = 0.466$$

$$R3, R^2 = 0.2852$$

$$R4, R^2 = 0.5976$$

Οι τιμές του  $R^2$  για τα μοντέλα, με εξαίρεση το `R3`, θεωρούνται ικανοποιητικές.

Σε όλα τα μοντέλα απαραίτητη προϋπόθεση για την αποδοχή των ανεξάρτητων μεταβλητών τους είναι η τιμή του `t-value` να είναι κατ' απόλυτη τιμή  $>1.96$  και το `p-value` να είναι μικρότερο του 0.05. Στην περίπτωση που γίνεται σύγκριση μεταξύ 2 υποψήφιων μοντέλων, τα κριτήρια που συγκρίνονται είναι το `AIC`, `BIC`, το `F-Statistic` και το `Std.Error`. Συγκεκριμένα για την `R1`, προέκυψε μοντέλο με λίγο μικρότερο  $R^2$ , αλλά όλες τις άλλες τιμές των κριτηρίων καλύτερες συγκριτικά με το αρχικό που είχε εικαστεί, συνεπώς ως τελικό μοντέλο επιλέχθηκε αυτό με μικρότερο  $R^2$ .

Στην εικόνα 5.11 για την `R1`, διακρίνονται οι τιμές `t value`, `p-value`, `Std. Error`,  $R^2$ , `Adjusted  $R^2$` , `F-statistic`, `AIC`, `BIC` οι οποίες είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση και αποδοχή του γραμμικού μοντέλου

### 5.4.4 Αποτελέσματα

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης από την πλατφόρμα R-Studio.

Μετά από πολλές δοκιμές συνδυασμών μεταβλητών, με στόχο να είναι στατιστικά επαρκή και ποιοτικά, τα τελικά μοντέλα παρουσιάζονται παρακάτω.

Αρχικά για την R1, όπως αναφέρθηκε παραπάνω παρατηρήθηκε ότι χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ως λογαριθμικά, στατιστικά το μοντέλο είναι καλύτερο και του προστέθηκε μία ακόμα ανεξάρτητη μεταβλητή, η οποία είναι η επιτάχυνση.

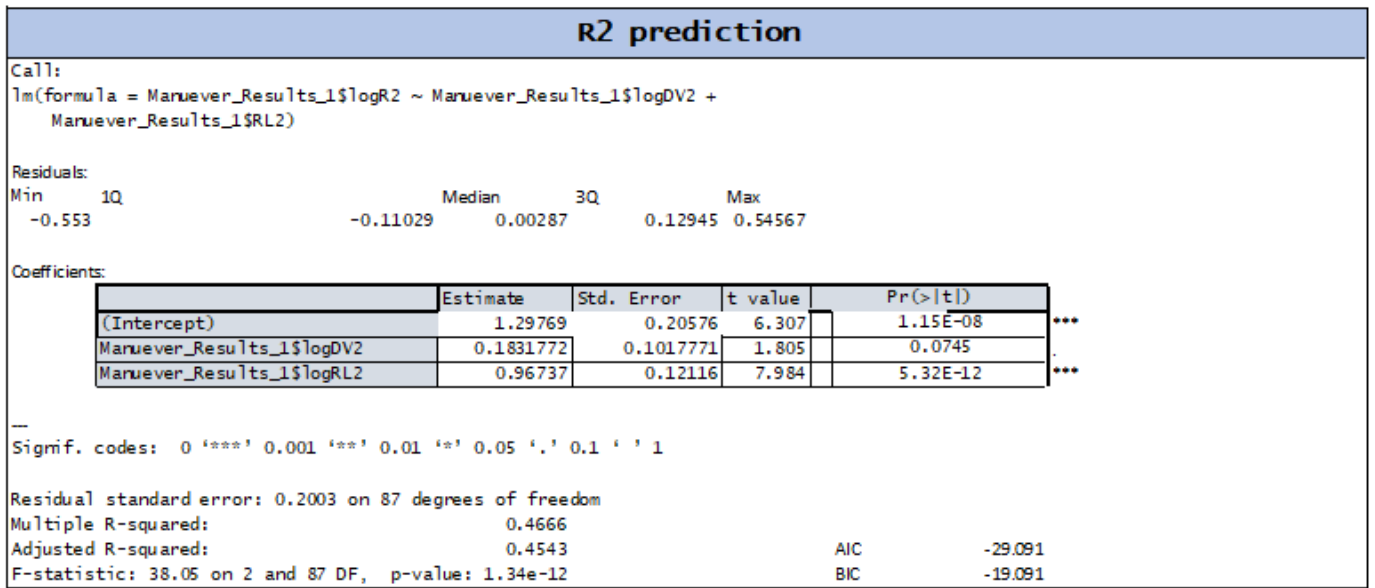
R1 prediction					
Call: lm(formula = Manuever_Results_1\$logR1 ~ Manuever_Results_1\$logRL1 + Manuever_Results_1\$logPHWL + Manuever_Results_1\$logPAcc1)					
Residuals:					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-0.4426		-0.10937	0.02217	0.11958	0.41573
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	0.30721	0.32912	0.933	3.53E-01	
Manuever_Results_1\$logRL1	1.1066	0.14264	7.758	1.63E-11	***
Manuever_Results_1\$logPHWL	0.28521	0.07505	3.8	2.69E-04	***
Manuever_Results_1\$logPAcc1	0.38501	0.14186	2.714	8.03E-03	**
--- Sgnif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0.1871 on 86 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.4849					
Adjusted R-squared: 0.4669					
F-statistic: 26.98 on 3 and 86 DF, p-value: 2.151e-12					
				AIC	-40.4002
				BIC	-27.90115

Εικόνα 5.11 Μοντέλο R1

Από τον παραπάνω πίνακα, στον πίνακα Coefficients ο σταθερός όρος δεν ικανοποιεί τα κριτήρια, συνεπώς η τελική μορφή του μοντέλου είναι η εξής:

$$\log R1(m) = 1.1066 \cdot \log RL1(m) + 0.28521 \cdot \log PHeadway1(m) + 0.38501 \cdot \log PAcc1$$

Όπου,  $RL1$  το μήκος της ακτίνας,  $PHeadway1$  η απόσταση του οχήματος του χρήστη με το προπορευόμενο τη στιγμή που έχει αρχίσει να κινείται στην αριστερή λωρίδα και  $PAcc1$  η επιτάχυνση.  $R^2=0.4849$

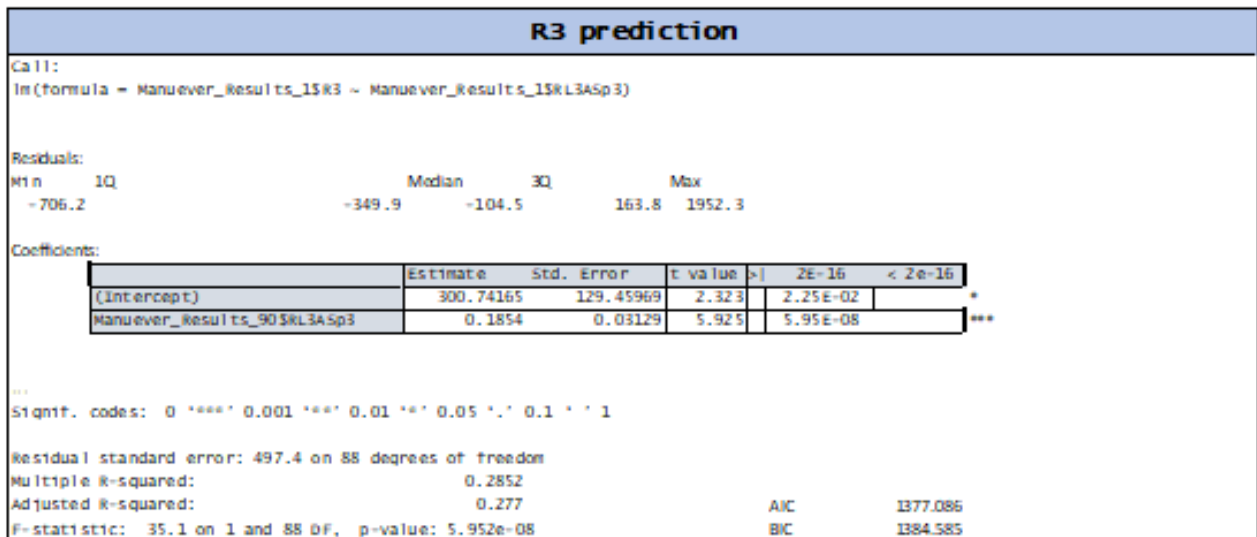


Εικόνα 5.12 Μοντέλο R2

Η τελική μορφή του μοντέλου με ανεξάρτητη τιμή του R2 είναι η εξής:

$$\log(R2(m)) = 1.29769 + 0.1831772 \cdot \log DV2(km/hour) + 0.96737 \cdot \log RadiusLength2(m)$$

Όπου, DV2 η διαφορά ταχύτητας χρήστη με προπορευόμενο όχημα, και Radius Length 2 το μήκος της 2<sup>ης</sup> ακτίνας. R<sup>2</sup>=0.4666



Εικόνα 5.13 Μοντέλο R3

Το μοντέλο της R3 έχει το μικρότερο R<sup>2</sup> = 0.2852 και θεωρείται αναξιόπιστο. Έγιναν αρκετές δοκιμές συνδυασμών μεταβλητών, αλλά δεν υπήρχε βελτίωση. Ενδεικτικά παρατίθεται η σχέση που προβλέπει την ακτίνα R3.

$$R3 = 300.74165 + 0.1854 \cdot RadiusLength3(m) \cdot AverageSpeed3\left(\frac{km}{hour}\right)$$

Όπου, *Radius Length 3* το μήκος της ακτίνας R3 και *Average Speed 3* ο μέσος όρος της ταχύτητας στη φάση που το όχημα διαγράφει την καμπύλη.

R4 prediction						
Call: lm(formula = Maneuver_Results_1\$R4 ~ Maneuver_Results_1\$RL4 + Maneuver_Results_1\$ASp4AHW4)						
Residuals:						
Min	1Q	Median	3Q	Max		
-1180.2		-428.67	-38.91	256.65	2140.52	
Coefficients:						
	Estimate	Std. Error	t value	>	2E-16	< 2e-16
(Intercept)	-585.4009	288.241	-2.031		4.53E-02	*
Maneuver_Results_1\$RL4	31.6921	2.8229	11.227	<	2.00E-16	***
Maneuver_Results_1\$ASp4AHW4	0.3642	0.2495	2.031		0.0433	.
—						
Sigmnf. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						
Residual standard error: 598.7 on 87 degrees of freedom						
Multiple R-squared:		0.5976				
Adjusted R-squared:		0.5883				
F-statistic: 64.59 on 2 and 87 DF, p-value: < 2.2e-16		AIC		1411.421		
		BIC		1421.42		

Εικόνα 5.14 Μοντέλο R4

Η τελική μορφή του μοντέλου της R4 είναι η εξής:

$$R4 = -585.4009 + 31.6921 \cdot RadiusLength4(m) + 0.3642 \cdot AverageSpeed4 \cdot Headway4(km \cdot m/hour)$$

Όπου, *Radius Length 4* το μήκος της τέταρτης ακτίνας, *Average Speed 4*, η μέση ταχύτητα για την τέταρτη ακτίνα και *Headway 4* είναι η απόσταση του οχήματος του χρήστη με το όχημα που προσπέρασε όταν πλέον έχει ολοκληρώσει την προσπέραση.  $R^2=0.5976$

Σημειώνεται ότι ο τελευταίος όρος της εξίσωσης είναι γινόμενο μεταξύ των 2 μεταβλητών.

Στα σχήματα 5.9 και 5.10 φαίνονται τα boxplots των επιταχύνσεων, μέσων ταχυτήτων, διαφοράς ταχυτήτων, μήκος ζώνης προσπέρασης, ακτινών, μήκη ακτινών και Headway. Η μαύρη γραμμή μέσα στα χρωματισμένα πλαίσια δείχνει την μέση τιμή. Στον παρακάτω πίνακα, για διευκόλυνση του χρήστη, σημειώνονται οι μέσες τιμές με ακρίβεια, ώστε να μπορεί να τις χρησιμοποιήσει στην εφαρμογή των μοντέλων.

Μεταβλητές	Μέσες τιμές
R1	1029
R2	1223
R3	887
R4	1112
Speed R1	72
Speed R2	74
Speed R3	76
Speed R4	75
DV R1	11
DV R2	14
DV R3	16
DV R4	15
Headway R1	10
Headway R4	14
Radius Length 1	36
Radius Length 2	50
Radius Length 3	46
Radius Length 4	47
AccelARATION R1	51
AccelARATION R2	49
AccelARATION R3	43
AccelARATION R4	40
Overtaking Zone	238

Πίνακας 5.3 Μέσες τιμές εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών

## 6. Συμπεράσματα – προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

### 6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η **διερεύνηση και η προτυποποίηση της διαδικασίας προσπέρασης συλλέγοντας δεδομένα από προσομοιωτή οδήγησης.**

Συγκεκριμένα, **στόχος** ήταν να εξετασθούν ποιοι **παράμετροι πρέπει να προτυποποιηθούν** και πως επηρεάζονται από άλλες μεταβλητές της προσπέρασης, ώστε διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής τους σε αυτοματοποιημένα οχήματα επιπέδου 3 και άνω.

Μετά τον καθορισμό του στόχου, ξεκίνησε η **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Από την ανασκόπηση προέκυψε ότι δεν έχει μελετηθεί πως επηρεάζονται **οι ακτίνες των τόξων αντίρροπης καμπυλότητας κατά τη διαδικασία προσπέρασης.**

Αφού μελετήθηκαν τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, σειρά είχε η **συλλογή και η δημιουργία βάσης δεδομένων** για τη μελέτη. Για το σκοπό αυτό, εκτελέστηκαν πειράματα σε **προσομοιωτή οδήγησης** από κανονικούς οδηγούς νεαρής ηλικίας (20-27 ετών). Το σενάριο του πειράματος ήταν σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων κατεύθυνσης χωρίς επερχόμενη κυκλοφορία, και οι προσπεράσεις εκτελέστηκαν σε ευθεία. Τα οχήματα που προσπεράστηκαν είχαν σταθερή ταχύτητα. Το πείραμα εκτελέστηκε στο ίδιο περιβάλλον τρεις φορές, σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες μελέτης με όριο ταχύτητας τα 70,80,90 χλμ/ώρα αντίστοιχα.

Στη συνέχεια τα δεδομένα που συλλέχθηκαν επεξεργάστηκαν με χρήση του **γωνιακού διαγράμματος** και δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων. Με το γωνιακό διάγραμμα προσδιορίζονται γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τροχιάς προσπέρασης. Η βάση δεδομένων αποτελείται από τέσσερις παραμέτρους για κάθε ακτίνα καμπυλότητας της τροχιάς προσπέρασης. Οι παράμετροι είναι: Ακτίνες, Μέση ταχύτητα, Μέση επιτάχυνση, Μήκος καμπυλότητας. Επιπλέον, για την πρώτη και την τελευταία ακτίνα καμπυλότητας σημειώθηκαν και οι αποστάσεις του οχήματος του χρήστη με το όχημα που προσπερνάει, δηλαδή την απόσταση των δύο οχημάτων όταν αρχίζει και ολοκληρώνεται ο ελιγμός προσπέρασης (Headway). Από την ανάλυση παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν **επιταχυνόμενες προσπεράσεις και προσπεράσεις με σταθερή ταχύτητα.** Στην παρούσα Διπλωματική εργασία η προτυποποίηση έγινε **μόνο για τις επιταχυνόμενες προσπεράσεις**, οι οποίες αποτελούν το 43% των παρατηρήσεων του δείγματος.

Για την προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης εφαρμόστηκε **γραμμική παλινδρόμηση** καθώς η εξαρτημένη μεταβλητή (ακτίνα καμπυλότητας) αλλά και οι ανεξάρτητες μεταβλητές (Ακτίνες, Μέση ταχύτητα, Μέση επιτάχυνση, Μήκος καμπυλότητας, Headway) είναι συνεχείς μεταβλητές. Για την καλύτερη προσαρμογή των μεταβλητών στα μοντέλα, σε μερικά από αυτά εφαρμόστηκε **λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση.**

Από την παραπάνω επεξεργασία προέκυψαν συγκεντρωτικά τα ακόλουθα μοντέλα που συνοψίζονται στον πίνακα 6.1:

	log R1		R <sup>2</sup> = 04849	
Μεταβλητές	β <sub>i</sub>	Std. Error	t value	p-value
log Radius Length 1	1.1066	0.14264	7.758	1.63E-11
log Headway 1	0.28521	0.07505	3.8	2.69E-04
log Acceleration 1	0.38501	0.14186	2.714	8.03E-03
AIC	-40.4002			
BIC	-27.9012			

	log R2		R <sup>2</sup> = 0.4666	
Μεταβλητές	β <sub>i</sub>	Std. Error	t value	p-value
σταθερά	1.29769	0.20576	6.307	1.15E-08
log DV 2	0.18318	0.1017771	1.805	0.0745
log Radius Length 2	0.96737	0.12116	7.984	5.32E-12
AIC	-29.091			
BIC	-19.0918			

	R3		R <sup>2</sup> = 0.2852	
Μεταβλητές	β <sub>i</sub>	Std. Error	t value	p-value
σταθερά	300.742	129.45969	2.323	2.25E-02
Radius Length 3 · Speed 3	0.1854	0.03129	5.925	5.95E-08
AIC	1377.086			
BIC	1384.585			

	R4		R <sup>2</sup> = 0.5976	
Μεταβλητές	β <sub>i</sub>	Std. Error	t value	p-value
σταθερά	-585.4	288.241	-2.031	4.53E-02
Radius Length 4	31.6921	2.8229	11.227	2E-16
Speed 4 · Headway 4	0.3642	0.2495	2.031	4.33E-02
AIC	1411.421			
BIC	1421.42			

Πίνακας 6.1 Συγκεντρωτικός πίνακας Στατιστικών μοντέλων



## 6.2 Συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων, όπως αυτά συνοψίζονται παρακάτω:

- Με την επεξεργασία διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν εμφανείς διαφορές στον τρόπο με τον οποίο χειρίζονται το όχημα οι άνδρες συγκριτικά με τις γυναίκες. Πιο συγκεκριμένα:
  - Οι ακτίνες καμπυλότητας που υπολογίστηκαν στις μετρήσεις των γυναικών ήταν μικρότερες, που σημαίνει ότι η οδήγηση είναι πιο απότομη.
  - Οι γυναίκες τείνουν να οδηγούν επιφυλακτικά αφού σπάνια κάποια οδηγός πλησίασε ή ξεπέρασε το όριο ταχύτητας της οδού. Αντίθετα οι άνδρες συνεχώς οδηγούσαν στο όριο ταχύτητας ή και λίγο ταχύτερα από το εκάστοτε όριο.
- Αναλύοντας τα δεδομένα και δημιουργώντας τα στατιστικά μοντέλα παρατηρήθηκε ότι οι μεταβλητές που υπολογίστηκαν δεν είχαν την ίδια επιρροή στα επιμέρους μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα:
  - Το μέγεθος που επηρεάζει περισσότερο σε σχέση με τους υπόλοιπους παράγοντες για την πρόβλεψη των ακτινών είναι το **μήκος της καμπύλης**. Η τιμή αυτή, έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στα μοντέλα που δημιουργήθηκαν. Όσο αυξάνεται το μήκος της καμπύλης τόσο αυξάνεται η ακτίνα.
  - Οι **ταχύτητες** αρχικά δεν ήταν στατιστικά σημαντικές για τα μοντέλα. Με δοκιμές, δημιουργώντας γινόμενα δύο ασυσχέτιστων μεταβλητών προέκυψε ότι έχουν εν τέλει επιρροή στο μοντέλο αλλά πολύ μικρότερη συγκριτικά με το μήκος της καμπύλης.
  - Οι τιμές των **αποστάσεων μεταξύ δύο οχημάτων που συμμετείχαν στη διαδικασία προσπέρασης (Headway)** επηρεάζουν θετικά τα μοντέλα της πρώτης και τέταρτης καμπύλης, όχι όμως σε μεγάλο βαθμό συγκριτικά με το μήκος καμπύλης. Αυτό οφείλεται διότι όσο μεγαλώνει η τιμή του Headway, μεγαλώνει και η τιμή του μήκους της καμπύλης. Σημειώνεται ότι οι τιμές Headway με τα μήκη των καμπυλών, μετά από χρήση μαθηματικής σχέσης, δεν συσχετίζονται.
  - Η τιμή της **επιτάχυνσης** επηρεάζει μόνο το μοντέλο της πρώτης καμπύλης σημαντικά, αλλά όχι σε ίδιο βαθμό με το μήκος της καμπύλης. Τα υπόλοιπα μοντέλα δεν επηρεάζονται από την επιτάχυνση, διότι όταν το όχημα έχει ολοκληρώσει την πρώτη καμπύλη συνεχίζει τη διαδικασία με πολύ μικρή επιτάχυνση και οι ταχύτητες είναι σχεδόν σταθερές. Για το λόγο αυτό το μοντέλο της πρώτης καμπύλης έχει ως παράγοντα την επιτάχυνση και τα υπόλοιπα τρία μοντέλα έχουν ως παράγοντα την ταχύτητα.

- Τα στατιστικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν εν μέρει είναι κατάλληλα για την επίτευξη του στόχου της διπλωματικής εργασίας. Το μοντέλο της τρίτης καμπύλης, λόγω χαμηλού δείκτη αξιοπιστίας  $R^2 = 0.2852$ , δεν κρίνεται ικανοποιητικό. Τα υπόλοιπα τρία μοντέλα θεωρούνται αξιόπιστα όμως υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης.
  - Οι μικρές τιμές του  $R^2$  οφείλονται αρχικά στην ανθρώπινη συμπεριφορά. Επειδή το πείραμα πραγματοποιήθηκε από πραγματικούς οδηγούς, δε μπορεί να προβλεφθεί ότι η συμπεριφορά των οδηγών θα είναι πανομοιότυπη. Ως συνέπεια αυτού, είναι το ότι οι τιμές είναι συνεχείς αλλά δεν έχουν την επιθυμητή γραμμικότητα. Δηλαδή μπορεί δύο μεταβλητές να έχουν ανάλογες τιμές στα δεδομένα ενός χρήστη, αλλά σε κάποιον άλλον οι ίδιες μεταβλητές να έχουν αντιστρόφως ανάλογες τιμές.
  - Στον πίνακα 5.2 του κεφαλαίου 5.3.1, σημειώνονται οι τιμές της τυπικής απόκλισης των ακτινών καμπυλότητας όπου επιβεβαιώνεται το παραπάνω συμπέρασμα περί ομοιογένειας συμπεριφοράς οδηγών.
  - Η μικρή τιμή του  $R^2$  οφείλεται επίσης στις τιμές που δίνει ο προσομοιωτής οδήγησης. Ο προσομοιωτής οδήγησης είναι ένα πολύ καλό εργαλείο για να συλλεχθούν δεδομένα, αλλά πολλές φορές εμφανίζονται σφάλματα σε διάφορες τιμές των δεδομένων που εξάγει. Για παράδειγμα οι τιμές των επιταχύνσεων σε κάποιες δοκιμές, μεταξύ δύο σημείων της προσπέρασης είχαν πολύ μεγάλες διαφορές, με αποτέλεσμα η μέση τιμή της επιτάχυνσης για κάθε καμπύλη να αλλάζει σημαντικά. Με αυτό τον τρόπο, ίσως να αναλύθηκαν ελάχιστα δεδομένα (<5% του δείγματος) στη στατιστική επεξεργασία τα οποία είναι εσφαλμένα. Το πρόβλημα είναι ότι δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα αν μερικά δεδομένα είναι εσφαλμένα, συνεπώς λήφθηκαν υπ' όψη στην ανάλυση.

### 6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η παρούσα ανάλυση της διαδικασίας προσπέρασης αποτελεί ένα αρχικό παράδειγμα για το πως μπορεί να τυποποιηθεί ο υπόψη ελιγμός και να εφαρμοστεί σε αυτοματοποιημένα οχήματα επιπέδου 3 και άνω. Προς το παρόν αυτή η προσπάθεια βρίσκεται σε προκαταρκτικό στάδιο, καθώς η ταχύτητα του οχήματος που προσπερνιέται είναι σταθερή, δεν υπάρχει επερχόμενη κυκλοφορία και τα πειράματα εκτελέστηκαν σε ευθεία.

Για την περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση των παρακάτω:

- ✓ Η εκτέλεση του ίδιου πειράματος σε **δείγμα διαφορετικής ηλικίας και μεγαλύτερης εμπειρίας**, θα παρουσίαζε αρκετό ενδιαφέρον. Αρχικά θα μπορούσαν να εξαχθούν συμπεράσματα συγκρίνοντας τα μοντέλα που θα προέκυπταν από κάθε δείγμα και ίσως τα αποτελέσματα των πιο έμπειρων οδηγών να οδηγούσαν σε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα.
- ✓ Η **στατιστική ανάλυση των υπόλοιπων προσπεράσεων του δείγματος**, οι οποίες έχουν κατά κύριο λόγο **σταθερή ταχύτητα (ίση με το αντίστοιχο όριο)**, θα έδινε σημαντικά αποτελέσματα για την προτυποποίηση της διαδικασίας της προσπέρασης.
- ✓ Ενδιαφέρον θα είχε να συλλεχθούν δεδομένα σε **εξωτερικό περιβάλλον**, ώστε να μελετηθούν δεδομένα υπό πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Σε ίδια μελέτη θα μπορούσε να εξετασθεί και η **διαδικασία προσπέρασης κατά μήκος οριζοντιογραφικής καμπύλης οδού**, όπου το πρόβλημα γίνεται πιο σύνθετο.
- ✓ Απαραίτητο είναι να μελετηθεί η ίδια διαδικασία με **επερχόμενη κυκλοφορία στην αντίθετη λωρίδα κυκλοφορίας** είτε σε προσομοιωτή οδήγησης, είτε σε πραγματικό περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο θα ληφθούν υπόψη και άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές όπως η απόσταση μεταξύ των οχημάτων, η ταχύτητα του επερχόμενου οχήματος καθώς και το μήκος ορατότητας.
- ✓ Χρήση **επιπλέον ανεξάρτητων μεταβλητών** ίσως παρουσίαζε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Μερικές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν είναι τα **περιθώρια τριβής, η επίκληση, η εγκάρσια επιτάχυνση, η πλευρική απόσταση των οχημάτων όταν το όχημα βρίσκεται στην αριστερή λωρίδα**.
- ✓ Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι εξετάστηκε μόνο το επιβατικό αυτοκίνητο μεσαίου κυβισμού, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ενσωμάτωση **ολόκληρου του στόλου οχημάτων (SUV, σπορ οχήματα, κ.α.)**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Yang Ma, Yubing Zheng, Jianchuan Cheng and Said Easa (2019) "Analysis of Dynamic Available Passing Sight Distance near Right-turn Horizontal Curves during Overtaking Using LiDAR Data" , Southeast University Dongnandaxue Rd 2 , School of Transportation
2. Plamen Petrov and Fawzi Nashasibi (2014) "Modeling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking" , IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
3. Abishai Polus and Andrej B. Tomecki (1987) "Passing Experiment on Two-Lane Rural Highways" , Transportation Research Record
4. Hadi Sazgar, Shahram Azadi and Reza Kazemi (2019) "Trajectory planning and combined design for critical high-speed lane change maneuvers" , Institution of Mechanical Engineers, Journal of Automobile Engineering
5. Stergios Mavromatis, Vassilios Matragos, Rania Liza, Konstantinos Apostoleris, Lazaros Grammatikopoulos and George Yannis (2019) "Passing sight distance assessment through the interaction of road – vehicle parameters" , National Technical University of Athens
6. A. Ghaffari, A.R. Khodayari, F. Alimardani, H. Sadati (2011) "Modeling and Intelligent Control System Design for Overtaking Maneuver in Autonomous Vehicles" , K.N Toosi University of Technology, Mechanical Engineering Department
7. Carlos Llorca and Alfredo Garcia (2011) "Evaluation of passing process on two-lane rural highways on Spain using a methodology based on video data" , Universidad Politecnica de Valencia, Department of Transportation
8. Geertje Hegerman, Karel A Brookhuis, Richard van der Horst and Serge Hoogendoorn (2006) "Functional and Acceptance of Overtaking Assistant Design Tested in Driving Simulator Experiment" , Article in Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board
9. Hrishikesh Kakade (2018) "Autonomous Highway Overtaking", Master's Thesis, HAN University of Applied Sciences
10. Αναστασία Αργυροπούλου (2017) "Προτυποποίηση της Επιρροής της Χρήσης Κινητού Τηλεφώνου στη Συμπεριφορά του Οδηγού Αξιοποιώντας Λεπτομερή Δεδομένα από Αισθητήρες Έξυπνων Κινητών Τηλεφώνων" , Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2017
11. Ελευθέριος-Μάριος Κούρτης (2018) "Μοντελοποίηση του οικονομικού κόστους των οδικών ατυχημάτων στην Ελλάδα" , Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ιούλιος 2018
12. Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2018) "Οδεύοντας προς την αυτοματοποιημένη κινητικότητα: Μια στρατηγική της ΕΕ για την κινητικότητα του μέλλοντος"
13. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής  
<http://www.transport.ntua.gr/wp-content/uploads/ntua-dt-profile-jul2019.pdf>
14. R-Statistics  
<http://r-statistics.co/Linear-Regression.html?fbclid=IwAR2jnMMkNt8w7b0uPC4kq3E6sdpX48iYHtmjOnBW18SoB0GLU3-WPxgqBdU>

15. Towards Data Science

<https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcd51>

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α****ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ**

Ενότητα 1 από 7

## Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα



Περιγραφή φόρμας

**Ηλικία \***

Κείμενο σύντομης απάντησης

**Φύλο \*** Άνδρας Γυναίκα**Σας αρέσει η οδήγηση: \*** Ναι Όχι

Ενότητα 2 από 7

## Οδική εμπειρία συμμετέχοντα (Α' μέρος)



Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσα έτη έχετε δίπλωμα οδήγησης; \*

Κείμενο σύντομης απάντησης

Πόσα χρόνια οδηγείτε; \*

Κείμενο σύντομης απάντησης

Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον; \*

Αν επιλέξετε την επιλογή λιγότερες

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον; \*

- Λιγότερο από 20 χλμ
- 20 χλμ έως 50 χλμ
- 50 χλμ έως 100 χλμ
- 100 χλμ έως 150 χλμ
- Περισσότερο από 150 χλμ

Ενότητα 3 από 7

## Οδική εμπειρία συμμετέχοντα (Β' μέρος)



Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσες ημέρες οδηγείτε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον; \*

Αν επιλέξετε την επιλογή λιγότερες

- Λιγότερες
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7





Πόσα χιλιόμετρα διανύετε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον; \*

- Λιγότερο από 20 χλμ
- 20 χλμ έως 50 χλμ
- 50 χλμ έως 100 χλμ
- 100 χλμ έως 150 χλμ
- Περισσότερο από 150 χλμ

Ενότητα 4 από 7

## Λιγότερες ημέρες οδήγησης σε αστικό περιβάλλον



Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσες ημέρες κατά τη διάρκεια ενός έτους οδηγείτε σε αστικό περιβάλλον; \*

Κείμενο σύντομης απάντησης

Ενότητα 5 από 7

## Λιγότερες ημέρες οδήγησης σε υπεραστικό περιβάλλον



Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσες ημέρες κατά τη διάρκεια ενός έτους οδηγείτε σε υπεραστικό περιβάλλον; \*

Κείμενο σύντομης απάντησης

Ενότητα 6 από 7

## Οδική συμπεριφορά συμμετέχοντα



Περιγραφή (προαιρετικό)

Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε αστικό περιβάλλον; \*

- καθόλου
- λίγο
- αρκετά
- πολύ
- πάρα πολύ



Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε υπεραστικό περιβάλλον; \*

- καθόλου
- λίγο
- αρκετά
- πολύ
- πάρα πολύ

Θεωρείτε ότι τα όρια ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον είναι σωστά; \*

- καθόλου
- λίγο
- αρκετά
- πολύ
- πάρα πολύ

Κατά τη διαδικασία της προσπέρασης άλλου οχήματος σε υπεραστικό περιβάλλον οδού υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες υπερβαίνετε το όριο ταχύτητας; \*

- καθόλου
- λίγες
- αρκετές
- πολλές
- πάρα πολλές

Ενότητα 7 από 7

## Ιστορικό οδικών συμβάντων συμμετέχοντα



Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσες φορές έχετε λάβει πρόστιμο για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας; \*

- 0
- 1
- 2
- 3
- >3

Σε πόσα ατυχήματα έχετε εμπλακεί ως οδηγός; \*

	0	1	2	3	>3
Με υλικές ζημι...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Με παθόντες	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

Ο κώδικας που αναπτύχθηκε στο R-Studio για την ανάγκη της γραμμικής παλινδρόμησης:

```
#Statistical Analysis
#Required Packages
#Απαραίτητα paketa
library(tidyverse)
library(ggplot2)
library(ggthemes)
library(gridExtra)
library(ggrepel)
library(plyr)
library(dplyr)
library(lattice)
library(plotly)
library(leaps)
library(GGally)
library(car)
library(lmtest)
library(readxl)
Manuever_Results_1
read_excel("C:/Users/alver/Desktop/Results_New/Results_New_June.xlsx")
attach(Manuever_Results_1)

#Information asd
dim(Manuever_Results_1)
names(Manuever_Results_1)
str(Manuever_Results_1)
head(Manuever_Results_1)
summary(Manuever_Results_1)
#not necessary
names(Manuever_Results_1)
unique(Manuever_Results_1)
length(Manuever_Results_1)
#not necessary

#Filter for Velocities
###Dimioyrgw 3 kainoyries pinakes gia 70,80,90 km/hr wste na filtrarw tis taxitites
###kai na dieykolinthw sthn analysh
#Manuever_Results_70<-cbind(Manuever_Results[1:24])
#Manuever_Results_80<-cbind(Manuever_Results[25:48])
#Manuever_Results_90<-cbind(Manuever_Results[49:72])
#efarmogh filtrwn . Theloyme na apokleistoyrn ta deigmata opoy kseperasan thn taxythta meleths
kata 10 km/hr
```

```
#Manuever_Results_70<-filter(Manuever_Results_70,ASp170<80)
#Manuever_Results_70<-filter(Manuever_Results_70,ASp270<80)
#Manuever_Results_70<-filter(Manuever_Results_70,ASp370<80)
#Manuever_Results_70<-filter(Manuever_Results_70,ASp470<80)
#Manuever_Results_80<-filter(Manuever_Results_80,ASp180<90)
#Manuever_Results_80<-filter(Manuever_Results_80,ASp280<90)
#Manuever_Results_80<-filter(Manuever_Results_80,ASp380<90)
#Manuever_Results_80<-filter(Manuever_Results_80,ASp480<90)
#Manuever_Results_90<-filter(Manuever_Results_90,ASp190<100)
#Manuever_Results_90<-filter(Manuever_Results_90,ASp290<100)
#Manuever_Results_90<-filter(Manuever_Results_90,ASp390<100)
#Manuever_Results_90<-filter(Manuever_Results_90,ASp490<100)
```

```
#Boxplots
par(mfrow=c(1,3))
#boxplot(Analyzed_File$PSD~Analyzed_File$,ylab="PSD")
#Orizw 3 metablites gia kathe taxythta meletis kai mia metabliti gia ta synolika miki
Aktines<-cbind(R1,R2,R3,R4)
Radius_Length<-cbind(RL1,RL2,RL3,RL4)
Headway<-cbind(PHW1,AHW4)
Accelaration<-cbind(PAcc1,AAcc2,AAcc3,AAcc4)
Velocity<-cbind(PSp1,ASp2,ASp3,ASp4)
DV<-cbind(DV1,DV2,DV3,DV4)
Overtaking_Zone<-cbind(OZ)
#Aktines_70<-cbind(R170,R270,R370,R470)
#Aktines_80<-cbind(R180,R280,R380,R480)
#Aktines_90<-cbind(R190,R290,R390,R490)
#Dimiourgw ta boxplots twn parapanw metablitwn wste na vgalw ta outliers
#boxplot(Aktines_70,ylab="Radius 70km/hr")
#boxplot(Aktines_80,ylab="Radius 80km/hr")
#boxplot(Aktines_90,ylab="Radius 90km/hr")
#boxplot(Total_lengths,ylab="Total overtaking length")
```

```
#myColours<- ifelse(levels(data$Aktines)== "R1",rgb(0,128,255,0),
#ifelse(levels(data$Aktines)== "R2",rgb(255,153,51,0),
#ifelse(levels(data$Aktines)== "R3",rgb(0,204,0,0),
#"yellow")))
boxplot(Manuever_Results_1$R1,plot=FALSE)$out
boxplot(Aktines,ylab="Radius (m)",col="orange")
boxplot(Radius_Length,ylab="Radius Length (m)",col="lightblue")
boxplot(Headway,ylab="Headway (m)",col="151")
par(mfrow=c(1,4))
boxplot(Accelaration,ylab="Accelaration (km/hour2)",col="purple")
boxplot(Velocity,ylab="Velocity (km/hour)",col="lightgreen")
boxplot(DV,ylab="Difference between Velocities (km/hour)",col="red")
```

```

boxplot(Overtaking_Zone,ylab="Overtaking Zone (m)",col="brown")
#####independent variables -- test #####

#METATROPI SE LOG

#log Overtaking Zone
Manuever_Results_1$logOZ <- log10(Manuever_Results_1$OZ)

#log R1,2,3,4
Manuever_Results_1$logR1 <- log10(Manuever_Results_1$R1)
Manuever_Results_1$logR2 <- log10(Manuever_Results_1$R2)
Manuever_Results_1$logR3 <- log10(Manuever_Results_1$R3)
Manuever_Results_1$logR4 <- log10(Manuever_Results_1$R4)

#log RL1,2,3,4
Manuever_Results_1$logRL1 <- log10(Manuever_Results_1$RL1)
Manuever_Results_1$logRL2 <- log10(Manuever_Results_1$RL2)
Manuever_Results_1$logRL3 <- log10(Manuever_Results_1$RL3)
Manuever_Results_1$logRL4 <- log10(Manuever_Results_1$RL4)

#log ASp1,2,3,4
Manuever_Results_1$logPSp1 <- log10(Manuever_Results_1$PSp1)
Manuever_Results_1$logASp2 <- log10(Manuever_Results_1$ASp2)
Manuever_Results_1$logASp3 <- log10(Manuever_Results_1$ASp3)
Manuever_Results_1$logASp4 <- log10(Manuever_Results_1$ASp4)

#log AAcc1,2,3,4
Manuever_Results_1$logPAcc1 <- log10(Manuever_Results_1$PAcc1)
Manuever_Results_1$logAAcc2 <- log10(Manuever_Results_1$AAcc2)
Manuever_Results_1$logAAcc3 <- log10(Manuever_Results_1$AAcc3)
Manuever_Results_1$logAAcc4 <- log10(Manuever_Results_1$AAcc4)

#log HW1,4
Manuever_Results_1$logPHW1 <- log10(Manuever_Results_1$PHW1)
Manuever_Results_1$logAHW4 <- log10(Manuever_Results_1$AHW4)

#log DV1,4
Manuever_Results_1$logDV1 <- log10(Manuever_Results_1$DV1)
Manuever_Results_1$logDV2 <- log10(Manuever_Results_1$DV2)
Manuever_Results_1$logDV3 <- log10(Manuever_Results_1$DV3)
Manuever_Results_1$logDV4 <- log10(Manuever_Results_1$DV4)

#GINOMENA

#Aktines X Radius Length
Manuever_Results_1$R1RL1 <- Manuever_Results_1$R1 * Manuever_Results_1$RL1
Manuever_Results_1$R2RL2 <- Manuever_Results_1$R2 * Manuever_Results_1$RL2

```

```
Manuever_Results_1$R3RL3 <- Manuever_Results_1$R3 * Manuever_Results_1$RL3
Manuever_Results_1$R4RL4 <- Manuever_Results_1$R4 * Manuever_Results_1$RL4
```

#### #Aktines X Taxytites

```
Manuever_Results_1$R1PSp1 <- Manuever_Results_1$R1 * Manuever_Results_1$PSp1
Manuever_Results_1$R2ASp2 <- Manuever_Results_1$R2 * Manuever_Results_1$ASp2
Manuever_Results_1$R3ASp3 <- Manuever_Results_1$R3 * Manuever_Results_1$ASp3
Manuever_Results_1$R4ASp4 <- Manuever_Results_1$R4 * Manuever_Results_1$ASp4
```

#### #Radius Length X Taxytites

```
Manuever_Results_1$RL1PSp1 <- Manuever_Results_1$RL1 * Manuever_Results_1$PSp1
Manuever_Results_1$RL2ASp2 <- Manuever_Results_1$RL2 * Manuever_Results_1$ASp2
Manuever_Results_1$RL3ASp3 <- Manuever_Results_1$RL3 * Manuever_Results_1$ASp3
Manuever_Results_1$RL4ASp4 <- Manuever_Results_1$RL4 * Manuever_Results_1$ASp4
```

#### #Aktines X Accelaration

```
Manuever_Results_1$R1PAcc1 <- Manuever_Results_1$R1 * Manuever_Results_1$PAcc1
Manuever_Results_1$R2AAcc2 <- Manuever_Results_1$R2 * Manuever_Results_1$AAcc2
Manuever_Results_1$R3AAcc3 <- Manuever_Results_1$R3 * Manuever_Results_1$AAcc3
Manuever_Results_1$R4AAcc4 <- Manuever_Results_1$R4 * Manuever_Results_1$AAcc4
```

#### #Radius Length X Accelaration

```
Manuever_Results_1$RL1PAcc1 <- Manuever_Results_1$RL1 * Manuever_Results_1$PAcc1
Manuever_Results_1$RL2AAcc2 <- Manuever_Results_1$RL2 * Manuever_Results_1$AAcc2
Manuever_Results_1$RL3AAcc3 <- Manuever_Results_1$RL3 * Manuever_Results_1$AAcc3
Manuever_Results_1$RL4AAcc4 <- Manuever_Results_1$RL4 * Manuever_Results_1$AAcc4
```

#### #Taxytites X Accelaration

```
Manuever_Results_1$PSp1PAcc1 <- Manuever_Results_1$PSp1 * Manuever_Results_1$PAcc1
Manuever_Results_1$ASp2AAcc2 <- Manuever_Results_1$ASp2 * Manuever_Results_1$AAcc2
Manuever_Results_1$ASp3AAcc3 <- Manuever_Results_1$ASp3 * Manuever_Results_1$AAcc3
Manuever_Results_1$ASp4AAcc4 <- Manuever_Results_1$ASp4 * Manuever_Results_1$AAcc4
```

#### #Radius Lenght X DV

```
Manuever_Results_1$RL1DV1 <- Manuever_Results_1$RL1 * Manuever_Results_1$DV1
Manuever_Results_1$RL2DV2 <- Manuever_Results_1$RL2 * Manuever_Results_1$DV2
Manuever_Results_1$RL3DV3 <- Manuever_Results_1$RL3 * Manuever_Results_1$DV3
Manuever_Results_1$RL4DV4 <- Manuever_Results_1$RL4 * Manuever_Results_1$DV4
```

#### #Accelaration X DV

```
Manuever_Results_1$PAcc1DV1 <- Manuever_Results_1$PAcc1 * Manuever_Results_1$DV1
Manuever_Results_1$AAcc2DV2 <- Manuever_Results_1$AAcc2 * Manuever_Results_1$DV2
Manuever_Results_1$AAcc3DV3 <- Manuever_Results_1$AAcc3 * Manuever_Results_1$DV3
Manuever_Results_1$AAcc4DV4 <- Manuever_Results_1$AAcc4 * Manuever_Results_1$DV4
```

#### #Taxytites X DV

```
Manuever_Results_1$PSp1DV1 <- Manuever_Results_1$PSp1 * Manuever_Results_1$DV1
```



```

Manuever_Results_1$ASp2DV2 <- Manuever_Results_1$ASp2 * Manuever_Results_1$DV2
Manuever_Results_1$ASp3DV3 <- Manuever_Results_1$ASp3 * Manuever_Results_1$DV3
Manuever_Results_1$ASp4DV4 <- Manuever_Results_1$ASp4 * Manuever_Results_1$DV4

```

```
#Headway X Radius Length
```

```

Manuever_Results_1$RL1PHW1 <- Manuever_Results_1$RL1 * Manuever_Results_1$PHW1
Manuever_Results_1$RL4AHW4 <- Manuever_Results_1$RL4 * Manuever_Results_1$AHW4

```

```
#Headway X Aktines
```

```

Manuever_Results_1$R1PHW1 <- Manuever_Results_1$R1 * Manuever_Results_1$PHW1
Manuever_Results_1$R4AHW4 <- Manuever_Results_1$R4 * Manuever_Results_1$AHW4

```

```
#Headway X Taxytites
```

```

Manuever_Results_1$PSp1PHW1 <- Manuever_Results_1$PSp1 * Manuever_Results_1$PHW1
Manuever_Results_1$ASp4AHW4 <- Manuever_Results_1$ASp4 * Manuever_Results_1$AHW4

```

```
#Headway X DV
```

```

Manuever_Results_1$DV1PHW1 <- Manuever_Results_1$DV1 * Manuever_Results_1$PHW1
Manuever_Results_1$DV4AHW4 <- Manuever_Results_1$DV4 * Manuever_Results_1$AHW4

```

```
#TETRAGWNA
```

```
#Aktines
```

```

Manuever_Results_1$R12 <- (Manuever_Results_1$R1)**2
Manuever_Results_1$R22 <- (Manuever_Results_1$R2)**2
Manuever_Results_1$R32 <- (Manuever_Results_1$R3)**2
Manuever_Results_1$R42 <- (Manuever_Results_1$R4)**2

```

```
#Taxytites
```

```

Manuever_Results_1$PSp12 <- (Manuever_Results_1$PSp1)**2
Manuever_Results_1$ASp22 <- (Manuever_Results_1$ASp2)**2
Manuever_Results_1$ASp32 <- (Manuever_Results_1$ASp3)**2
Manuever_Results_1$ASp42 <- (Manuever_Results_1$ASp4)**2

```

```
#Radius Length
```

```

Manuever_Results_1$RL12 <- (Manuever_Results_1$RL1)**2
Manuever_Results_1$RL22 <- (Manuever_Results_1$RL2)**2
Manuever_Results_1$RL32 <- (Manuever_Results_1$RL3)**2
Manuever_Results_1$RL42 <- (Manuever_Results_1$RL4)**2

```

```
#Accelaration
```

```

Manuever_Results_1$PAcc12 <- (Manuever_Results_1$PAcc1)**2
Manuever_Results_1$AAcc22 <- (Manuever_Results_1$AAcc2)**2
Manuever_Results_1$AAcc32 <- (Manuever_Results_1$AAcc3)**2
Manuever_Results_1$AAcc42 <- (Manuever_Results_1$AAcc4)**2

```

```
#Headway
```

```
Manuever_Results_1$PHW12 <- (Manuever_Results_1$PHW1)**2
Manuever_Results_1$AHW42 <- (Manuever_Results_1$AHW4)**2
```

```
#DV
```

```
Manuever_Results_1$DV12 <- (Manuever_Results_1$DV1)**2
Manuever_Results_1$DV22 <- (Manuever_Results_1$DV2)**2
Manuever_Results_1$DV32 <- (Manuever_Results_1$DV3)**2
Manuever_Results_1$DV42 <- (Manuever_Results_1$DV4)**2
```

```
#/MEDIAN
```

```
#Aktines
```

```
Manuever_Results_1$R150 <- Manuever_Results_1$R1/median(Manuever_Results_1$R1)
Manuever_Results_1$R250 <- Manuever_Results_1$R2/median(Manuever_Results_1$R2)
Manuever_Results_1$R350 <- Manuever_Results_1$R3/median(Manuever_Results_1$R3)
Manuever_Results_1$R450 <- Manuever_Results_1$R4/median(Manuever_Results_1$R4)
```

```
#Taxytites
```

```
Manuever_Results_1$PSp150 <- Manuever_Results_1$PSp1/median(Manuever_Results_1$PSp1)
Manuever_Results_1$ASp250 <- Manuever_Results_1$ASp2/median(Manuever_Results_1$ASp2)
Manuever_Results_1$ASp350 <- Manuever_Results_1$ASp3/median(Manuever_Results_1$ASp3)
Manuever_Results_1$ASp450 <- Manuever_Results_1$ASp4/median(Manuever_Results_1$ASp4)
```

```
#Radius Length
```

```
Manuever_Results_1$RL150 <- Manuever_Results_1$RL1/median(Manuever_Results_1$RL1)
Manuever_Results_1$RL250 <- Manuever_Results_1$RL2/median(Manuever_Results_1$RL2)
Manuever_Results_1$RL350 <- Manuever_Results_1$RL3/median(Manuever_Results_1$RL3)
Manuever_Results_1$RL450 <- Manuever_Results_1$RL4/median(Manuever_Results_1$RL4)
```

```
#Accelaration
```

```
Manuever_Results_1$PAcc150 <-
Manuever_Results_1$PAcc1/median(Manuever_Results_1$PAcc1)
Manuever_Results_1$AAcc250 <-
Manuever_Results_1$AAcc2/median(Manuever_Results_1$AAcc2)
Manuever_Results_1$AAcc350 <-
Manuever_Results_1$AAcc3/median(Manuever_Results_1$AAcc3)
Manuever_Results_1$AAcc450 <-
Manuever_Results_1$AAcc4/median(Manuever_Results_1$AAcc4)
```

```
#Headway
```

```
Manuever_Results_1$PHW150 <-
Manuever_Results_1$PHW1/median(Manuever_Results_1$PHW1)
Manuever_Results_1$AHW450 <-
Manuever_Results_1$AHW4/median(Manuever_Results_1$AHW4)
```

```
#DV
```

```

Manuever_Results_1$DV150 <- Manuever_Results_1$DV1/median(Manuever_Results_1$DV1)
Manuever_Results_1$DV250 <- Manuever_Results_1$DV2/median(Manuever_Results_1$DV2)
Manuever_Results_1$DV350 <- Manuever_Results_1$DV3/median(Manuever_Results_1$DV3)
Manuever_Results_1$DV450 <- Manuever_Results_1$DV4/median(Manuever_Results_1$DV4)

```

```
#MAXIMUM
```

```
#Aktines
```

```

Manuever_Results_1$R1max <- Manuever_Results_1$R1/max(Manuever_Results_1$R1)
Manuever_Results_1$R2max <- Manuever_Results_1$R2/max(Manuever_Results_1$R2)
Manuever_Results_1$R3max <- Manuever_Results_1$R3/max(Manuever_Results_1$R3)
Manuever_Results_1$R4max <- Manuever_Results_1$R4/max(Manuever_Results_1$R4)

```

```
#Taxytites
```

```

Manuever_Results_1$PSp1max <- Manuever_Results_1$PSp1/max(Manuever_Results_1$PSp1)
Manuever_Results_1$ASp2max <- Manuever_Results_1$ASp2/max(Manuever_Results_1$ASp2)
Manuever_Results_1$ASp3max <- Manuever_Results_1$ASp3/max(Manuever_Results_1$ASp3)
Manuever_Results_1$ASp4max <- Manuever_Results_1$ASp4/max(Manuever_Results_1$ASp4)

```

```
#Radius Length
```

```

Manuever_Results_1$RL1max <- Manuever_Results_1$RL1/max(Manuever_Results_1$RL1)
Manuever_Results_1$RL2max <- Manuever_Results_1$RL2/max(Manuever_Results_1$RL2)
Manuever_Results_1$RL3max <- Manuever_Results_1$RL3/max(Manuever_Results_1$RL3)
Manuever_Results_1$RL4max <- Manuever_Results_1$RL4/max(Manuever_Results_1$RL4)

```

```
#Accelaration
```

```

Manuever_Results_1$PAcc1max <- Manuever_Results_1$PAcc1/max(Manuever_Results_1$PAcc1)
Manuever_Results_1$AAcc2max <- Manuever_Results_1$AAcc2/max(Manuever_Results_1$AAcc2)
Manuever_Results_1$AAcc3max <- Manuever_Results_1$AAcc3/max(Manuever_Results_1$AAcc3)
Manuever_Results_1$AAcc4max <- Manuever_Results_1$AAcc4/max(Manuever_Results_1$AAcc4)

```

```
#Headway
```

```

Manuever_Results_1$PHW1max <- Manuever_Results_1$PHW1/max(Manuever_Results_1$PHW1)
Manuever_Results_1$AHW4max <-
Manuever_Results_1$AHW4/max(Manuever_Results_1$AHW4)

```

```
#DV
```

```

Manuever_Results_1$DV1max <- Manuever_Results_1$DV1/max(Manuever_Results_1$DV1)
Manuever_Results_1$DV2max <- Manuever_Results_1$DV2/max(Manuever_Results_1$DV2)
Manuever_Results_1$DV3max <- Manuever_Results_1$DV3/max(Manuever_Results_1$DV3)
Manuever_Results_1$DV4max <- Manuever_Results_1$DV4/max(Manuever_Results_1$DV4)

```

```
#SIN
```

```
#Aktines
```

```
Manuever_Results_1$R1sin <- Manuever_Results_1$R1/sin(Manuever_Results_1$R1)
```

```

Manuever_Results_1$R2sin <- Manuever_Results_1$R2/sin(Manuever_Results_1$R2)
Manuever_Results_1$R3sin <- Manuever_Results_1$R3/sin(Manuever_Results_1$R3)
Manuever_Results_1$R4sin <- Manuever_Results_1$R4/sin(Manuever_Results_1$R4)
sin(Manuever_Results_1$R1)

#Taxytites
Manuever_Results_1$PSp1sin <- Manuever_Results_1$PSp1/sin(Manuever_Results_1$PSp1)
Manuever_Results_1$ASp2sin <- Manuever_Results_1$ASp2/sin(Manuever_Results_1$ASp2)
Manuever_Results_1$ASp3sin <- Manuever_Results_1$ASp3/sin(Manuever_Results_1$ASp3)
Manuever_Results_1$ASp4sin <- Manuever_Results_1$ASp4/sin(Manuever_Results_1$ASp4)

#Radius Length
Manuever_Results_1$RL1sin <- Manuever_Results_1$RL1/sin(Manuever_Results_1$RL1)
Manuever_Results_1$RL2sin <- Manuever_Results_1$RL2/sin(Manuever_Results_1$RL2)
Manuever_Results_1$RL3sin <- Manuever_Results_1$RL3/sin(Manuever_Results_1$RL3)
Manuever_Results_1$RL4sin <- Manuever_Results_1$RL4/sin(Manuever_Results_1$RL4)

#Accelaration
Manuever_Results_1$PAcc1sin <- Manuever_Results_1$PAcc1/sin(Manuever_Results_1$PAcc1)
Manuever_Results_1$AAcc2sin <- Manuever_Results_1$AAcc2/sin(Manuever_Results_1$AAcc2)
Manuever_Results_1$AAcc3sin <- Manuever_Results_1$AAcc3/sin(Manuever_Results_1$AAcc3)
Manuever_Results_1$AAcc4sin <- Manuever_Results_1$AAcc4/sin(Manuever_Results_1$AAcc4)

#Headway
Manuever_Results_1$PHW1sin <- Manuever_Results_1$PHW1/sin(Manuever_Results_1$PHW1)
Manuever_Results_1$AHW4sin <- Manuever_Results_1$AHW4/sin(Manuever_Results_1$AHW4)

#DV
Manuever_Results_1$DV1sin <- Manuever_Results_1$DV1/sin(Manuever_Results_1$DV1)
Manuever_Results_1$DV2sin <- Manuever_Results_1$DV2/sin(Manuever_Results_1$DV2)
Manuever_Results_1$DV3sin <- Manuever_Results_1$DV3/sin(Manuever_Results_1$DV3)
Manuever_Results_1$DV4sin <- Manuever_Results_1$DV4/sin(Manuever_Results_1$DV4)

##### linear regression #####
par(mfrow=c(1,2))
regR1=regsubsets(Manuever_Results_1$R1 ~ Manuever_Results_1$DV1 +
  Manuever_Results_1$PSp1+
  Manuever_Results_1$RL1+
  Manuever_Results_1$PHW1 +
  Manuever_Results_1$PAcc1,data=Manuever_Results_1, weights =NULL, nbest=1,
nvmax=30 )
plot(regR1,scale = "adjr2")
plot(regR1,scale="r2")

regR1=lm(Manuever_Results_1$R1 ~
  Manuever_Results_1$RL1+
  Manuever_Results_1$PHW1)

```

```

summary(regR1)
AIC(regR1)
BIC(regR1)

regR2=regsubsets(Manuever_Results_1$logR2 ~ Manuever_Results_1$logDV2 +
                Manuever_Results_1$logASp2 +
                Manuever_Results_1$logRL2 +
                Manuever_Results_1$logAAcc2,data=Manuever_Results_1, weights =NULL, nbest=1,
                nvmax=30)
plot(regR2,scale = "adjr2")
plot(regR2,scale= "r2")

regR2=lm(Manuever_Results_1$logR2 ~ Manuever_Results_1$logDV2 +
        Manuever_Results_1$logRL2)
summary(regR2)
AIC(regR2)
BIC(regR2)

regR3=regsubsets(Manuever_Results_1$R3 ~ Manuever_Results_1$RL3ASp3 +
                Manuever_Results_1$AAcc3DV3 ,data=Manuever_Results_1, weights =NULL, nbest=1,
                nvmax=30 )
plot(regR3,scale = "adjr2")
plot(regR3,scale= "r2")

regR3=lm(Manuever_Results_1$R3 ~ Manuever_Results_1$RL3ASp3)
summary(regR3)
AIC(regR3)
BIC(regR3)

regR4=regsubsets(Manuever_Results_1$R4 ~ Manuever_Results_1$DV4 +
                Manuever_Results_1$ASp4 +
                Manuever_Results_1$RL4 +
                Manuever_Results_1$AHW4 +
                Manuever_Results_1$AAcc4,data=Manuever_Results_1, weights =NULL, nbest=1,
                nvmax=30 )
plot(regR4,scale = "adjr2")
plot(regR4,scale= "r2")

regR4=lm(Manuever_Results_1$R4 ~
        Manuever_Results_1$RL4 +
        Manuever_Results_1$ASp4AHW4 )
summary(regR4)
AIC(regR4)
BIC(regR4)
#####loglinear regression #####

regR1=regsubsets(Manuever_Results_1$logR1 ~ Manuever_Results_1$logDV1 +

```

```

    Manuever_Results_1$logPSp1+
    Manuever_Results_1$logRL1+
    Manuever_Results_1$logPHW1 +
    Manuever_Results_1$logPAcc1,data=Manuever_Results_1, weights =NULL, nbest=1,
nvmax=30 )
plot(regR1,scale = "adjr2")
plot(regR1,scale= "r2")

```

```

regR1=lm(Manuever_Results_1$logR1 ~
    Manuever_Results_1$logRL1+
    Manuever_Results_1$logPHW1 +
    Manuever_Results_1$logPAcc1)
summary(regR1)
AIC(regR1)
BIC(regR1)

```

```

regR2=regsubsets(Manuever_Results_1$logR2 ~ Manuever_Results_1$logDV2 +
    Manuever_Results_1$logRL2+
    Manuever_Results_1$logAAcc2,data=Manuever_Results_1, weights =NULL, nbest=1,
nvmax=30 )
plot(regR2,scale = "adjr2")
plot(regR2,scale= "r2")
#log better tha linear

```

```

regOZ=regsubsets(Manuever_Results_1$logOZ ~ Manuever_Results_1$logR1 +
    Manuever_Results_1$logR2 + Manuever_Results_1$logR3 + Manuever_Results_1$logR4 +
    Manuever_Results_1$logPSp1 + Manuever_Results_1$logASp2 +
    Manuever_Results_1$logASp3 + Manuever_Results_1$logASp4 +
    Manuever_Results_1$logDV1 + Manuever_Results_1$logDV2 +
    Manuever_Results_1$logDV3 + Manuever_Results_1$logDV4 +
    Manuever_Results_1$logRL1 + Manuever_Results_1$logRL2 +
    Manuever_Results_1$logRL3 + Manuever_Results_1$logRL4 +
    Manuever_Results_1$logPAcc1 + Manuever_Results_1$logAAcc2 +
    Manuever_Results_1$logAAcc3 + Manuever_Results_1$logAAcc4 , data=Manuever_Results_1,
weights =NULL, nbest=1, nvmax=30)
plot(regOZ,scale = "adjr2")
plot(regOZ,scale= "r2")

```

```

regOZ=lm(Manuever_Results_1$logOZ ~ Manuever_Results_1$logR1 + Manuever_Results_1$logR3
+ Manuever_Results_1$logR4 +
    Manuever_Results_1$logASp3 +
    Manuever_Results_1$logDV2 +
    Manuever_Results_1$logRL2 + Manuever_Results_1$logRL4 +
    Manuever_Results_1$logAAcc3 )
summary(regOZ)

```

AIC(regOZ)  
BIC(regOZ)

#montelo me total  
logLik(regOZ)  
lrtest(regOZ)

#montelo R1  
logLik(regR1)  
lrtest(regR1)

#montelo R2  
logLik(regR2)  
lrtest(regR2)

#montelo R3  
logLik(regR3)  
lrtest(regR3)

#montelo R4  
logLik(regR4)  
lrtest(regR4)