

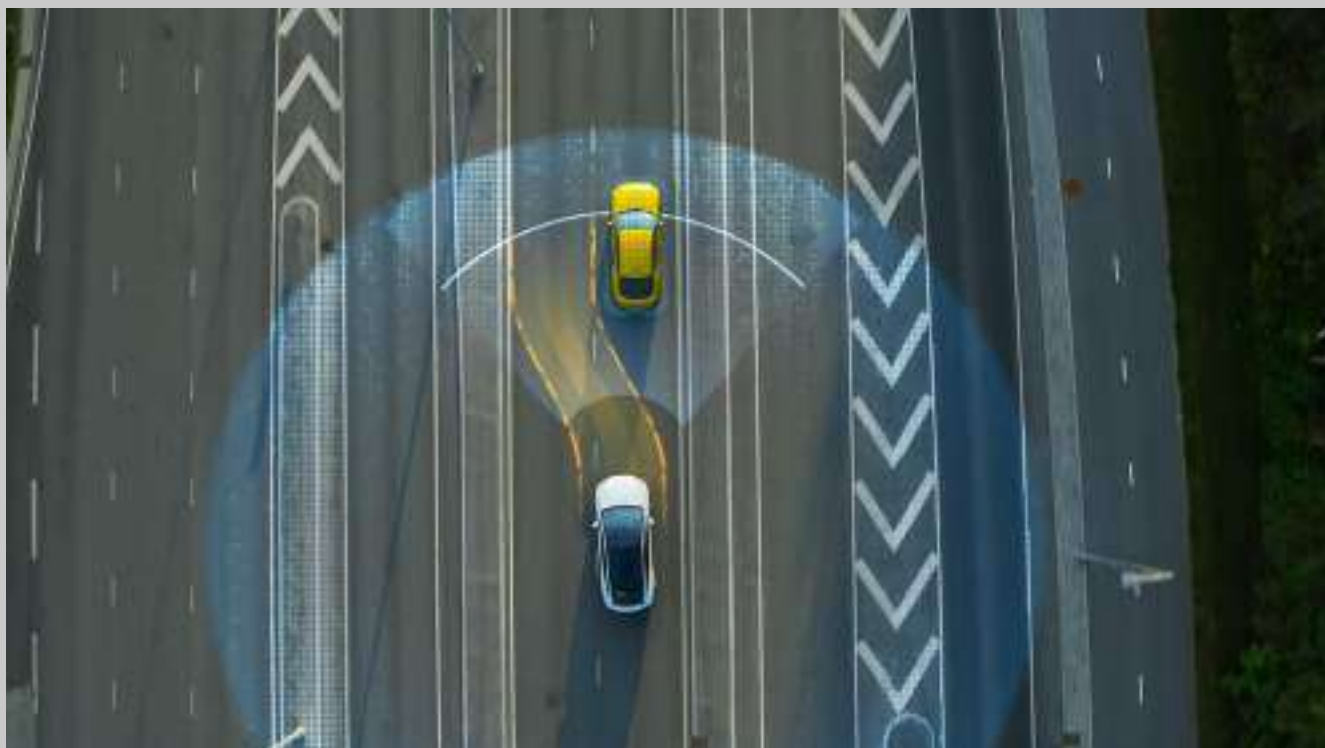


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**Προτυποποίηση Τροχιάς Προσπέρασης, με Βάση Δυναμικά  
Χαρακτηριστικά Οχήματος Αξιοποιώντας Δεδομένα από Οδικό  
Πείραμα και Προσομοιωτή Οδήγησης**



**ΚΟΦΙΝΗΣ Κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επικ.Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Νοέμβριος 2022, Αθήνα





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**Προτυποποίηση Τροχιάς Προσπέρασης, με Βάση Δυναμικά Χαρακτηριστικά  
Οχήματος Αξιοποιώντας Δεδομένα από Οδικό Πείραμα και Προσομοιωτή  
Οδήγησης**

**ΚΟΦΙΝΗΣ Κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επικ.Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Νοέμβριος 2022, Αθήνα**





**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING**  
**DEPT. OF TRANSPORTATION PLANNING AND ENGINEERING**

**DIPLOMA THESIS**

---

**Passing Path Assessment, Based on Vehicle Dynamic Features Utilizing  
Data from Field Driving Experiment and Driving Simulator**

**KOFINIS K. DIMITRIOS**

**Supervisor: Stergios Mavromatis, A.Professor N.T.U.A.**

**November 2022, Athens**





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**Προτυποποίηση Τροχιάς Προσπέρασης, με Βάση Δυναμικά  
Χαρακτηριστικά Οχήματος Αξιοποιώντας Δεδομένα από Οδικό  
Πείραμα και Προσομοιωτή Οδήγησης**



**ΚΟΦΙΝΗΣ Κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επικ.Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Νοέμβριος 2022, Αθήνα





Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).



ΚΟΦΙΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

All Rights Reserved

All Rights Reserved Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing, and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization (L. 5343/1932, art. 202).



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, την υποστήριξη και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της, καθώς και για την εξαιρετική συνεργασία μας. 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. Γ. Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και κ. Α. Λοΐζο, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν καθ' όλη την πορεία των χρόνων φοίτησης μου στη σχολή.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Ματράγκο, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για την βοήθεια που μου προσέφερε με τις συμβουλές και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Αθήνα, Νοέμβριος 2022



## Περίληψη

### **Προτυποποίηση Τροχιάς Προσπέρασης, με Βάση Δυναμικά Χαρακτηριστικά Οχήματος Αξιοποιώντας Δεδομένα από Οδικό Πείραμα και Προσομοιωτή Οδήγησης**

Κοφίνης Κ. Δημήτριος

Επιβλέπων: Μαυρομάτης Στέργιος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Η παρούσα διπλωματική έχει ως στόχο την προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης αυτόνομων οχημάτων, χρησιμοποιώντας δεδομένα από προσομοιωτή οδήγησης και όχημα με προσαρμοσμένο δέκτη GNSS. Η τροχιά της προσπέρασης μελετήθηκε σε προσομοιωτή οδήγησης για τρία όρια ταχυτήτων (70km/h, 80km/h, 90km/h) και σε οδικό πείραμα με καταγραφή θέσης μέσω δέκτη GNSS για δύο όρια ταχυτήτων (90km/h, 110km/h). Το υπό προσπέραση όχημα κινείται με σταθερή ταχύτητα και μειωμένη κατά 20 km/h από το εκάστοτε όριο ταχύτητας. Το σενάριο του πειράματος αφορούσε υπεραστική οδό χωρίς κυκλοφορία στην αντίθετη κατεύθυνση. Τα δεδομένα που προέκυψαν, αρχικά αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο του γωνιακού διαγράμματος, με στόχο να προσδιοριστεί η γεωμετρία των αντίρροπων τόξων του οχήματος που επιχειρεί ελιγμό προσπέρασης. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος της κλωθοειδούς καμπύλης και ο υπολογισμός των απαραίτητων παραμέτρων της. Μελετήθηκε η τροχιά της προσπέρασης και οι παράμετροι που αφορούν στις πλευρικές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων στα σημεία πιθανής σύγκρουσης τους. Για την στατιστική ανάλυση των παραγόμενων παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των θηκογραμμάτων και παράλληλα κατασκευάστηκαν, μέσω του στατιστικού δείγματος, μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης για την ακτίνα εξόδου και το συνολικό μήκος, της πρώτης φάσης του ελιγμού της προτυποποιημένης προσπέρασης.

### ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:

**Προτυποποίηση, Τροχιά προσπέρασης, Γωνιακό διάγραμμα, Δέκτης GNSS, Προσομοιωτής οδήγησης, Πλευρικές αποστάσεις, Θηκογράμματα, Γραμμική παλινδρόμηση.**



## **Abstract**

### **Passing Path Assessment, Based on Vehicle Dynamic Features Utilizing Data from Field Driving Experiment and Driving Simulator**

**Kofinis K. Dimitrios**

**Supervisor: Mavromatis Stergios, Assistant Professor NTUA**

The main objective of this Thesis is to model the passing path of autonomous vehicles, using data from a driving simulator and a vehicle with an adapted GNSS receiver. The overtaking trajectory was studied in a driving simulator for three speed limits (70km/h, 80km/h, 90km/h) and in a field driving experiment with position tracking via a GNSS receiver for two speed limits (90km/h, 110km/h). The initial preceding vehicle shall be driven at a fixed speed, reduced by 20 km/h from the respective speed limit. The scenario of the experiment involved two-lane long urban road with zero opposite traffic. The data obtained were initially analyzed and processed by the azimuth diagram method, in order to determine the geometry of the counter arcs of the vehicle attempting overtaking maneuver. Then the clothoid curve method was applied and the necessary parameters were calculated. The passing path and the parameters relating to the lateral distances between the vehicles at the points of their possible impact have been examined. For the statistical analysis of the derived parameters, the method of boxplots was used. In addition linear regression models for the lane exit radius and the total length of the first phase of the maneuver of the modeled overtake were constructed.

#### **Keywords:**

**Modeling, Overtaking Trajectory, Azimuth Diagram, GNSS Receiver, Driving Simulator, Lateral Distances, Boxplots, Linear Regression.**





# Πίνακας περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων .....	xiii
Ευρετήριο Γραφημάτων .....	xvi
Ευρετήριο Πινάκων .....	xvii
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Γενική Ανασκόπηση .....	1
1.2 Στόχος της διπλωματικής εργασίας .....	3
1.3 Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας .....	4
1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ- ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	7
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	7
<b>2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....</b>	<b>8</b>
2.1 Γενικά.....	8
2.2 Συναφείς Έρευνες και Μέθοδοι.....	8
2.2.1 Analyzing Speeding Behavior in Two-Lane Rural Roads, 2013 [4] .....	8
2.2.2 Modelling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking, (2014) [5].....	11
2.2.3 Passing Sight Distance Assessment through the Interaction of Road-Vehicle Parameters, 2019 [6] .....	13
2.2.4 Modeling Drivers Passing Duration and distance in a virtual environment, 2013 [7] .....	16
2.2.5 Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment, 2016 [8]. .....	17
2.2.6 Modify car following model by human effects based on Locally Linear Neuro Fuzzy, 2011 [9] .....	21
2.2.7 Precise Estimation Of Road Horizontal And Vertical Geometric Features Using Mobile Mapping Techniques, 2009 [10] .....	24
2.2.8 Overtaking trajectory assessment utilizing data from driving simulator, 2022 [11] .....	26
2.3 Συμπεράσματα.....	30
<b>3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....</b>	<b>32</b>
3.1 Εισαγωγή .....	32
3.2 Προσομοιωτής οδήγησης .....	32
3.3 Όχημα με προσαρμοσμένο δέκτη GNSS .....	34
3.4 Γωνιακό Διάγραμμα.....	35
3.5 Κλωθοειδείς καμπύλες .....	43
3.6 Διάγραμμα Αξιμούθιων.....	53

<b>3.7</b>	<b>Θηκόγραμμα (Boxplots)</b>	<b>56</b>
<b>3.8</b>	<b>Υπολογιστικό περιβάλλον R</b>	<b>58</b>
3.8.1	Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης	59
3.8.2	Λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση	59
<b>3.9</b>	<b>Κριτήρια επιλογής μοντέλου</b>	<b>60</b>
3.9.1	Συντελεστές βί	61
3.9.2	Έλεγχος t-test	61
3.9.3	Τιμή σημαντικότητας p-value	62
3.9.4	Μέτρα προσαρμογής	62
3.9.5	Κριτήριο καλής προσαρμογής $R^2$ – Adjusted $R^2$	63
<b>4.</b>	<b>ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>65</b>
<b>4.2</b>	<b>Συλλογή δεδομένων</b>	<b>65</b>
4.2.1	Συλλογή δεδομένων οδικού πειράματος	65
4.2.2	Συλλογή δεδομένων πειράματος προσομοιωτή	71
<b>4.3</b>	<b>Επεξεργασία στοιχείων - Μεθοδολογία</b>	<b>76</b>
4.3.1	Επεξεργασία δεδομένων οδικού πειράματος	76
4.3.2	Επεξεργασία δεδομένων πειράματος προσομοιωτή	91
4.3.3	Επεξεργασία δεδομένων κοινή και για τα δύο πειράματα	94
<b>5.</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ</b>	<b>99</b>
<b>5.1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>99</b>
<b>5.2</b>	<b>Κατασκευή Θηκογραμμάτων</b>	<b>99</b>
<b>5.3</b>	<b>Κατασκευή Μοντέλων Γραμμικής Παλινδρόμησης</b>	<b>102</b>
5.3.1	Εισαγωγή στοιχείων στην R	102
5.3.2	Κώδικας	102
5.3.3	Στατιστικά ποιοτικό μοντέλο	105
5.3.4	Αποτελέσματα	106
<b>6.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ</b>	<b>109</b>
<b>6.1</b>	<b>Σύνοψη Αποτελεσμάτων</b>	<b>109</b>
<b>6.2</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>109</b>
<b>6.3</b>	<b>Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα</b>	<b>110</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>112</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

<b>Εικόνα 1.1:</b> Επίπεδα αυτοματοποιημένης οδήγησης [1].	2
<b>Εικόνα 1.2:</b> Τροχιά και φάσεις ελιγμού προσπέρασης [2].	3
<b>Εικόνα 1.3:</b> Δομή διπλωματικής εργασίας [3].	5
<b>Εικόνα 2.1:</b> Οι τρεις φάσεις προσπέρασης ελιγμού δύο οχημάτων [5].	12
<b>Εικόνα 2.2:</b> Απεικόνιση του ελιγμού προσπέρασης [5].	13
<b>Εικόνα 2.3:</b> Κριτήρια απόστασης κατά τη διαδικασία της προσπέρασης [6].	15
<b>Εικόνα 2.4:</b> Φάσεις προσπέρασης με διέλευση οχημάτων αντίθετης κατεύθυνσης [7].	16
<b>Εικόνα 2.5:</b> Στατική και δυναμική μέθοδος παρατήρησης προσπεράσεων [8].	19
<b>Εικόνα 2.6:</b> Αποτέλεσμα που παράχθηκε από το λογισμικό, 23km οδικού δικτύου που συνδέει το Ρέθυμνο με το Ηράκλειο [10].	25
<b>Εικόνα 2.7:</b> Απεικόνιση του δρόμου από τον προσομοιωτή [11].	28
<b>Εικόνα 2.8:</b> Γεωμετρία διαδρομής διέλευσης κατά τη φάση 1 [11].	29
<b>Εικόνα 3.1:</b> Προσομοιωτής οδήγησης Dr. Foerst F12PF-3A88-NR_1.	33
<b>Εικόνα 3.2:</b> Προσομοιωτής οδήγησης Dr. Foerst F12PF-3A88-NR_2.	34
<b>Εικόνα 3.3:</b> Γωνιακό διάγραμμα καμπύλης αναφοράς.	36
<b>Εικόνα 3.4:</b> Γωνιακό διάγραμμα γεωμετρικών στοιχείων οδών.	37
<b>Εικόνα 3.5:</b> Γωνιακό διάγραμμα σύνθετης καμπύλης οδού.	38
<b>Εικόνα 3.6:</b> Προσδιορισμός διακριτού γωνιακού διαγράμματος άξονα από συντεταγμένες σημείων πύκνωσης του.	39
<b>Εικόνα 3.7:</b> Γεωμετρικά μεγέθη κύκλου διερχόμενου από τρία διαδοχικά σημεία πύκνωσης του άξονα.	41
<b>Εικόνα 3.8:</b> Γραφική προσαρμογή κλασσικών τόξων σε διακριτό γωνιακό διάγραμμα.	42
<b>Εικόνα 3.9:</b> Πλήρες ανάπτυγμα της κλωθοειδούς καμπύλης [14].	44
<b>Εικόνα 3.10:</b> Τμήμα μιας κλωθοειδούς καμπύλης και ένα τυχόν σημείο Σ πάνω σε αυτή [13].	45
<b>Εικόνα 3.11:</b> Τμήμα κλωθοειδούς καμπύλης με επισημασμένα κάποια βοηθητικά μεγέθη [15].	46
<b>Εικόνα 3.12:</b> Μια τυπική καμπύλη με ασύμμετρες κλωθοειδείς εισόδους και εξόδους στο σημείο πέρατος και στην περιοχή του σημείου Κ [14].	49
<b>Εικόνα 3.13:</b> Μια τυπική διάταξη μιας S-καμπύλης σε ένα οδικό τμήμα [13].	50
<b>Εικόνα 3.14:</b> Παράδειγμα S-καμπύλης [13].	51
<b>Εικόνα 3.15:</b> Η τυπική διάταξη μιας κλωθοειδούς κορυφής [13].	52
<b>Εικόνα 3.16:</b> Η γωνία διεύθυνσης ενός ευθύγραμμου τμήματος (αριστερά) και η κλίση του (δεξιά).	54
<b>Εικόνα 3.17:</b> Το διάγραμμα αζιμούθιων μιας ευθυγραμμίας είναι μια οριζόντια γραμμή.	54
<b>Εικόνα 3.18:</b> Το διάγραμμα αζιμούθιων ενός κυκλικού τόξου είναι μια κεκλιμένη γραμμή.	55
<b>Εικόνα 3.19:</b> Το διάγραμμα αζιμούθιων μιας κλωθοειδούς είναι μια παραβολή.	55
<b>Εικόνα 3.20:</b> Το διάγραμμα αζιμούθιων που αντιστοιχεί σε ένα υφιστάμενο οδικό τμήμα [16].	56

<b>Εικόνα 3.21:</b> Το διάγραμμα του αζιμούθιου στο περιβάλλον του Excel.....	56
<b>Εικόνα 3.22:</b> Οι βασικές τιμές στο διάγραμμα πλαισίου. ....	57
<b>Εικόνα 3.23:</b> R-studio.....	58
<b>Εικόνα 3.24:</b> Μορφή γραμμικού μοντέλου. ....	59
<b>Εικόνα 3.25:</b> Μαθηματικές σχέσεις λογαριθμικών γραμμικών μοντέλων.....	60
<b>Εικόνα 4.1:</b> Συσκευή GNSS τύπου u-blox EVK-6T-0 που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα [18].	65
<b>Εικόνα 4.2:</b> Τοποθέτηση δέκτη GNSS στο κέντρο της οροφής οχήματος του πειράματος [18].	66
<b>Εικόνα 4.3:</b> Ειδικά διαμορφωμένο αρχείο Excel που λειτουργεί ως βάση δεδομένων για τις τροχιές. ....	70
<b>Εικόνα 4.4:</b> Παράδειγμα καταγραφής προσπεράσεων που συμπληρώθηκε κατά την διάρκεια του πειράματος [18]. ....	71
<b>Εικόνα 4.5:</b> Διαδικασία διεξαγωγής πειράματος στον προσομοιωτή.....	72
<b>Εικόνα 4.6:</b> Αρχείο Excel “Simulator Database” με την βάση δεδομένων για το πείραμα του προσομοιωτή. ....	75
<b>Εικόνα 4.7:</b> Υπολογιστικό φύλλο Excel με ονομασία “Log-Passing”, διαμορφωμένο για την εισαγωγή δεδομένων του οχήματος που προσπερνάει. ....	76
<b>Εικόνα 4.8:</b> Υπολογιστικό φύλλο Excel με ονομασία “Log-Impeding”, διαμορφωμένο για την εισαγωγή δεδομένων του οχήματος που δέχεται την προσπέραση. ....	77
<b>Εικόνα 4.9:</b> Παράδειγμα Υπολογιστικού φύλλου Excel συμπληρωμένου με πρωτογενή δεδομένα.....	77
<b>Εικόνα 4.10:</b> Υπολογιστικό φύλλο με τίτλο “Data input” χωρίς δεδομένα εισόδου.....	78
<b>Εικόνα 4.11:</b> Υπολογιστικό φύλλο με τίτλο “Data input” μετά την επικόλληση δεδομένων εισόδου από το φύλλο Log-Passing.....	79
<b>Εικόνα 4.12:</b> Περιβάλλον Excel που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή των 5 φάσεων της προσπέρασης πάνω στο διάγραμμα αζιμούθιων. ....	84
<b>Εικόνα 4.13:</b> Τα δεδομένα του καθαρού ελιγμού της προσπέρασης μετά την δευτερογενή μείωση αποθηκευμένα στις στήλες S έως AA.....	84
<b>Εικόνα 4.14:</b> Περιβάλλον Excel από το υπολογιστικό φύλλο “Dynamics”. ....	85
<b>Εικόνα 4.15:</b> Αποστάσεις οχημάτων κατά την διάρκεια της προσπέρασης. ....	86
<b>Εικόνα 4.16:</b> Περιβάλλον Excel από την συνέχεια του υπολογιστικού φύλλου “Dynamics”.....	86
<b>Εικόνα 4.17:</b> Απεικόνιση του υπολογιστικού φύλλου “Clothoid Analysis”.....	91
<b>Εικόνα 4.18:</b> Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Log-Raw”.....	92
<b>Εικόνα 4.19:</b> Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Log-Filtered”. ....	92
<b>Εικόνα 4.20:</b> Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Data Input” ....	93
<b>Εικόνα 4.21:</b> Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Calculate Clothoids”.....	93
<b>Εικόνα 4.22:</b> Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Dynamics”. ....	94
<b>Εικόνα 4.23:</b> Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Calibration”.....	96
<b>Εικόνα 4.24:</b> Παράδειγμα που δείχνει δύο διαδοχικές κλωθοειδείς κορυφές με $\gamma_1 \neq \gamma_2$ .....	97

<b>Εικόνα 4.25:</b> Παράδειγμα που δείχνει την συμμετρία δύο διαδοχικών κλωθοειδών κορυφής με $\gamma_1=\gamma_2=\gamma_{1,2cal}$ .....	97
<b>Εικόνα 4.26:</b> Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Data output”.....	97
<b>Εικόνα 4.27:</b> Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Data output”.....	98
<b>Εικόνα 4.28:</b> Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Data output”.....	98
<b>Εικόνα 5.1:</b> Μορφή κώδικα για εντολή read_excel.....	102
<b>Εικόνα 5.2:</b> Ενδεικτικό τμήμα πίνακα data_final. ....	102
<b>Εικόνα 5.3:</b> Πλατφόρμα R-studio.....	103
<b>Εικόνα 5.4:</b> Δημιουργία μεταβλητών στην R-studio. ....	104
<b>Εικόνα 5.5:</b> Ενδεικτικό τμήμα τελικού πίνακα δεδομένων. ....	104
<b>Εικόνα 5.6:</b> Κώδικας δημιουργίας τελικών μοντέλων. ....	104
<b>Εικόνα 5.7:</b> Αποτελέσματα εντολής lm, τελικό μοντέλο για ακτίνα $R_1$ .....	105
<b>Εικόνα 5.8:</b> Αποτελέσματα εντολής lm, τελικό μοντέλο για το διορθωμένο μήκος $L_{1,2cal}$ . ....	105

## Ευρετήριο Γραφημάτων

<b>Γράφημα 2.1:</b> Κατανομή ηλικίας και φύλου στη μελέτη οδικού πεδίου σε σύγκριση με τη μελέτη προσομοιωτή οδήγησης [8].....	20
<b>Γράφημα 2.2:</b> Διάγραμμα εγκάρσιων συντεταγμένων $X$ μιας τροχιάς μοτοσυκλέτας πριν και μετά την εφαρμογή του φίλτρου [9].....	22
<b>Γράφημα 2.3:</b> Το διάγραμμα αζιμούθιων ενός οδικού τμήματος και η αντίστοιχη οριζοντιογραφία [10].....	24
<b>Γράφημα 2.4:</b> Διάγραμμα αζιμούθιων διαδικασίας προσπέρασης [11]. ....	29
<b>Γράφημα 4.1:</b> Το διάγραμμα αζιμούθιων (πάνω) και η αντίστοιχη οριζοντιογραφία (κάτω) μιας τυπικής προσπέρασης. ....	80
<b>Γράφημα 4.2:</b> Διαχωρισμός της προσπέρασης σε 5 επιμέρους φάσεις [18]. ....	81
<b>Γράφημα 4.3:</b> Υποβάθμιση της ποιότητας του διαγράμματος αζιμούθιων που οφείλεται σε σφάλμα του GPS.....	82
<b>Γράφημα 4.4:</b> Υποβάθμιση της ποιότητας του διαγράμματος αζιμούθιων που οφείλεται στην οδηγική συμπεριφορά. ....	82
<b>Γράφημα 4.5:</b> Καθορισμός των επιμέρους φάσεων μιας προσπέρασης στο διάγραμμα αζιμούθιων. ....	83
<b>Γράφημα 4.6:</b> Ενδεικτική παρουσίαση των φάσεων της προσπέρασης που προσομοιώνονται με κλωθοειδείς κορυφές καθώς και των σημείων διαχωρισμού σε υπό-φάσεις.....	87
<b>Γράφημα 4.7:</b> Ενδεικτική παρουσίαση των φάσεων της προσπέρασης που προσομοιώνονται με κλωθοειδείς κορυφές καθώς και των σημείων διαχωρισμού σε υπό-φάσεις στο διάγραμμα αζιμούθιων. ....	88
<b>Γράφημα 4.8:</b> Διάγραμμα ταχύτητας και επιτάχυνσης ανά χιλιομετρική θέση. Με μπλε χρώμα οι ταχύτητες με πορτοκαλί οι επιταχύνσεις. ....	95
<b>Γράφημα 5.1:</b> Boxplot Ανάλυσης για την ακτίνα εξόδου $R_1$ . ....	100
<b>Γράφημα 5.2:</b> Boxplot Ανάλυσης για τον λόγο των ακτινών $R_1 / R_2$ . ....	100
<b>Γράφημα 5.3:</b> Boxplot Ανάλυσης για την αρχική απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων Headway 1.....	100
<b>Γράφημα 5.4:</b> Boxplot Ανάλυσης για το πλευρικό περιθώριο ασφαλείας LSM1.....	101
<b>Γράφημα 5.5:</b> Boxplot Ανάλυσης για την αρχική ταχύτητα εξόδου της προσπέρασης $V_0$ . ....	101
<b>Γράφημα 5.6:</b> Boxplot Ανάλυσης για την σταθμισμένη επιτάχυνση $a_{cal}$ . ....	101
<b>Γράφημα 5.7:</b> Γράφημα τιμών VIF για το μοντέλο της ακτίνας εξόδου $R_1$ . ....	108
<b>Γράφημα 5.8:</b> Γράφημα τιμών VIF για το μοντέλο του μήκους $L_{1,2cal}$ . ....	108

## Ευρετήριο Πινάκων

<b>Πίνακας 2.1:</b> Χαρακτηριστικά τμημάτων υπεραστικών οδών για συνθήκες ελεύθερης ροής [4]. .	9
<b>Πίνακας 2.2:</b> Χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων για συλλογή στοιχείων προσπέρασης [4]. .....	10
<b>Πίνακας 2.3:</b> Παράγοντες που περιλαμβάνονται στον πειραματικό σχεδιασμό [8]. .....	20
<b>Πίνακας 2.4:</b> Αποκλίσεις οριζοντιογραφικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών [10]. .....	26
<b>Πίνακας 2.5:</b> Αποκλίσεις μηκοτομικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών [10]. .....	26
<b>Πίνακας 2.6:</b> Αποτελέσματα θηκογραμμάτων κατά τη φάση 1 και τη φάση 3 [11]. .....	29
<b>Πίνακας 2.7:</b> Κρίσιμες τιμές που προσδιορίζονται κατά τη φάση 1 [11]. .....	30
<b>Πίνακας 3.1:</b> Κρίσιμες τιμές του συντελεστή $t$ της κατανομής Student. ....	61
<b>Πίνακας 3.2:</b> Στατιστική σημαντικότητα μεταβλητών (p-value). .....	62
<b>Πίνακας 4.1:</b> Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος των εθελοντών οδηγών ως προς την ηλικία τους. ....	68
<b>Πίνακας 4.2:</b> Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος των εθελοντών οδηγών ως προς τα χρόνια οδηγικής εμπειρίας. ....	68
<b>Πίνακας 4.3:</b> Δεδομένα καταγραφής του προσομοιωτή. ....	74
<b>Πίνακας 5.1:</b> Πίνακας τιμών VIF. ....	107

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενική Ανασκόπηση

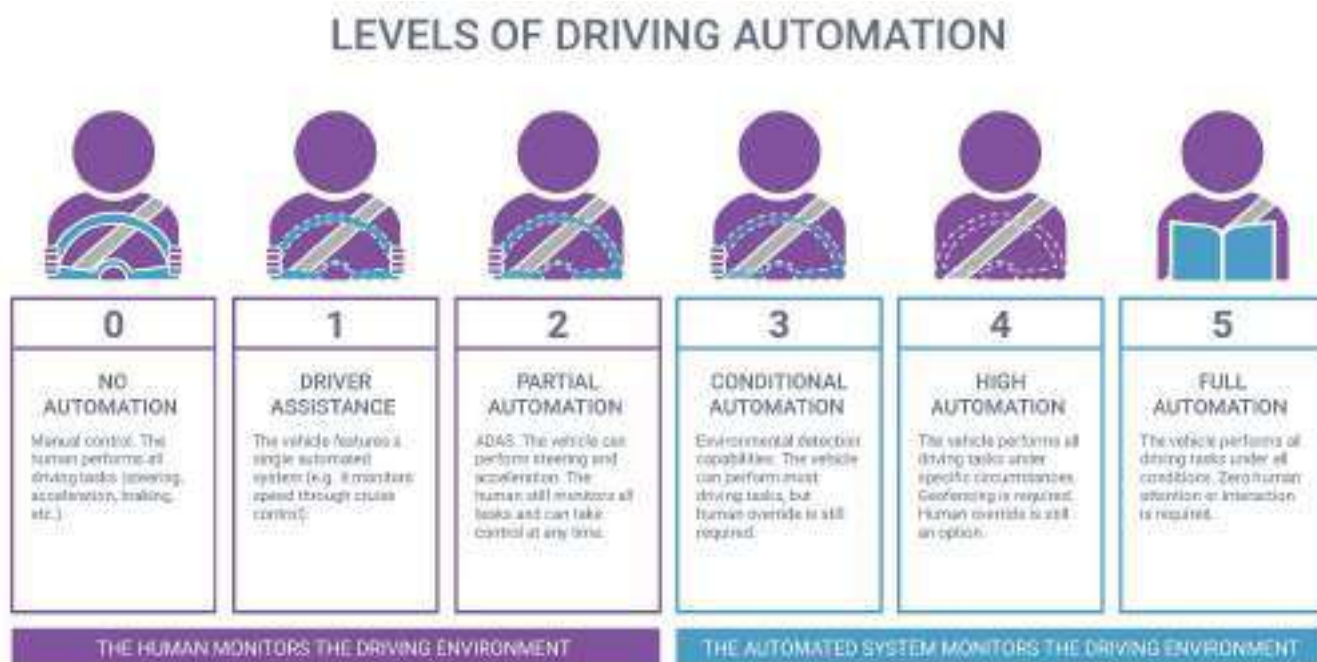
Η συνεχιζόμενη εξέλιξη της τεχνολογίας των οχημάτων στοχεύει στην παροχή ακόμα μεγαλύτερων πλεονεκτημάτων ασφάλειας και αυτοματοποιημένων συστημάτων οδήγησης (Automated Driving Systems – ADS), τα οποία μία ημέρα θα μπορούν να χειριστούν ολόκληρο το έργο οδήγησης, όταν οι οδηγοί δεν επιθυμούν ή δεν μπορούν να το πράξουν μόνοι τους. Η υιοθέτηση αυτόνομων οχημάτων συνεπάγεται σε μια σειρά πιθανών κοινωνικών και οικονομικών οφελών, όπως:

- Μεγαλύτερη ασφάλεια, αφού με την εξάλειψη του ανθρώπινου λάθους, θα υπάρχει μείωση των εν κινήσει συγκρούσεων, των τραυματισμών που προκύπτουν και των εξόδων για την οικονομική κάλυψη αυτών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη αυτών είναι ότι τα αυτόνομα οχήματα δεν θα παρουσιάσουν αστοχίες.
- Μειωμένο κόστος οδήγησης με χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων και εκπομπών ρύπων, λόγω των ομαλότερων χαρακτηριστικών επιτάχυνσής/επιβράδυνσης και των βελτιωμένων χαρακτηριστικών σε όρους ροής κυκλοφορίας.
- Σημαντική μείωση αναγκών για χώρους στάθμευσης, αφού τα αυτόνομα οχήματα θα μπορούν να αποβιβάζουν επιβάτες και να σταθμεύσουν σε οποιοδήποτε κατάλληλο χώρο και στην συνέχεια να επιστρέφουν για να παραλάβουν τους επιβάτες.
- Ενίσχυση της προσβασιμότητας για ηλικιωμένους και άτομα με ειδικές ανάγκες.
- Μεγαλύτερη άνεση και αυξημένη κινητικότητα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.
- Αντικατάσταση της προσοχής που απαιτεί η οδήγηση, με παραγωγική εργασία ή αναψυχή.



Πλήρως αυτοματοποιημένα οχήματα που οδηγούν, αντί να οδηγούνται, θα γίνουν πραγματικότητα και σιγά-σιγά θα ενσωματωθούν στις οδούς, όταν πλέον είναι δυνατή η επίτευξη του ανώτατου επιπέδου αυτόνομης οδήγησης (επίπεδο 5).

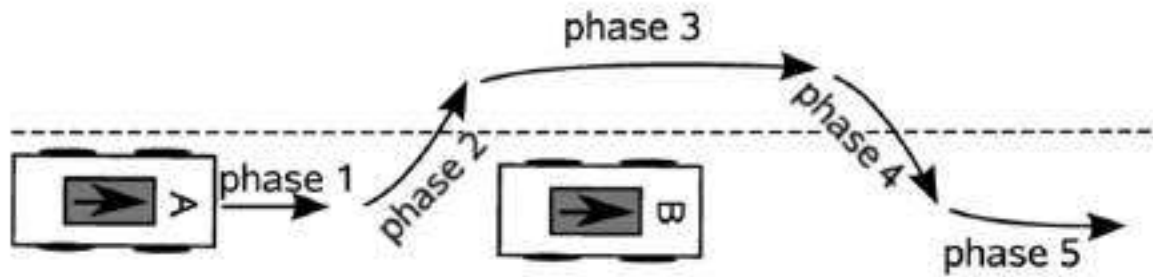
Στην σημερινή αγορά υπάρχουν αυτοματοποιημένα οχήματα επιπέδου 1 και 2 (Εικόνα 1.1), ενώ γίνεται προσπάθεια ανάπτυξης οχημάτων υψηλότερου επιπέδου αυτοματοποίησης.



Εικόνα 1.1: Επίπεδα αυτοματοποιημένης οδήγησης [1].

Είναι εμφανής η πρόοδος που έχει σημειωθεί σε συστήματα που αφορούν στην ασφάλεια του οδηγού και στην αποτροπή ατυχημάτων, παρόλα αυτά χρειάζεται ακόμα μεγάλη προσπάθεια στην μελέτη, την ανάλυση και την προτυποποίηση των ελιγμών που υλοποιεί ένα όχημα κατά την διαδικασία της οδήγησης, καθώς και στην εφαρμογή των αποτελεσμάτων σε αυτοματοποιημένα συστήματα.

Στο σύνολο των υπό διερεύνηση ελιγμών ενός οχήματος ανήκει και η προσπέραση. Για να μελετηθεί καλύτερα η προσπέραση συχνά επιμερίζεται σε πέντε φάσεις, όπως περιγράφεται παρακάτω (Εικόνα 1.2). Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η μελέτη του ελιγμού της προσπέρασης βασίστηκε σε δεδομένα που προέκυψαν από οδικό πείραμα αλλά και από δοκιμές σε προσομοιωτή οδήγησης.



Εικόνα 1.2: Τροχιά και φάσεις ελιγμού προσπέρασης [2].

## 1.2 Στόχος της διπλωματικής εργασίας

Η ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων έχει ως στόχο την ασφάλεια και την διευκόλυνση των χρηστών του οδικού δικτύου, καθώς και τη μείωση του κόστους και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν αναγκαία τη περαιτέρω διερεύνηση της εισαγωγής των αυτόνομων οχημάτων στα οδικά δίκτυα, έτσι ώστε αυτή να επιτευχθεί μέσα στα επόμενα χρόνια. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επισκόπηση της τροχιάς προσπέρασης ενός αυτόνομου οχήματος. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο διερεύνησης της τροχιάς προσπέρασης έλαβαν χώρα δύο πειράματα, ένα σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας και ένα μέσω προσομοιωτή οδήγησης, λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω παραμέτρους :

- Ταχύτητα
- Επιτάχυνση-επιβράδυνση
- Συνολικό μήκος της προσπέρασης
- Απόσταση που είχαν μεταξύ τους τα οχήματα στην αρχή και στο τέλος της προσπέρασης
- Πλευρική απόσταση μεταξύ των οχημάτων

Επιμέρους στόχος της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθούν νέες παράμετροι, που δυνητικά επηρεάζουν την τροχιά του οχήματος όταν επιχειρεί ελιγμό προσπέρασης, μέσω της εφαρμογής μιας νέας μεθόδου καταγραφής και εξαγωγής της τροχιάς ενός οχήματος.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, αναμένεται να συμβάλλουν στη διαδικασία αυτοματοποίησης της διαδικασίας προσπέρασης, αλλά και στην παροχή γνώσης και εμπειρίας σε περαιτέρω ανάλυση του ελιγμού αυτού στο άμεσο μέλλον.

### 1.3 Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας

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

Το πρώτο βήμα ήταν η βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα και ιδιαίτερα από την σκοπιά που τα μελετάει η παρούσα διπλωματική εργασία. Έγινε έρευνα που βασίστηκε σε διαδικτυακή αναζήτηση κειμένων και προηγούμενων διπλωματικών εργασιών αντίστοιχου περιεχομένου. Στόχος ήταν η εξοικείωση με το θέμα αλλά και η συλλογή πληροφοριών για τον τρόπο προσέγγισης και των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν ως τώρα. Επιπλέον, δημιουργήθηκε μια σαφής και εμπειριστατωμένη εικόνα για τη δομή της διπλωματικής εργασίας, τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί, την στατιστική ανάλυση των δεδομένων καθώς και για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Αναφορικά με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την παρούσα διπλωματική, αποφασίστηκε πως θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα από οδικό πείραμα και προσομοιωτή οδήγησης για την διαδικασία προσπέρασης οχημάτων. Οι οδηγοί-εθελοντές που συμμετείχαν στα πειράματα ήταν άτομα μεγάλου εύρους ηλικίας. Ο αριθμός των χρηστών που συμμετείχαν ήταν 31 για το πείραμα του προσομοιωτή και 17 για το οδικό πείραμα, δείγμα που ικανοποιεί τους σκοπούς της παρούσας έρευνας.

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. Το λογισμικό του προσομοιωτή, αλλά και το σύστημα GNSS που χρησιμοποιήθηκε στο οδικό πείραμα, παρείχαν αρχεία μορφής .txt με διάφορα δεδομένα. Τα δεδομένα του GNSS περιορίζονταν στην γεωγραφική θέση X, Y, την ταχύτητα V αλλά και την χρονική στιγμή UTC, ενώ ο προσομοιωτής παρείχε ενδεικτικά τη χιλιομετρική απόσταση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση, την απόσταση από το προπορευμένο όχημα, το χρόνο και άλλα.

Αφού ολοκληρώθηκε η συλλογή των δεδομένων από τα πειράματα, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή της μεθοδολογίας και επεξεργασίας δεδομένων. Με την χρήση του γωνιακού διαγράμματος και χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες της τροχιάς του οχήματος που προσπερνά, υπολογίστηκαν οι ακτίνες καμπυλότητας και τα στοιχεία των αντίρροπων τόξων που προκύπτουν κατά τον ελιγμό προσπέρασης.

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 βάσει της ταχύτητας μελέτης. Ανάλυση και προτυποποίηση πραγματοποιήθηκε όμως, λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό δείγμα χωρίς διαχωρισμό σε ταχύτητες μελέτης.

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

#### 1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας



Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί καθορίζεται και η δομή της διπλωματικής εργασίας για την επίτευξη μιας ορθής παρουσίασης της ροής της, η οποία πρέπει να χαρακτηρίζεται από ομαλότητα ώστε να παρέχεται στον αναγνώστη με σαφήνεια ακρίβεια και περιεκτικότητα το αντικείμενο της μελέτης. Για τον λόγο αυτό ακολουθεί η σύνοψη των κεφαλαίων που την απαρτίζουν.

Εικόνα 1.3: Δομή διπλωματικής εργασίας [3].

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την εισαγωγή της Διπλωματικής Εργασίας που 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 διερεύνηση και κατ' επέκταση η προτυποποίηση του ελιγμού προσπέρασης, βασιζόμενη σε δεδομένα οδικού πειράματος και προσομοιωτή οδήγησης. Στη συνέχεια, ακολουθεί αναφορά των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της μελέτης. Τα βήματα είναι τα εξής :

- Συλλογή δεδομένων από οδικό πείραμα και προσομοιωτή οδήγησης.
- Εισαγωγή των άνω δεδομένων σε υπολογιστικό φύλλο του Microsoft Excel με εντολές VBA για την ανάλυση των προσπεράσεων μέσω του γωνιακού διαγράμματος.
- Εξαγωγή πληροφοριών για τα στοιχεία της προσπέρασης από το υπολογιστικό φύλλο του Microsoft Excel.

- Στατιστική ανάλυση και προτυποποίηση με το λογισμικό Microsoft Excel.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας. Αναλύονται συναφείς έρευνες και μέθοδοι, για την εύρεση του ερευνητικού κενού που υπάρχει και στη συνέχεια θα διευκρινίζεται με σαφήνεια ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Το θέμα του κεφαλαίου αυτού είναι το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Περιέχει αναλυτικά πληροφορίες από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία που σχημάτισαν τον κορμό της μεθοδολογικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, της στατιστικής ανάλυσης των στοιχείων και της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Παρουσιάζονται κατά αντιστοιχία, οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου του Microsoft Excel καθώς και της R και οι βασικές έννοιες της στατιστικής μεθόδου του Μοντέλου Ανάλυσης Αξιοπιστίας που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει τη συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της έρευνας. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από οδικό πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε αυτοκινητόδρομο και με χρήση προσομοιωτή οδήγησης από πραγματικούς οδηγούς. Έπειτα από την διαδικασία συλλογής των δεδομένων παρατίθεται όλη η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία τους. Αναφέρεται όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε με την βοήθεια υπολογιστικών φύλλων του Excel.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ- ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται όλη η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση των εξαγόμενων δεδομένων που προέκυψαν από την επεξεργασία του Κεφαλαίου 4. Οι απαραίτητες παράμετροι συγκεντρώθηκαν σε ένα νέο υπολογιστικό φύλλο, αναλύθηκαν γραφικά με τη μέθοδο των θηκογραμμάτων και κατασκευάστηκαν στατιστικά μοντέλα που δίνουν την ακτίνα του ελιγμού εξόδου του οχήματος στη πρώτη φάση της προσπέρασης καθώς και το συνολικό μήκος του πρώτου ελιγμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Μέσω του κεφαλαίου αυτού γίνεται η εξαγωγή των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Παράλληλα, γίνεται μια σύντομη υπενθύμιση του στόχου και της μεθοδολογίας και τονίζεται η χρησιμότητα των συμπερασμάτων. Τέλος παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα που θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν τα ευρήματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει κατάλογο βιβλιογραφικών αναφορών δίνοντας την δυνατότητα εύρεσης των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας στον εκάστοτε αναγνώστη.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Περιλαμβάνει έρευνες μοντελοποίησης τροχιάς αυτόνομων οχημάτων κατά την προσπέραση, με διάφορες μεθοδολογίες.

Για κάθε έρευνα παρατίθεται ο στόχος της, γίνεται συνοπτική αναφορά στη μέθοδο που ακολουθήθηκε και σχολιάζονται τα συμπεράσματα που προσέφερε σχετικά με την παρούσα διπλωματική εργασία. Μέσω αυτής της διαδικασίας ορίζονται κατευθύνσεις για την επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας, η οποία θα συντελέσει στην επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής εργασίας.

### 2.2 Συναφείς Έρευνες και Μέθοδοι

Το υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζει σημαντικά σημεία από τις παρατιθέμενες έρευνες σχετικά με την τροχιά προσπέρασης οχημάτων και με τις μεταβλητές που την επηρεάζουν. Οι έρευνες επίσης πραγματεύονται πειραματικές εκτιμήσεις και υπολογιστικές μεθόδους σε πραγματικό περιβάλλον και σε περιβάλλον προσομοιωτή. Σκοπός είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες έρευνες, οι οποίες έχουν παρεμφερές περιεχόμενο, και οι οποίες μας έδωσαν το κίνητρο και την έμπνευση για να ασχοληθούμε με αυτό το συγκεκριμένο αντικείμενο μελέτης μας.

#### 2.2.1 Analyzing Speeding Behavior in Two-Lane Rural Roads, 2013 [4]

##### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Η μελέτη αυτή αφορά στον εντοπισμό και στην ανάλυση των παραγόντων που συμβάλουν στην τάση των οδηγών να αναπτύσσουν ταχύτητα κατά τη διάρκεια ταξιδιού καθώς και κατά την διάρκεια ελιγμών προσπέρασης, σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων.

##### Μεθοδολογία:

Για την συγκεκριμένη έρευνα αναπτύχθηκαν δύο τρόποι συλλογής στοιχείων:

- Συλλογή στοιχείων ανάπτυξης ταχύτητας σε συνθήκες ελεύθερης ροής:

Σε αυτήν την περίπτωση, πραγματοποιήθηκε συλλογή στοιχείων μέσω συσκευών GPS που ήταν τοποθετημένες στα οχήματα των οδηγών. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων πραγματοποιήθηκε ανάμεσα σε δύο σημεία ελέγχου ενός οδικού τμήματος αρκετών χιλιομέτρων. Οι οδηγοί που εισέρχονταν στο οδικό αυτό τμήμα (πρώτο σημείο ελέγχου), κλήθηκαν να συμμετάσχουν στην έρευνα. Μία συσκευή GPS, τοποθετήθηκε σε κάθε όχημα και έπειτα ο οδηγός ξεκίνησε για να φτάσει στο δεύτερο σημείο ελέγχου. Οι οδηγοί ενημερώθηκαν για τον χαρακτήρα της έρευνας και έτσι ενθαρρύνθηκαν να οδηγήσουν όπως οι ίδιοι συνηθίζουν. Ήταν όμως σημαντικό να ελεγχθεί η απόκλιση της ταχύτητας κατά την διάρκεια του πειράματος σε σχέση με κανονικές συνθήκες. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις ταχύτητας, η δεύτερη κατά την διάρκεια της δοκιμής και η πρώτη λίγες ημέρες πριν. Οι μετρήσεις αυτές λήφθηκαν μέσω εγγραφής βίντεο, μακριά από την οπτική γωνία των οδηγών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι οδηγοί δεν επηρεάστηκαν από την παρουσία των GPS συσκευών αλλά οδήγησαν κατά το σύνηθες. Για την διαδικασία αυτή, χρησιμοποιήθηκαν δέκα τμήματα αγροτικών οδών με δύο λωρίδες των οποίων τα στοιχεία παρατίθενται στον Πίνακα 2.1. Στοιχεία που αφορούν στις συνθήκες κυκλοφορίας, όρια ταχύτητας, πλάτος λωρίδας.

ID	Road segment	Road segment length [km]	Estimated AADT [vpd]	Lowest posted speed direction 1/direction 2 [km/h]	Highest posted speed direction 1/direction 2 [km/h]	Observations direction 1/direction 2
1	CV-35	13.40	860	40/40	90/90	70/90
2	CV-35	8.20	2257	50/50	90/90	121/120
3	CV-333	5.10	2419	70/70	90/90	101/89
4	CV-50	5.70	4852	90/70	90/90	116/96
5	CV-372	4.50	4149	50/50	80/80	77/117
6	CV-305	4.40	6086	50/50	90/80	112/105
7	CV-370	8.30	2523	90/90	90/90	61/79
8	CV-401	6.00	5202	40/40	90/90	102/91
9	CV-376	6.70	2656	60/60	90/90	58/53
10	CV-310	4.70	6809	60/60	80/80	74/58

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά τμημάτων υπεραστικών οδών για συνθήκες ελεύθερης ροής [4].

- Συλλογή στοιχείων ανάπτυξης ταχύτητας κατά την διάρκεια προσπέρασης

Η συλλογή δεδομένων κατά την διάρκεια της προσπέρασης βασίστηκε σε ένα όχημα εφοδιασμένο με ειδικά εργαλεία μέσω των οποίων λήφθηκαν τα δεδομένα. Το όχημα αυτό δημιουργήθηκε από την Highway Engineering Research Group και χρησιμοποιήθηκε σε οκτώ τμήματα υπεραστικών οδών δύο λωρίδων στα περίχωρα της Βαλένθια, διατηρώντας χαμηλή ταχύτητα, με σκοπό να το προσπεράσουν διερχόμενα οχήματα. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν τέσσερις μικρές ψηφιακές κάμερες οι οποίες κάλυπταν την



πίσω, την αριστερή και την μπροστινή περιοχή μέσω των οποίων παρατηρήθηκε ολόκληρη η τροχιά προσπέρασης κάθε διερχόμενου οχήματος. Οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων, πριν και μετά την εκτέλεση των ελιγμών, συλλέχθηκαν από δύο laser range finders εγκατεστημένα στον πίσω και στον μπροστινό προφυλακτήρα. Καθώς το μέγεθος του εξοπλισμού ήταν μικρό, δεν ήταν ορατό από άλλους οδηγούς, αποφεύγοντας αλλαγές στην συμπεριφορά τους. Επιπλέον πληροφορίες, όπως ο τύπος οχήματος, ο αριθμός επιβατών, το φύλο και η ηλικία των οδηγών καταγράφηκαν από τον συνοδηγό του υπόψη οχήματος. Τα γενικά χαρακτηριστικά των οκτώ οδικών τμημάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2.

#### Αποτελέσματα:

ID	Road segment	Number of allowed passing zones	Length of allowed passing zones [m]	Estimated AADT [vpd]	Posted speed limit [km/h]	Observations
1	CV-35	10	435-1855	5797	100	30
2	CV- 50	2	660-845	4517	100	32
3	CV- 50	12	230-1127	5091	100	34
4	N-225	17	265-1280	5925	100	52
5	CV-415	18	135-1250	5465	60-90	37
6	CV-415	18	135-1250	5465	60-90	28
7	CV-50	11	270-1150	4517	100	48
8	CV-405	22	140-905	15342	80	61

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων για συλλογή στοιχείων προσπέρασης [4].

Οι ταχύτητες που ανέπτυξαν οι οδηγοί σε συνθήκες ελεύθερης ροής συσχετίστηκαν με:

- Το όριο ταχύτητας.
- Το όριο ταχύτητας αυξημένο κατά 10χλμ/ώρα.
- Το όριο ταχύτητας αυξημένο κατά 20χλμ/ώρα.
- Την ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 85% της κατανομής ταχύτητας στο τμήμα της οδού που λήφθηκαν οι μετρήσεις (V85).
- Την ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 95% της κατανομής ταχύτητας στο τμήμα της οδού που λήφθηκαν οι μετρήσεις (V95).

Σχετικά με την προσπέραση έγινε σύγκριση της ταχύτητας κάθε οδηγού κατά την διάρκεια της προσπέρασης με το όριο ταχύτητας.

Τα κύρια συμπεράσματα σχετικά με την ανάλυση του φαινομένου της ταχύτητας κατά τις συνθήκες ελεύθερης ροής στο τρέχον δείγμα οδηγών ήταν:

- Ένα υψηλό ποσοστό οδηγών τείνουν να συνδυάζουν διαφορετικές συμπεριφορές κατά την οδήγηση. Οι μελέτες που βασίζονται στη μέτρηση δεδομένων ταχύτητας μπορεί να μην είναι αρκετά ακριβείς.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό των οδηγών, οδηγεί συνήθως πιο αργά από το V85, καθώς και με ταχύτητα χαμηλότερη του ορίου ταχύτητας αυξημένο κατά 10χλμ/ώρα.
- Άντρες νεαρής ηλικίας τείνουν να αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες.
- Η εμπειρία οδήγησης, η συχνότητα και διάρκεια του ταξιδιού καθώς και η παρουσία επιβαινόντων στα οχήματα δεν βρέθηκαν να είναι σημαντικές μεταβλητές ως προς την επιρροή της ταχύτητας.

Όσον αφορά στη μελέτη των ελιγμών, η μέση ταχύτητα του οχήματος κατά τη διάρκεια της προσπέρασης ήταν η μόνη διαθέσιμη μεταβλητή. Συγκρίνοντας την με το όριο ταχύτητας βρέθηκε πως η επιτάχυνση κατά την διάρκεια των ελιγμών φαίνεται να σχετίζεται με την ηλικία χωρίς όμως να υπάρχει επιρροή της μεταβλητής του φύλου του οδηγού.

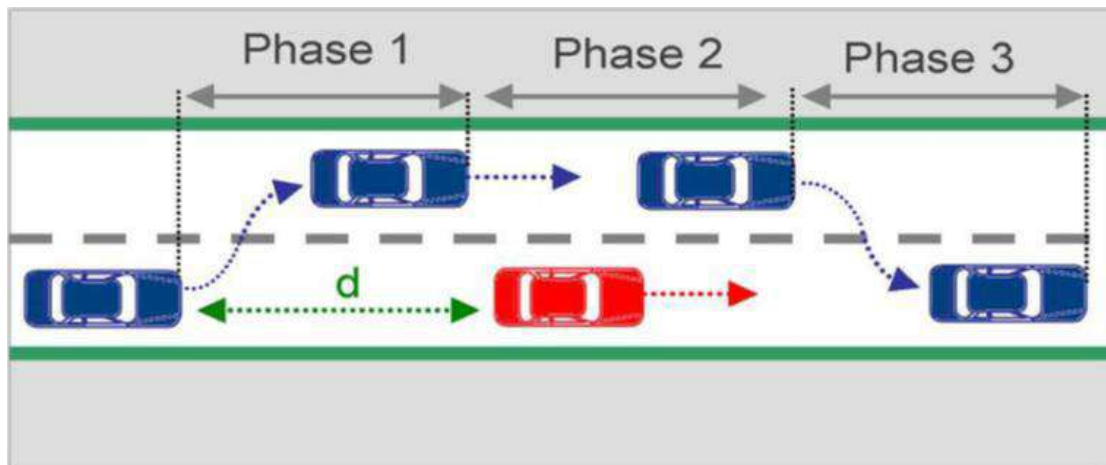
#### 2.2.2 Modelling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking, (2014) [5]

##### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Η μελέτη αναφέρεται στην δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου και ενός συστήματος ελέγχου για τα αυτόνομα οχήματα σχετικό με τον ελιγμό της προσπέρασης. Κατά την διάρκεια της προσπέρασης θεωρείται ότι το όχημα που προσπερνάται ακολουθεί ευθύγραμμη διαδρομή και η γραμμική του ταχύτητα δεν είναι γνωστή. Οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι η σχετική θέση και η κατεύθυνση μεταξύ των δύο οχημάτων.

##### Μεθοδολογία:

Στο πλαίσιο της μελέτης αυτής ο ελιγμός της προσπέρασης αποτελείται από τρεις φάσεις για κάθε μία από τις οποίες χαράσσεται μια τροχιά.



Εικόνα 2.1: Οι τρεις φάσεις προσπέρασης ελιγμού δύο οχημάτων [5].

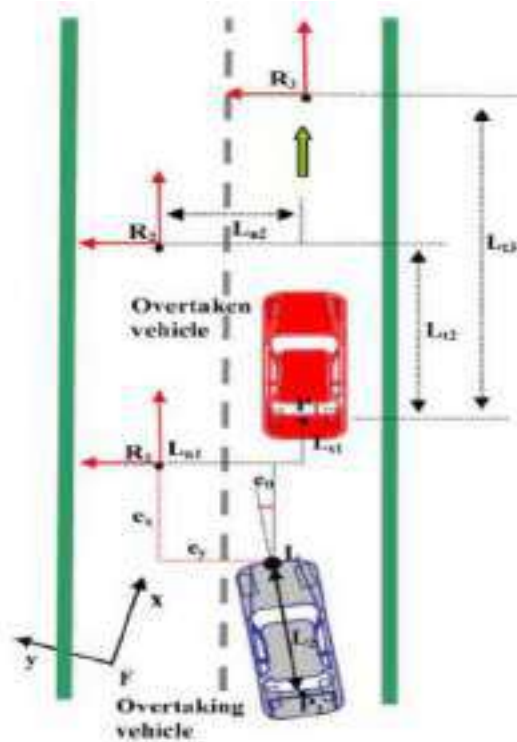
Αναλυτικότερα, η πρώτη φάση αποτελείται από τον ελιγμό για την αλλαγή λωρίδας. Ξεκινώντας από κάποιες αρχικές συνθήκες το όχημα που προσπερνάει αποκλίνει από την λωρίδα κυκλοφορίας και ακολουθεί μια δεδομένη τροχιά αναφοράς για μια δεδομένη χρονική περίοδο και πρέπει να φτάσει σε μια προεπιλεγμένη θέση πίσω από το προσπερασμένο όχημα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1(Phase 1).

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την οδήγηση παράλληλα με το υπό προσπέραση όχημα σε ορισμένη πλευρική απόσταση. Το όχημα ακολουθεί και πάλι δεδομένη τροχιά αναφοράς για ορισμένη χρονική περίοδο έως ότου προσπεράσει το κόκκινο όχημα και φτάσει σε προεπιλεγμένη θέση στα αριστερά του. (Εικόνα 2.1 - Phase 2)

Τέλος, η τρίτη φάση ολοκληρώνεται με το όχημα να επιστρέφει στην λωρίδα κυκλοφορίας φτάνοντας σε προεπιλεγμένη θέση μπροστά από το προσπερασμένο όχημα. (Εικόνα 2.1 - Phase 3)

Οι προεπιλεγμένες θέσεις καθώς και οι διάρκειες των φάσεων ορίστηκαν με βάση τους κανόνες λειτουργίας και οδικής ασφάλειας που ισχύουν για τις προσπεράσεις.

Για τον σχεδιασμό της τροχιάς κάθε φάσης θεωρήθηκε ότι η τροχιά αποτελείται από διάφορα σημεία τα οποία ενώνοντας τα, σχηματίζουν μια τεθλασμένη γραμμή. Η θέση και η κατεύθυνση των οχημάτων προσδιορίστηκαν με την βοήθεια διάφορων επίπεδων συντεταγμένων όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2: Απεικόνιση του ελιγμού προσπέρασης [5].

### Αποτελέσματα:

Τα χρήσιμα δεδομένα της συγκεκριμένης έρευνας είναι η δυνατότητα σχεδιασμού τροχιάς ενός οχήματος κατά την διάρκεια της προσπέρασης αν λάβουμε υπόψη μόνο τις συντεταγμένες του και τους κανόνες οδικής ασφάλειας. Η μεθοδολογία αυτή για την μοντελοποίηση των προσπεράσεων ενός οχήματος μπορεί να επεκταθεί και σε προσπεράσεις που αφορούν πολλά οχήματα.

### 2.2.3 Passing Sight Distance Assessment through the Interaction of Road-Vehicle Parameters, 2019 [6]

#### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Ο στόχος της εργασίας είναι να διερευνήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ των δυναμικών παραμέτρων του οχήματος και της γεωμετρίας του οδικού περιβάλλοντος κατά τη διαδικασία της προσπέρασης. Πιο συγκεκριμένα στοχεύει στην παροχή ενός εργαλείου για την τυποποίηση της διαδικασίας διέλευσης ενόψει του συνεχώς εξελισσόμενου ADAS στα οχήματα. Η ανάλυση της διαδικασίας διέλευσης των οχημάτων, υποθέτοντας συνθήκες ελεύθερης ροής, περιλαμβάνει τη συμβολή τριών οχημάτων διαφορετικών

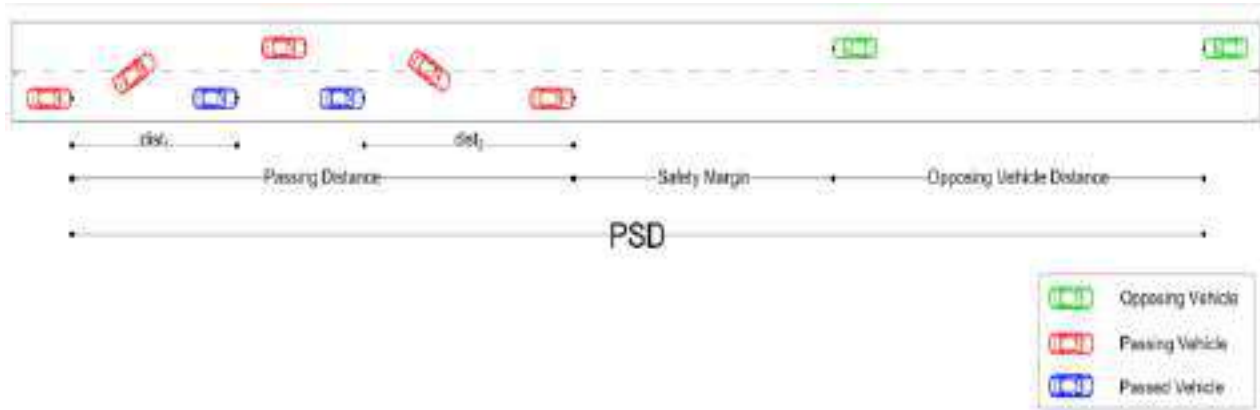
χαρακτηριστικών κίνησης: Το όχημα που προσπερνάει, το όχημα που προσπερνάται και το όχημα της αντίθετης κατεύθυνσης.

#### Μεθοδολογία:

Αρχικά έπεται από σχετική έρευνα ορίστηκαν τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν

- Η ταχύτητα και των τριών οχημάτων δεν υπερβαίνει ποτέ το όριο ταχύτητας.
- Η ταχύτητα κίνησης του οχήματος που προσπερνάται είναι σταθερή με τιμή  $\Delta V$  κάτω από το ισχύον όριο ταχύτητας.
- Η κίνηση του αντίθετου οχήματος είναι επίσης υπό συνθήκες σταθερής ταχύτητας με τιμή ισοδύναμη του αντίστοιχου ορίου.
- Η κίνηση του οχήματος που επιχειρεί ελιγμό προσπέρασης είναι επιταχυνόμενη. Στην αρχική φάση, η τιμή της ταχύτητας ορίζεται ισοδύναμη με τη σχετική ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος και αυξάνεται συνεχώς έως ότου επιτευχθεί το όριο ταχύτητας. Από το σημείο αυτό και μετά το όχημα θεωρείται ότι κινείται με σταθερή ταχύτητα.
- Η απόσταση ( $dist_1$ ) μεταξύ του οχήματος που προσπερνά και προσπερνάται στην φάση εκκίνησης του ελιγμού εκτιμήθηκε 15m.
- Η απόσταση ( $dist_2$ ) μεταξύ του οχήματος που προσπερνά και προσπερνάται στην φάση περάτωσης του ελιγμού εκτιμήθηκε 30m.
- Το περιθώριο ασφαλείας ορίστηκε στη σταθερή τιμή των 100m, η οποία στην πραγματικότητα μπορεί να ερμηνευτεί ως περιθώριο ασφαλείας περίπου 3,5 δευτερόλεπτα για ταχύτητα 100 χλμ./ώρα.

Στην Εικόνα 2.3 αποτυπώνονται καθαρά τα τρία οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους καθώς και το μήκος ορατότητας προσπέρασης (Passing Sight Distance, PSD):



Εικόνα 2.3: Κριτήρια απόστασης κατά τη διαδικασία της προσπέρασης [6].

Ο εκτιμώμενος συσχετισμός απόστασης-ταχύτητας, βρέθηκε ικανοποιητικός, έχοντας υπόψη ότι θεωρήθηκε ο βέλτιστος χειρισμός του οχήματος (αγνοείται ο ανθρώπινος παράγοντας).

Στη συνέχεια, για την αξιολόγηση μιας ενιαίας προσέγγισης των PSD πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση των δεδομένων και βρέθηκαν τα αποτελέσματα :

- η διαφορά ταχύτητας ( $\Delta V$ ) μεταξύ του οχήματος που προσπερνάται και του ορίου ταχύτητας, βρέθηκε να επηρεάζει υπερβολικά το PSD, ειδικά για  $\Delta V < 20\text{km/ώρα}$ .
- Δεδομένου ότι εξετάστηκε μόνο ένα μερικό φάσμα επιβατικών αυτοκινήτων, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ενσωμάτωση όλων των τύπων οχημάτων (SUV, σπορ οχήματα, κ.λπ.).
- Η επίδραση της γεωμετρίας του δρόμου από την άποψη της καμπυλότητας (τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφη) καθώς και οι περιοχές των κόμβων είναι επίσης παράγοντες που ενδεχομένως να προκαλέσουν επιπλέον προβλήματα.

#### Αποτελέσματα:

Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα, ότι ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να επηρεάσει τόσο τη διαδικασία επιτάχυνσης, δημιουργώντας πρόσθετους περιορισμούς, όσο και την απόδοση ασφάλειας του οχήματος.

Προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση για το ζήτημα της διαφοράς ταχύτητας, κυρίως για  $\Delta V = 10\text{km/h}$  που είναι ένας πιθανός αντίκτυπος στο λειτουργικό επίπεδο της οδού.

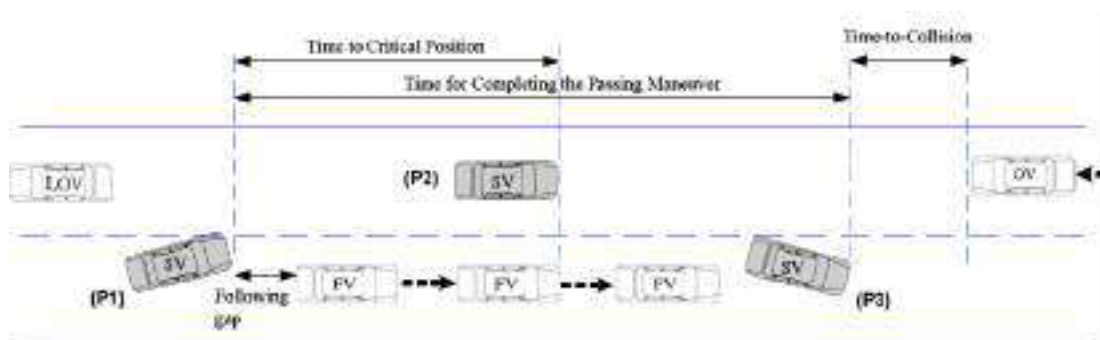
#### 2.2.4 Modeling Drivers Passing Duration and distance in a virtual environment, 2013 [7]

##### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η μοντελοποίηση της διάρκειας και της διανυόμενης απόστασης για την ολοκλήρωση μίας προσπέρασης σε οδούς δύο λωρίδων, ως συνάρτηση του οδηγού, των γεωμετρικών και των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η ενίσχυση των μοντέλων προσπέρασης σε περιβάλλον προσομοιωτή.

##### Μεθοδολογία:

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης. Ο προσομοιωτής οδήγησης συλλέγει δεδομένα σχετικά με τις ταχύτητες, τις θέσεις και την επιτάχυνση του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση καθώς και όλων των υπόλοιπων οχημάτων που υπάρχουν στο σενάριο. Με την επεξεργασία των δεδομένων αυτών μπορούν να υπολογιστούν άλλες μεταβλητές ενδιαφέροντος όπως οι σχετικές ταχύτητες και αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων. Στην συνέχεια, αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό σημαντικών μετρήσεων όπως την απόσταση μεταξύ του οχήματος (SV) που πραγματοποιεί την προσπέραση και του προπορευόμενου (FV), τη στιγμή της έναρξης της προσπέρασης και τον χρόνο που χρειάζεται για να συγκρουστεί με όχημα του αντίθετου ρεύματος (OV) κατά την ολοκλήρωση της προσπέρασης. Η εκκίνηση της προσπέρασης (P1) ορίστηκε ως όταν ο αριστερός μπροστινός τροχός του οχήματος διέρχεται από τον άξονα της οδού ενώ το τέλος της προσπέρασης (P2) ορίστηκε ως όταν ο πίσω αριστερός τροχός διέρχεται και πάλι από τον άξονα. Τα προηγούμενα φαίνονται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Φάσεις προσπέρασης με διέλευση οχημάτων αντίθετης κατεύθυνσης [7].

### Αποτελέσματα:

Τα αποτελέσματα των αναπτυγμένων και εκτιμώμενων μοντέλων έδειξαν ότι, εκτός από τις μεταβλητές που σχετίζονται με την κυκλοφορία, η ηλικία των οδηγών έχει σημαντική επίδραση στην διάρκεια και στην απόσταση προσπέρασης καθώς άτομα νεαρής ηλικίας κάνουν πιο γρήγορους αλλά κάποιες φορές παρακινδυνευμένους ελιγμούς. Τα αποτελέσματα μπορούν επίσης να ενισχύσουν την ανάπτυξη λύσεων για την βελτίωση της ασφάλειας σε οδούς δύο λωρίδων. Επιπλέον, μέσω των μοντέλων που προκύπτουν από την μελέτη αυτή, δίνεται η δυνατότητα ενίσχυσης των μοντέλων των προσομοιωτών. Βέβαια, η χρήση προσομοιωτή χαμηλού κόστους ενδέχεται να επηρεάζει την προσπέραση αφού γίνεται σε επίπεδη οθόνη και όχι σε τρισδιάστατο οδικό περιβάλλον καθώς και το ότι δεν υπάρχει επικινδυνότητα όπως υπό πραγματικές συνθήκες. Έτσι, συνιστάται και η συλλογή δεδομένων σε οδικό περιβάλλον.

#### 2.2.5 Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment, 2016 [8]

### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Η μελέτη αυτή επιχειρεί να συγκρίνει την συμπεριφορά των οδηγών τη στιγμή του ελιγμού προσπέρασης, όπως παρατηρείται στο οδικό περιβάλλον, συγκριτικά με το περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης. Σκοπός είναι να επαληθευτεί η χρήση του προσομοιωτή έτσι ώστε τα αποτελέσματα αυτού να αντικαταστήσουν τις επί τόπου παρατηρήσεις πεδίου.

Καθορίστηκαν οι ακόλουθοι στόχοι :

- Δημιουργία όμοιων συνθηκών οδήγησης, όσον αφορά τη γεωμετρία της οδού και την κυκλοφορία, τόσο στο οδικό περιβάλλον όσο και στο περιβάλλον του προσομοιωτή με σκοπό την αντικειμενική σύγκριση των δύο μεθόδων.
- Σύγκριση απόδοσης της συμπεριφοράς των οδηγών κατά τον ελιγμό προσπέρασης σε οδικό περιβάλλον και περιβάλλον προσομοιωτή (όπως: χρόνος προσπέρασης, διανυόμενη απόσταση και ταχύτητα).



- Σύγκριση της συμπεριφοράς των οδηγών τη στιγμή της προσπέρασης με την ταυτόχρονη παρουσία διερχόμενου οχήματος της αντίθετης κατεύθυνσης.

### Μεθοδολογία:

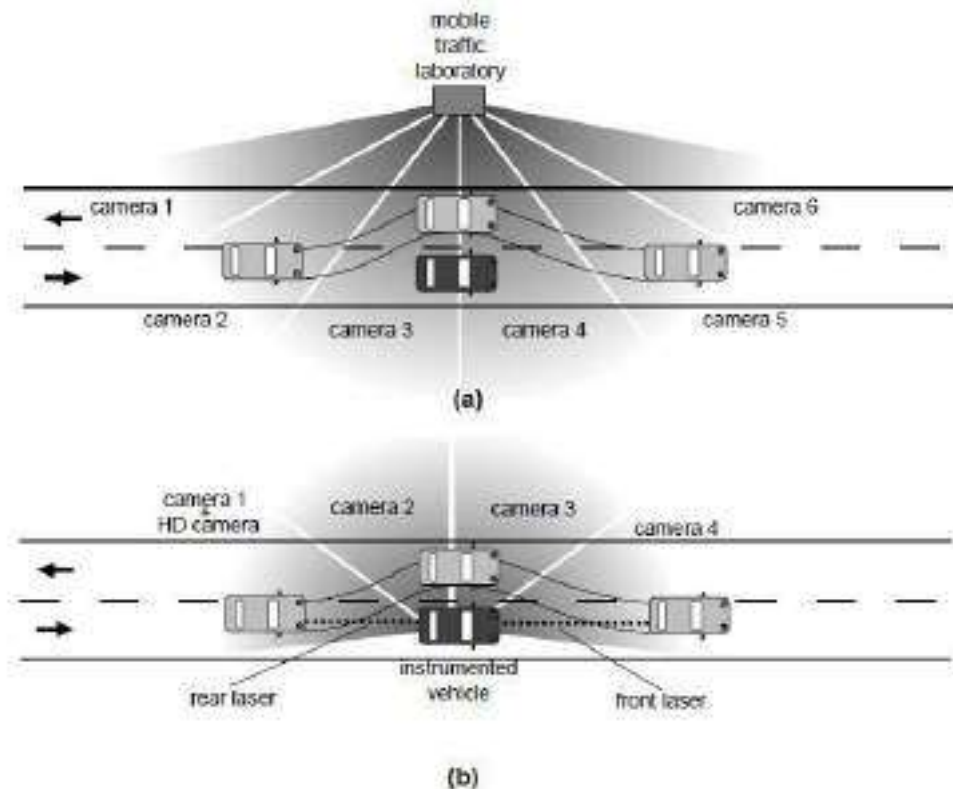
Η περιορισμένη ανάλυση της οθόνης, στο περιβάλλον του προσομοιωτή, επιδρά αρνητικά καθώς περιορίζει την ανίχνευση των οχημάτων αντίθετης τροχιάς, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται επικίνδυνοι ελιγμοί προσπέρασης.

Η μεθοδολογία της έρευνας βασίζεται στη σύγκριση των σημαντικότερων μεταβλητών που χαρακτηρίζουν τη διαδικασία προσπέρασης, όπως το χρόνο και την απόσταση ολοκλήρωσης της προσπέρασης ή το χρόνο έως την ενδεχόμενη σύγκρουση με όχημα αντίθετης κατεύθυνσης. Οι μεταβλητές ελήφθησαν από μελέτη πεδίου στην Ισπανία, καθώς και από μελέτη προσομοίωσης οδήγησης στο Ισραήλ.

- Μελέτη σε οδικό περιβάλλον

Η μελέτη του οδικού περιβάλλοντος έλαβε δεδομένα από 781 ελιγμούς χρησιμοποιώντας δύο μεθοδολογίες σε 10 δρόμους δύο λωρίδων. Ειδικότερα, οι δύο μέθοδοι είναι η στατική και η δυναμική και αντλούν τα δεδομένα τους από την καταγραφή βίντεο των προσπεράσεων.

Η στατική μεθοδολογία χρησιμοποίησε τα βίντεο που καταγράφοντας από εξωτερικές κάμερες σταθερής θέσης σε 24 ζώνες διέλευσης σε 8 οδικά τμήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι βιντεοκάμερες ήταν εγκατεστημένες στην κορυφή μιας αρθρωτής πλατφόρμας (mobile traffic laboratory (MTL) ) ανελκυστήρα ύψους 11 μέτρων η οποία στάθμευε δίπλα σε οδό δύο λωρίδων. Ενώ η δυναμική μεθοδολογία χρησιμοποίησε δύο οχήματα, ένα επιβατικό και ένα φορτηγό με εγκατεστημένα όργανα μέτρησης. Ο στόχος ήταν όταν προσπερνάει κάποιο όχημα ένα από τα δύο αυτά οχήματα, να συλλέγονται τα δεδομένα των ελιγμών. Τα οχήματα οδηγήθηκαν σε 6 τμήματα οδών. Σε 4 από αυτά τα τμήματα εφαρμόστηκε ταυτόχρονα και η στατική μέθοδος προκειμένου να συγκριθούν οι ελιγμοί. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης δεν έδειξαν διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων ως προς τους χρόνους προσπέρασης. Η Εικόνα 2.5 απεικονίζει τη διαδικασία της συλλογής δεδομένων.



Εικόνα 2.5: Στατική και δυναμική μέθοδος παρατήρησης προσπεράσεων [8].

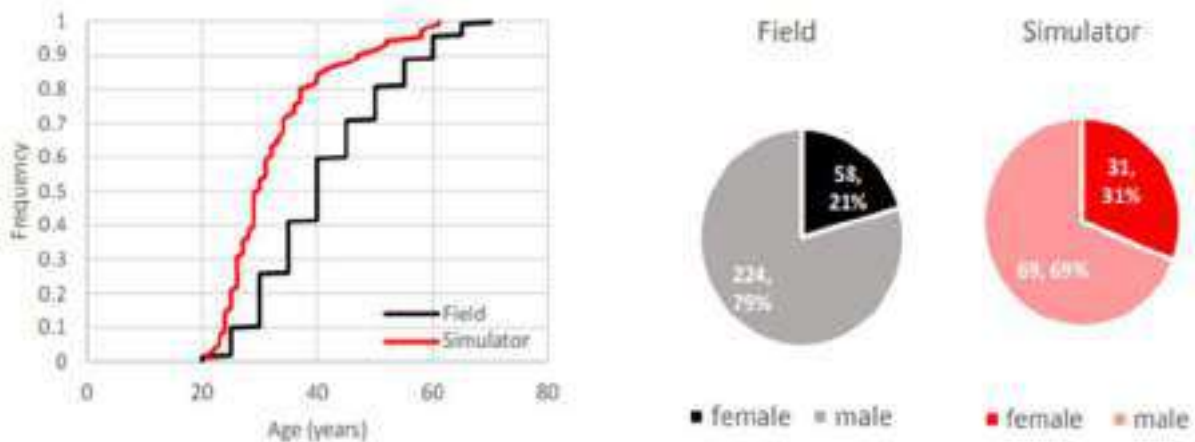
- Μελέτη σε περιβάλλον προσομοιωτή

Από το πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης εξήχθησαν δεδομένα που αφορούν ελιγμούς προσπέρασης. Ο προσομοιωτής οδήγησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν STISIM. Το σενάριο οδήγησης αναφέρεται σε τμήμα αυτοκινητόδρομου δύο λωρίδων συνολικού μήκους 7,5 χιλιομέτρων, χωρίς διασταυρώσεις και σχεδιασμένο σε επίπεδο έδαφος. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες και ο γεωμετρικός σχεδιασμός του δρόμου ήταν διαφορετικός, ώστε να είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος τους στις αποφάσεις και τις συμπεριφορές του κάθε οδηγού. Επίσης, θεωρήθηκε καλή ορατότητα λόγω των καλών καιρικών συνθηκών και το φως της ημέρας. Δημιουργήθηκαν 16 διαφορετικά σενάρια με 4 κύριους παράγοντες σε δύο επίπεδα, όπως περιγράφεται στον παρακάτω Πίνακα 2.3.

Factor	Level	
	High	Low
Geometric design	Lane width: 3.75 m, Shoulder width: 2.25 m	
	Curve radius: 1500-2500 m	Curve radius: 300-400 m
Passing gaps in the opposite lane	Drawn from truncated negative exponential distributions	
	Mean: 10.3 s	Mean: 18.0 s
	Min: 5.0 s, Max: 25.0 s	Min: 9.0 s, Max: 31.0 s
Speed of lead vehicles	Drawn from uniform distributions	
	67% between 80 and 120 km/h	33% between 80 and 120 km/h
	33% between 40 and 80 km/h	67% between 40 and 80 km/h
Speed of opposing vehicles	Drawn from uniform distributions	
	67% between 80 and 120 km/h	33% between 80 and 120 km/h
	33% between 40 and 80 km/h	67% between 40 and 80 km/h

Πίνακας 2.3: Παράγοντες που περιλαμβάνονται στον πειραματικό σχεδιασμό [8].

Και στις δύο μελέτες συμμετείχαν οδηγοί και των δύο φύλων από διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Συγκεκριμένα, έλαβαν μέρος 100 οδηγοί εκ των οποίων οι 69 ήταν άντρες και οι 31 γυναίκες, με την ηλικία να κυμαίνεται μεταξύ 22 και 70 ετών. Το Γράφημα 2.1 παρουσιάζει μια σύγκριση της ηλικίας και του φύλου των συμμετεχόντων στη μελέτη πεδίου και τη μελέτη σε περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης.



Γράφημα 2.1: Κατανομή ηλικίας και φύλου στη μελέτη οδικού πεδίου σε σύγκριση με τη μελέτη προσομοιωτή οδήγησης [8].

### Αποτελέσματα:

Συνοψίζοντας, η μελέτη αυτή έχει πραγματοποιήσει μια ολοκληρωμένη σύγκριση μεταξύ δύο βάσεων δεδομένων ελιγμών, η πρώτη ελήφθη από μια μελέτη πεδίου και η δεύτερη, χρησιμοποιώντας έναν προσομοιωτή οδήγησης. Σκοπός αυτής της σύγκρισης ήταν η επαλήθευση και η συμβολή στη βελτίωση της χρήσης προσομοιωτών οδήγησης για μελέτες συμπεριφοράς. Τα αποτελέσματα της έφεραν ομοιότητες μεταξύ του χρόνου και της απόστασης που απαιτείται για την ολοκλήρωση της προσπέρασης ωστόσο

οδήγησαν και στις ακόλουθες συστάσεις και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα με σκοπό την βελτίωση της χρήση του προσομοιωτή σε μελλοντικές έρευνες:

- Τα σενάρια προσομοιωτή οδήγησης για την μελέτη προσπεράσεων θα πρέπει να διαθέτουν σενάρια για διαφορετικές καιρικές συνθήκες που θα οδηγούν σε περιορισμό ορατότητας.
- Δημιουργία σεναρίων στον προσομοιωτή που περιλαμβάνουν μεγαλύτερες ταχύτητες κίνησης καθώς στην συγκεκριμένη έρευνα οι ταχύτητες που παρατηρήθηκαν ήταν αρκετά χαμηλές και δεν ξεπέρασαν τα 60 km/h.

#### 2.2.6 Modify car following model by human effects based on Locally Linear Neuro Fuzzy, 2011 [9]

##### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Η μελέτη έχει ως στόχο την πρόβλεψη της τροχιάς μιας μοτοσυκλέτας ή ενός οχήματος, καθώς αυτό εκτελεί προσπέραση. Η βάση της μεθόδου είναι ένα Προσαρμοστικό Σύστημα Νευρο-Ασαφών Συμπερασμάτων (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS), το οποίο με τη σειρά του βασίζεται στην Ασαφή Λογική (Fuzzy Logic) των Takagi και Sugeno.

##### Μεθοδολογία:

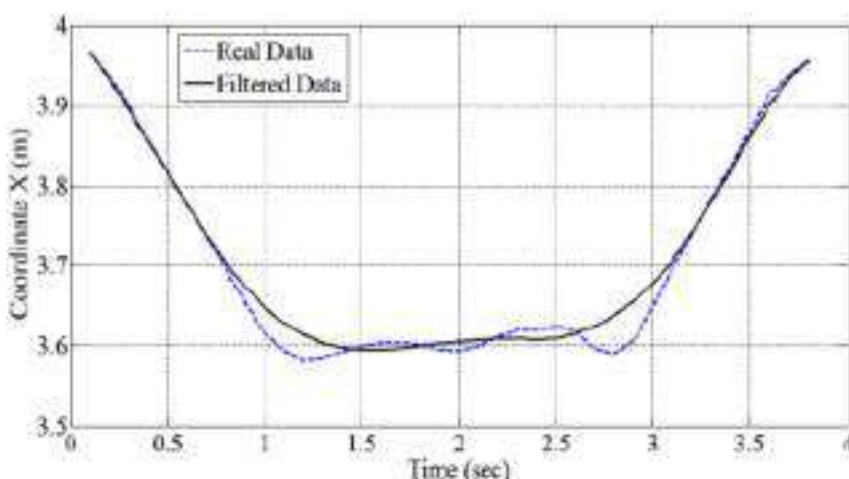
Αρχικά, η προσπέραση διαχωρίστηκε σε τρία επιμέρους στάδια:

- ελιγμός αλλαγής λωρίδας
- ευθύγραμμη κίνηση στη διπλανή αριστερή λωρίδα
- ελιγμός αλλαγής λωρίδας.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε είχε τη δυνατότητα να μαθαίνει μόνο του, αλλά για να συμβεί αυτό έπρεπε πρώτα να εκπαιδευτεί. Ως στατιστικό δείγμα επιλέχθηκαν δύο από τα πακέτα δεδομένων του NGSIM ( I-80 και US-101). Το πρόγραμμα Next Generation Simulation (NGSIM) της Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αυτοκινητοδρόμων των ΗΠΑ (Federal Highway Administration) βοηθά στην ανάπτυξη αλγορίθμων μικροσκοπικής οδηγικής συμπεριφοράς, μέσω της συλλογής λεπτομερών και υψηλής ποιότητας κυκλοφοριακών δεδομένων. Ψηφιακές κάμερες συλλέξαν το 2005 σε αυτοκινητοδρόμους

των ΗΠΑ, δεδομένα που αφορούν στις λεπτομερείς τροχιές των οχημάτων και η Διεύθυνση Αυτοκινητοδρόμων διαθέτει ελεύθερα σε κάθε ενδιαφερόμενο τα δεδομένα.

Η προκειμένη ανάλυση έγινε χωριστά για τα οχήματα και τις μοτοσυκλές και τελικός στόχος της ήταν η δημιουργία δύο διαφορετικών μοντέλων ANFIS. Τα πηγαία δεδομένα περιλαμβάνουν μόνο τις συντεταγμένες των οχημάτων για κάθε χρονική στιγμή. Επειδή, όμως, εμπεριέχουν “θόρυβο”, πριν την οποιαδήποτε ανάλυσή τους φιλτραρίστηκαν με τη μέθοδο του κινητού μέσου όρου. Στο Γράφημα 2.2 διακρίνεται καθαρά, πως τα δεδομένα εξομαλύνθηκαν σε μεγάλο βαθμό και εξαλείφθηκαν τυχόν απότομες μεταβολές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονταν στην ακρίβεια μέτρησης. Ο προσανατολισμός του οχήματος (έστω  $\theta$ ), υπολογίστηκε μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων της τροχιάς του, ως το τόξο εφαπτομένης του πηλίκου της διαφοράς των τετμημένων και της διαφοράς των τεταγμένων. Η γωνία  $\theta$  είναι εν γένει διαφορετική από τη γωνία στροφής των τροχών. Υπολογίστηκαν, επιπλέον, η ταχύτητα και η επιτάχυνση, με τη χρήση απλών κινηματικών εξισώσεων. Στο μοντέλο εισάγονταν πέντε μεταβλητές για κάθε χρονική στιγμή (διαμήκης και εγκάρσια συντεταγμένη, ταχύτητα, επιτάχυνση και γωνία  $\theta$ ) και εξάγονταν οι δύο που αφορούσαν στην εκάστοτε επόμενη χρονική στιγμή (διαμήκης και εγκάρσια συντεταγμένη).



**Γράφημα 2.2:** Διάγραμμα εγκάρσιων συντεταγμένων X μιας τροχιάς μοτοσυκλέτας πριν και μετά την εφαρμογή του φίλτρου [9].

Όπως συνηθίζεται στις εφαρμογές μηχανικής μάθησης, τα διαθέσιμα δεδομένα χωρίζονται τυχαία σε δύο υποσύνολα. Το πρώτο 70% των συνολικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του μοντέλου, ενώ το υπόλοιπο 30% για την επικύρωση της απόδοσής του, μέσω της σύγκρισης των τελευταίων με τα δεδομένα εξόδου του μοντέλου. Η ποσοτικοποίηση της απόκλισης ανάμεσα στην “πραγματική”

(δηλαδή αυτήν που προέκυψε από τα δεδομένα του πειράματος NGSIM) και την υπολογισμένη τροχιά έγινε με τη χρήση δύο κριτηρίων. Το πρώτο είναι η Απόλυτη Οριζόντια Απόκλιση Μετακίνησης (Absolute Horizontal Transport Deviation, AHTD), η οποία δίνει τη μέση απόκλιση ανάμεσα στις δύο τροχιές, για κάθε χρονική στιγμή και υπολογίζεται ως εξής:

$$AHTD(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sqrt{[X_n(t) - x_n(t)]^2 + [Y_n(t) - y_n(t)]^2} \quad (2.1)$$

Το δεύτερο κριτήριο είναι η Μέση Σχετική Οριζόντια Απόκλιση (Mean Relative Horizontal Deviation, MRHD), η οποία υπολογίζεται ως ο λόγος της Απόλυτης Οριζόντιας Απόκλισης Μετακίνησης και της Μέσης Συνολικής Απόστασης Ταξιδιού (Mean Total Travel Distance,  $LH(t)$ ):

$$RHTD(t) = \frac{AHTD}{LH(t)} \cdot 100 \quad (2.2)$$

$$LH(t) = \frac{1}{2} \sum_{t_i=1}^t \left\{ \sqrt{[X_n(t_i) - X_n(t_{i-1})]^2 + [Y_n(t_i) - Y_n(t_{i-1})]^2} + \sqrt{[x_n(t_i) - x_n(t_{i-1})]^2 + [y_n(t_i) - y_n(t_{i-1})]^2} \right\} \quad (2.3)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις,  $X$  (αντίστοιχα  $x$ ) είναι η πραγματική (αντίστοιχα υπολογισμένη από το μοντέλο) τιμή της τετμημένης,  $Y$  (αντίστοιχα  $y$ ) είναι η πραγματική (αντίστοιχα υπολογισμένη από το μοντέλο) τιμή της τεταγμένης και  $N$  είναι ο αριθμός των πειραματικών παρατηρήσεων για χρόνο ταξιδιού του οχήματος  $t$ .

#### Αποτελέσματα:

Συνολικά η απόδοση του προτεινόμενου μοντέλου χαρακτηρίζεται ως ικανοποιητική. Επιπλέον προκύπτει το συμπέρασμα πως ένα αυτόνομο όχημα που χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα που εξάγει το μοντέλο ANFIS και είναι εφοδιασμένο με κατάλληλους αισθητήρες, μπορεί να εκτιμήσει την τροχιά που θα ακολουθήσει στη συνέχεια. Τέλος θεωρείται πως η μέθοδος δύναται να βρει εφαρμογή σε συσκευές υποβοήθησης οδηγού, βοηθήματα διατήρησης ασφαλούς απόστασης, συστήματα αποφυγής σύγκρουσης και διάφορες άλλες διατάξεις ITS (Intelligent Transport Systems).

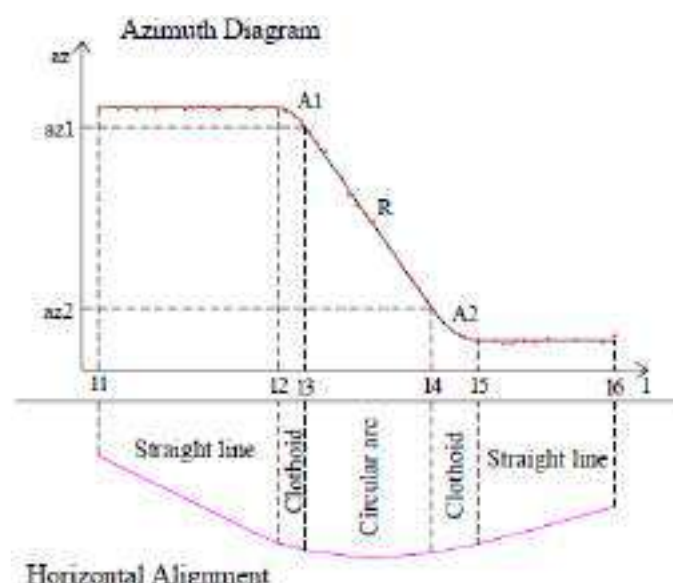
### 2.2.7 Precise Estimation Of Road Horizontal And Vertical Geometric Features Using Mobile Mapping Techniques, 2009 [10]

#### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Αυτή η εργασία παρουσιάζει ένα λογισμικό ειδικά σχεδιασμένο για την ακριβή εκτίμηση των οριζοντιογραφικών και μηκοτομικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα GPS διπλής συχνότητας, που συλλέχθηκαν κατά την ψηφιακή αποτύπωση των οδικών δικτύων. Η έρευνα βασίζεται στη γεωδαιτική τοποθέτηση του κατάλληλα εξοπλισμένου οχήματος, που κινείται κατά μήκος του δρόμου σε αμφίδρομη διαδρομή (εμπρός/πίσω).

#### Μεθοδολογία:

Αρχικά, εξάχθηκε ο οδικός άξονας ως μια αλληλουχία διαδοχικών σημείων στο επίπεδο. Έπειτα, υπολογίστηκε το αζιμούθιο και η χιλιομετρική θέση του σε κάθε σημείο και μορφώθηκε το διάγραμμα αζιμούθιων, το οποίο απεικονίζεται στο Γράφημα 2.3. Σε αυτό το διάγραμμα, οι οριζόντιες ευθείες αντιστοιχούν στην οριζοντιογραφία σε ευθυγραμμίες, οι κεκλιμένες ευθείες σε κυκλικά τόξα και οι παραβολές δευτέρου βαθμού σε τόξα κλωθοειδούς καμπύλης. Σύμφωνα με τους ερευνητές, το διάγραμμα αζιμούθιων αποτελεί έναν εύκολο και αποτελεσματικό τρόπο για την απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων μιας οδού, καθώς και για τον υπολογισμό των παραμέτρων τους.

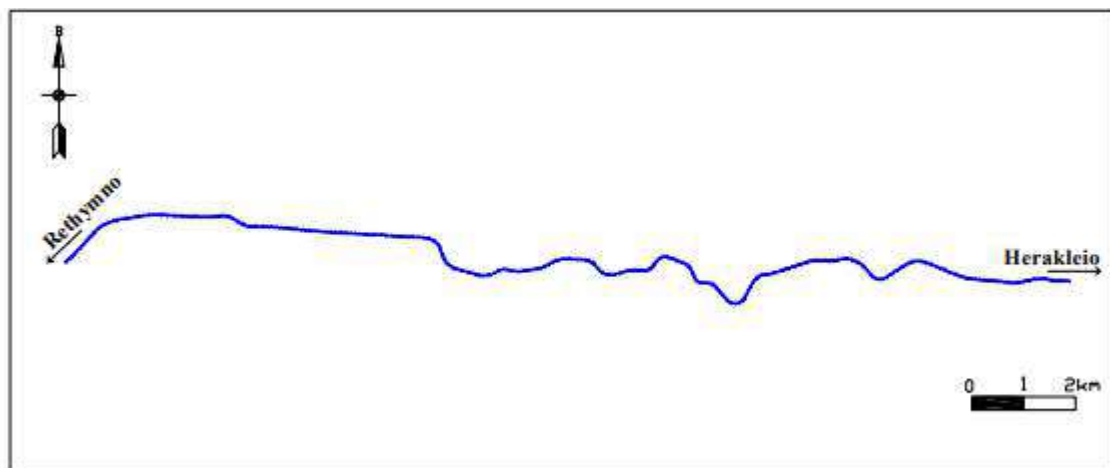


**Γράφημα 2.3:** Το διάγραμμα αζιμούθιων ενός οδικού τμήματος και η αντίστοιχη οριζοντιογραφία [10].

Για να εξαχθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οριζοντιογραφίας, προσαρμόστηκαν στα τρία τμήματα του γωνιακού διαγράμματος παραμετρικές εξισώσεις ευθείας, κύκλου και παραβολής. Έπειτα, υπολογίστηκαν οι άγνωστοι συντελεστές των εξισώσεων και συγκεκριμένα το αζιμούθιο της ευθυγραμμίας, η καμπυλότητα του κυκλικού τόξου και η παράμετρος της κλωθοειδούς. Με βάση αυτούς τους συντελεστές χαράχθηκε εξ αρχής ο οδικός άξονας και συγκρίθηκε με τον οδικό άξονα που προέκυψε από τις μετρήσεις. Τέλος, υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών.

#### Αποτελέσματα:

Το τελικό προϊόν του λογισμικού είναι η συνολική αναπαραγωγή του δρόμου με ακρίβεια 0.20m.



**Εικόνα 2.6:** Αποτέλεσμα που παράχθηκε από το λογισμικό, 23km οδικού δικτύου που συνδέει το Ρέθυμνο με το Ηράκλειο [10].



		Azimuth diagram		Horizontal alignment
Straight lines	min $\sigma_{az}$	0.05°	min stdev	0.045m
	max $\sigma_{az}$	0.50°	max stdev	0.417m
	$\bar{\sigma}_{az}$	0.28°	$\bar{\text{stdev}}$	0.191m
Circular arcs	min $\sigma_R$	0.4%	min stdev	0.028m
	max $\sigma_R$	5.5%	max stdev	0.416m
	$\bar{\sigma}_R$	1.8%	$\bar{\text{stdev}}$	0.228m
Clothoids	min $\sigma_A$	0.05%	min stdev	0.055m
	max $\sigma_A$	0.5%	max stdev	0.384m
	$\bar{\sigma}_A$	0.2%	$\bar{\text{stdev}}$	0.239m

Πίνακας 2.4: Αποκλίσεις οριζοντιογραφικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών [10].

		Inclination diagram		Vertical alignment
Sloping lines	min $\sigma_s$	0.04%	min stdev	0.036m
	max $\sigma_s$	0.16%	max stdev	0.175m
	$\bar{\sigma}_s$	0.11%	$\bar{\text{stdev}}$	0.109m
Vertical curves	min $\sigma_H$	0.9%	min stdev	0.035m
	max $\sigma_H$	5.8%	max stdev	0.151m
	$\bar{\sigma}_H$	3.6%	$\bar{\text{stdev}}$	0.082m

Πίνακας 2.5: Αποκλίσεις μηκοτομικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών [10].

### 2.2.8 Overtaking trajectory assessment utilizing data from driving simulator, 2022 [11]

#### Περιγραφή Στόχου και Δεδομένων:

Το αντικείμενο της έρευνας αυτής είναι η διερεύνηση και η μαθηματική προτυποποίηση της τροχιάς ενός οχήματος κατά την εκτέλεση ελιγμού προσπέρασης, με ιδιαίτερη έμφαση στα δύο ζεύγη διαδοχικών αντίστροφων καμπύλων τμημάτων στην αρχή και στο τέλος της διαδικασίας της προσπέρασης. Τα απαραίτητα δεδομένα των προσπεράσεων συλλέχθηκαν από πείραμα που διενεργήθηκε εξ ολοκλήρου στον προσομοιωτή οδήγησης του Εργαστηρίου Κυκλοφοριακής Τεχνικής, με τη βοήθεια εθελοντών οδηγών.

### Μεθοδολογία:

Στη διαδικασία συλλογής δεδομένων συμμετείχαν συνολικά 31 εθελοντές οδηγοί (15 άνδρες και 16 γυναίκες). Αρχικά σκιαγραφήθηκε η οδηγική συμπεριφορά και καταγράφηκε η οδηγική εμπειρία όλων των εθελοντών. Η προσομοίωση αφορούσε επαρχιακή οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας, χωρίς τη διέλευση αντίθετα κινούμενων οχημάτων. Στη λωρίδα κυκλοφορίας του οχήματος μελέτης, κινούνταν υπό τον έλεγχο του λογισμικού προσομοίωσης τρία ακόμη οχήματα. Η διαδρομή του πειράματος περιλαμβάνει αρκετές στροφές και ευθυγραμμίες. Οι εθελοντές είχαν την οδηγία να προσπερνούν τα τρία προπορευόμενα οχήματα με τους ελιγμούς προσπέρασης να εκτελούνται εξ' ολοκλήρου εντός ευθυγραμμίας. Το αποτέλεσμα κάθε προσπάθειας ήταν η καταγραφή δύο ή τριών ελιγμών προσπέρασης.

Κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης, τα τρία αυτόματα οχήματα βρίσκονταν ακινητοποιημένα πάνω στο οδόστρωμα, απέχοντας απόσταση 100m το ένα από το άλλο. Το όχημα του χρήστη βρισκόταν επίσης ακινητοποιημένο στο οδόστρωμα, κατά κάποια απροσδιόριστη χιλιομετρική απόσταση πίσω από αυτά. Έπειτα, τα τρία προπορευόμενα οχήματα επιτάχυναν σταδιακά έως μια μέγιστη ταχύτητα, την οποία διατηρούσαν έως και τη λήξη της προσομοίωσης. Συνολικά εξετάστηκαν δύο διαφορετικά σενάρια, κατά τα οποία η μέγιστη ταχύτητα των προπορευόμενων οχημάτων καθορίστηκε στα 50 και 70km/h. Σε κάθε περίπτωση, το όριο ταχύτητας που αφορούσε στο όχημα του χρήστη ήταν κατά 20km/h προσαυξημένο. Στις οδηγίες που δόθηκαν στους εθελοντές οδηγούς αναφερόταν επιπρόσθετα, πως δεν έπρεπε να οδηγούν με ταχύτητα μεγαλύτερη από το εκάστοτε όριο ταχύτητας. Συνεπώς, το όχημα του χρήστη κινούνταν στα δύο σενάρια με 70 και 90km/h αντίστοιχα.

Από τις τρεις διαδοχικές προσπεράσεις του κάθε σεναρίου, μόνο η πρώτη ήταν επιταχυνόμενη. Στη δεύτερη και στην τρίτη προσπέραση το όχημα του χρήστη είχε σταθερή ταχύτητα και μικρή επιτάχυνση σε όλη τη διάρκεια του ελιγμού. Αυτές οι προσπεράσεις ονομάζονται προσπεράσεις σταθερής ταχύτητας (Flyover overtakings).

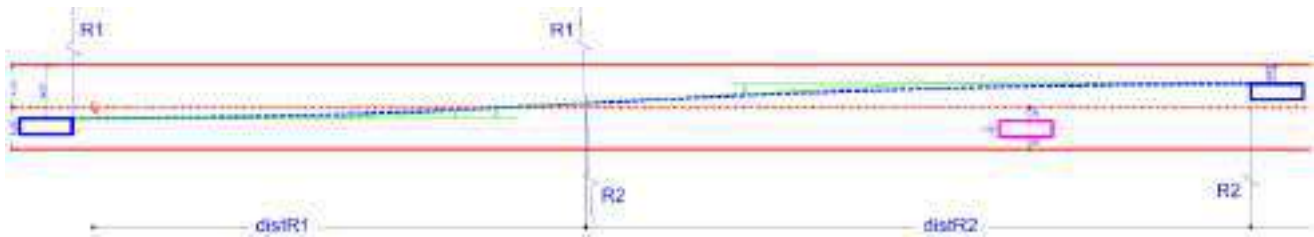
Η συχνότητα καταγραφής των πληροφοριών ήταν 60Hz, δηλαδή με χρονικό βήμα  $\Delta t = 0.017s$ . Για να περιοριστεί ο όγκος των δεδομένων, διατηρώντας παράλληλα την ακρίβεια τους τα δεδομένα αναλύθηκαν για χρονικό βήμα 0.3s. Στην Εικόνα 2.7 διακρίνεται ο προσομοιωτής οδήγησης που χρησιμοποιήθηκε



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση του δρόμου από τον προσομοιωτή [11].

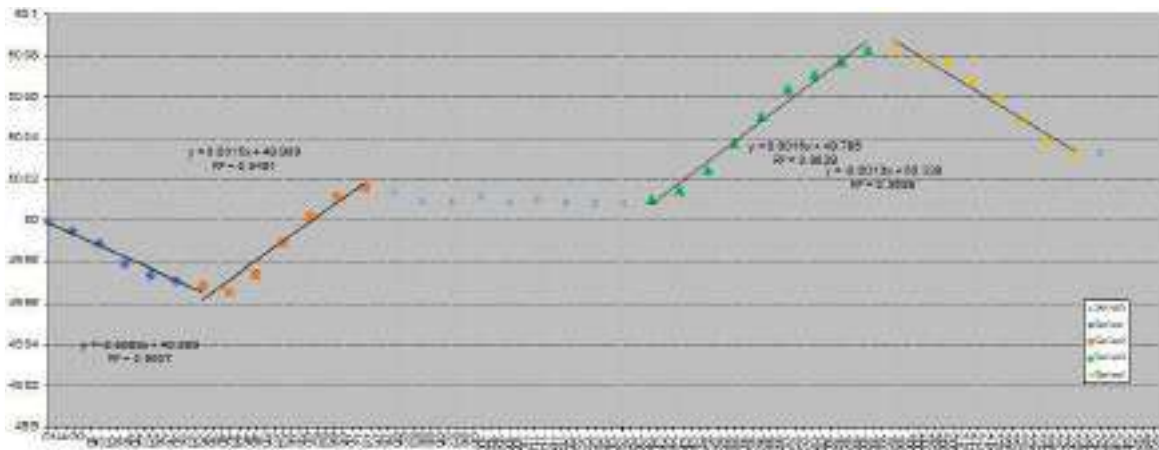
Εξετάστηκαν οι επιταχυνόμενες προσπεράσεις από το παραπάνω στατιστικό δείγμα των ελιγμών. Συγκεκριμένα, όπως προαναφέρθηκε έγινε η υπόθεση πως ο ελιγμός προσπέρασης αποτελείται από τέσσερα κυκλικά τόξα, στο μέσον των οποίων παρεμβάλλεται μια ευθυγραμμία. Η αλληλουχία των γεωμετρικών στοιχείων αυτών θεωρήθηκε κυκλικό τόξο - αντίρροπο κυκλικό τόξο – ευθυγραμμία - ομόρροπο κυκλικό τόξο - αντίρροπο κυκλικό τόξο. Έπειτα πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των γεωμετρικών παραμέτρων των επιμέρους στοιχείων της προσπέρασης στο διάγραμμα αζιμούθιων, το οποίο φαίνεται στο Γράφημα 2.5. Στο κάθε ένα από τα τέσσερα κυκλικά τόξα, τα οποία στο εν λόγω διάγραμμα απεικονίζονται ως κεκλιμένα ευθύγραμμα τμήματα, προσαρμόστηκε με γραμμική παλινδρόμηση μια ευθεία. Στη συνέχεια, η ακτίνα καμπυλότητας του κάθε ενός από τα τέσσερα κυκλικά τόξα υπολογίστηκε ως το αντίστροφο του συντελεστή διεύθυνσης της αντίστοιχης ευθείας της γραμμικής παλινδρόμησης. Για κάθε εξεταζόμενη απόπειρα διέλευσης, οι ακτίνες των καμπύλων διαδρομών, οι οποίες αναφέρονται στην εσωτερική πλευρά του οχήματος, ταξινομούνταν ως εξής (βλέπε σχήμα 1):

- $R_1$ : ακτίνα αριστερής καμπύλης στη Φάση 1
- $R_2$ : ακτίνα της δεξιάς καμπύλης στη Φάση 1
- $R_3$ : ακτίνα της δεξιάς καμπύλης στη Φάση 3
- $R_4$ : ακτίνα αριστερής καμπύλης στη Φάση 3



Γράφημα 2.4: Διάγραμμα αξιμούθιων διαδικασίας προσπέρασης [11].

Μετά την επεξεργασία της βάσης δεδομένων που προέκυψε από το σύνολο των προσπεράσεων με κατάλληλους τύπους, προέκυψαν τα εξαγόμενα δεδομένα. Έγινε στατιστική επεξεργασία των εξαγόμενων μεταβλητών για τις φάσεις 1 και 3 μέσω θηκογραμμάτων (Boxplots). Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την φάση 1 παρακάτω.



Εικόνα 2.8: Γεωμετρία διαδρομής διέλευσης κατά τη φάση 1 [11].

Median Values (outputs)	V=70km/h	V=90km/h
R <sub>1</sub> (m)	832	1039
R <sub>2</sub> (m)	1077	1389
R <sub>3</sub> (m)	781	968
R <sub>4</sub> (m)	1081	1114
Headway1 (initial at beginning of R <sub>1</sub> ) - Phase 1 (m)	9	9
Headway4 (final at ending of R <sub>4</sub> ) - Phase 3 (m)	29	21
lat <sub>1</sub> - (initial) - Phase 1 (m)	5.05	5.15
lat <sub>2</sub> - (final) - Phase 1 (m)	1.75	1.96
lat <sub>3</sub> - (initial) - Phase 3 (m)	1.70	1.80
lat <sub>4</sub> - (final) - Phase 3 (m)	5.00	4.90
Point X lateral (latX) - Phase 1 (m)	3.05	2.75

Πίνακας 2.6: Αποτελέσματα θηκογραμμάτων κατά τη φάση 1 και τη φάση 3 [11].

Values (determined)	V=70km/h	V=90km/h
X (m)	59.30	77.63
lateral safety margin (m)	0.75	1.05

Πίνακας 2.7: Κρίσιμες τιμές που προσδιορίζονται κατά τη φάση 1 [11].

### Αποτελέσματα:

Το αποτέλεσμα της έρευνας είναι μια ασφαλή και ρεαλιστική αναπαράσταση της διαδικασίας προσπέρασης, κατά την οποία η ικανότητα του διερχόμενου οχήματος να εκτελεί ελιγμούς προσπέρασης εξετάστηκε υπό ορισμένες παραδοχές. Ωστόσο, φαίνεται να υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

Μεταξύ αυτών βρίσκεται η αξιολόγηση της πλευρικής κρίσιμης απόστασης, ειδικά κατά τη Φάση 1 του ελιγμού προσπέρασης.

Μια άλλη κρίσιμη ανησυχία, όσον αφορά την ασφάλεια, είναι η επιρροή που ασκούν στα αποτελέσματα της έρευνας, η δυνατότητα επιτάχυνσης κάθε οχήματος (Διαφορετική ιπποδύναμη) και η τριβή του οδοστρώματος.

### 2.3 Συμπεράσματα

Από τη βιβλιογραφική έρευνα ανακύπτουν διάφορες πτυχές της μοντελοποίησης του ελιγμού της προσπέρασης. Επίσης οι έρευνες που παρουσιάστηκαν χρησιμοποίησαν είτε δεδομένα προσομοιωτή είτε δεδομένα που συλλέχτηκαν στο πεδίο.

Μια μέθοδος, η οποία βρίσκει μεγάλη εφαρμογή σε προβλήματα που απαιτούν τον καθορισμό γεωμετρικών στοιχείων οδών, αλλά δεν έχει χρησιμοποιηθεί στη μελέτη προσπεράσεων είναι η καταγραφή της θέσης των οχημάτων με συσκευές GNSS.

Αντίθετα, τα πειράματα σε προσομοιωτή χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε έρευνες, καθώς η τεχνολογία στον τομέα αυτό έχει σημειώσει άλματα. Σύγχρονα λογισμικά έχουν την δυνατότητα να μελετήσουν περίπλοκα οδηγικά σενάρια, όπως ο ελιγμός της προσπέρασης. Επισημαίνεται πως η επιλογή της χρήσης προσομοιωτή οδήγησης έναντι της διεξαγωγής πειράματος στο πεδίο, ελλοχεύει τον κίνδυνο ο εκάστοτε εθελοντής να μην οδηγήσει με ρεαλιστικό τρόπο, αφού βρίσκεται σε προστατευόμενο περιβάλλον.

Οι έρευνες εστιάζουν, κατά κύριο λόγο, στους παράγοντες που επηρεάζουν την προσπέραση, ενώ έχει γίνει και απόπειρα καθορισμού μαθηματικών σχέσεων πρόβλεψης της τροχιάς του ελιγμού προσπέρασης.

Με βάση τα παραπάνω, παρατηρείται πως καμία από τις προαναφερθείσες έρευνες δεν έχει συνδυάσει τα δεδομένα προσομοιωτή και πειράματος πεδίου, στην προσπάθεια μελέτης και κατ' επέκταση, στην προτυποποίηση της τροχιάς της προσπέρασης μέσω μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης.

### 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

#### 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. Η συλλογή δεδομένων προσπέρασης έγινε μέσω προσομοιωτή οδήγησης για υπεραστική οδό δύο λωρίδων καθώς και με ένα όχημα εξοπλισμένο με GNSS το οποίο πραγματοποίησε προσπεράσεις επί του πεδίου για κάποιες συγκεκριμένες τιμές ταχυτήτων, και έγινε επεξεργασία με το γωνιακό διάγραμμα.

#### 3.2 Προσομοιωτής οδήγησης

Για την συγκεκριμένη μελέτη, η συλλογή ανεπεξέργαστων δεδομένων προέκυψε από δείγματα προσπεράσεων που υλοποιήθηκαν μέσω προσομοιωτή οδήγησης Dr.Foerst F12PF-3A88-NR (Εικόνα 3.1), που είναι ικανός να δημιουργεί σενάρια οδήγησης είτε με Ι.Χ. είτε με φορτηγό όχημα, με ή χωρίς τρέιλερ. Ο προσομοιωτής αποτελείται :

- Από θέση οδηγού οχήματος μάρκας Ford , που διαθέτει ακόμα:
  - Κάθισμα οδηγού (ρυθμιζόμενο)
  - Λεβιέ χειροκίνητων ταχυτήτων ( 5 ταχύτητες και όπισθεν)
  - Τιμόνι (D=27 cm )
  - Χειρόφρενο
  - Ζώνη ασφάλειας
  - Μοχλό ένδειξης φλας (τοποθετημένος αριστερά)
  - Μοχλός υαλοκαθαριστήρων (τοποθετημένος δεξιά)
  - Διακόπτης ρύθμισης φωτισμού
  - Διακόπτης ρύθμισης θέσης καθρεπτών
  - Ποδόπληκτρα: (συμπλέκτης, επιτάχυνσης, επιβράδυνσης)
  - Καντράν με ένδειξη ταχύτητας και στροφών



**Εικόνα 3.1:** Προσομοιωτής οδήγησης Dr. Foerst F12PF-3A88-NR\_1.

- Από 3 τραπεζοειδείς οθόνες LCD40", διαστάσεων 230 X 180 cm και πλάτος βάσης 78 cm. Το οπτικό τους πεδίο είναι 170 μοίρες. Οι οθόνες είναι τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη, με την μεσαία να είναι μπροστά στη θέση του οδηγού και να απεικονίζει την εικόνα που έχει ο δρόμος όπως την βλέπει ο ίδιος κατά την διάρκεια της διαδρομής. Οι άλλες δύο είναι τοποθετημένες δεξιά και αριστερά με πλάγιο τρόπο ώστε να απεικονίζουν την εικόνα όταν κάποιος κοιτάζει τους καθρέφτες.
- Από κεντρικό σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή που παράγεται το εικονικό οδικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα συνδέει τις οθόνες με το όχημα και κατά τη διάρκεια της διαδρομής καταγράφει τα χαρακτηριστικά της και συλλέγει τα κατάλληλα δεδομένα. Οι χρήστες πραγματοποιούν τη διαδρομή υπό συνθήκες που προσομοιώνουν ρεαλιστικά τις πραγματικές. Βέβαια, οι συνθήκες οδήγησης στον προσομοιωτή δεν μπορεί να είναι ίδιες με αυτές που αντιλαμβάνεται ο οδηγός σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Γενικά, μπορεί να δημιουργηθεί η δυνατότητα διαφορετικών σεναρίων όσον αφορά τις οδικές συνθήκες, δηλαδή, τον τύπο της οδού(υπεραστική οδός, αυτοκινητόδρομος, αστική οδός), τις κυκλοφοριακές συνθήκες (χαμηλός ή αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος), τις καιρικές συνθήκες(καλός ή βροχερός καιρός) και το όχημα μελέτης (Ι.Χ ή φορτηγό). Στις συγκεκριμένες μετρήσεις, οι χρήστες πραγματοποίησαν προσπεράσεις σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων χωρίς διέλευση υπερκείμενων οχημάτων.





Εικόνα 3.2: Προσομοιωτής οδήγησης Dr. Foerst F12PF-3A88-NR\_2.

### 3.3 Όχημα με προσαρμοσμένο δέκτη GNSS

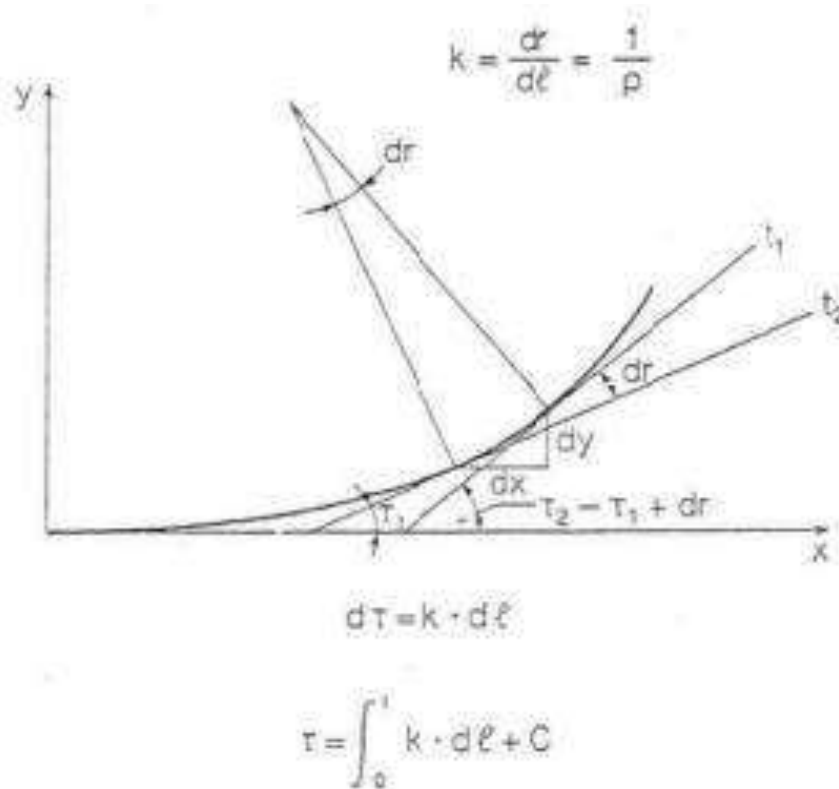
Ένα GNSS αποτελείται από ένα σχηματισμό δορυφόρων, οι οποίοι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη και εκπέμπουν συνεχώς σήματα κατευθυνόμενα προς την επιφάνειά της. Το κάθε σήμα περιέχει ως πληροφορία τη χρονική στιγμή κατά την οποία αυτό εκπέμφθηκε, καθώς και την ακριβή θέση που έχει ο συγκεκριμένος δορυφόρος εκείνη τη χρονική στιγμή. Με τη βοήθεια ενός κατάλληλα συντονισμένου δέκτη κάποιος μπορεί να προσδιορίσει την τοποθεσία του (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο), μέσω της σύγκρισης του κωδικοποιημένου χρόνου εκπομπής από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους ταυτόχρονα. Το σήμα που εκπέμπεται από έναν πομπό διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις, επομένως κινούμενο για ορισμένο χρόνο σχηματίζει το κέλυφος μιας σφαίρας. Ως εκ τούτου, η μοναδική θέση στην οποία βρίσκεται ο δέκτης τοποθετείται στο σημείο τομής των τεσσάρων σφαιρών. Μια συσκευή GNSS έχει, χωρίς καμία τεχνική βελτίωσης (standalone GNSS), θεωρητική ακρίβεια 16m. Η ακρίβεια επηρεάζεται από τους διαθέσιμους δορυφόρους σε επικοινωνία, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την ύπαρξη υψηλών εμποδίων κοντά στον δέκτη κτλ. Η τεχνική προσδιορισμού θέσης Real Time Kinematics (RTK) αποτελεί μια τεχνική βελτίωσης του σήματος που λαμβάνεται, διορθώνοντας το σχετικά με έναν ακλόνητο σταθμό αναφοράς. Ο δέκτης αγνοεί εντελώς το περιεχόμενο του δορυφορικού σήματος και μετράει μόνο τη φάση του κύματος που μεταφέρει το μήνυμα (carrier wave). Παρομοίως, ο σταθμός αναφοράς παρατηρεί αποκλειστικά τη φάση των κυμάτων που προσπίπτουν σε αυτόν και τη μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο στο δέκτη, υπό μορφή διορθώσεων. Για να

πραγματοποιηθεί η μετάδοση των διορθώσεων δημιουργείται ένας δίαυλος επικοινωνίας, που στηρίζεται συνήθως στα ραδιοκύματα ή το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Αφού υπολογιστούν οι αποστάσεις από τους δορυφόρους, η συσκευή του GNSS προσδιορίζει τις χωρικές συντεταγμένες της, κατά τα γνωστά, ως το σημείο τομής τεσσάρων τουλάχιστον σφαιρών. Γενικά, η μέθοδος προσδιορισμού της απόστασης από τους δορυφόρους, που βασίζεται στη μέτρηση της φάσης, εισάγει πολύ μικρή απόκλιση στο τελικό αποτέλεσμα, συγκριτικά με την κλασσική επίλυση που βασίζεται στο περιεχόμενο του δορυφορικού σήματος. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της τεχνικής RTK, έναντι των υπολοίπων, είναι ότι επηρεάζεται λιγότερο από το φαινόμενο της πολλαπλής διαδρομής του σήματος. Η συνολική ακρίβεια στίγματος που επιτυγχάνεται είναι της τάξης μεγέθους των 4cm - 1cm [19].

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το RTK GNSS έχει και ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία δεν πρέπει να αγνοούνται. Ειδικότερα, η απόσταση μεταξύ του δέκτη και του σταθμού αναφοράς δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10-20km, ώστε να μπορούν να επιλυθούν γρήγορα και αξιόπιστα οι ασάφειες φάσης [20]. Τέλος, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την έναρξη της διαδικασίας επίλυσης, καθώς απαιτείται ένα χρονικό διάστημα μέχρι να θεωρηθεί πως έχει ξεκινήσει με επιτυχία η επίλυση του προβλήματος των ασαφειών φάσης. Επιπλέον, κάθε φορά που χάνεται η οπτική επαφή του δέκτη με τους δορυφόρους (π.χ. κίνηση μέσα σε σήραγγα), ακόμα και για απειροελάχιστα δευτερόλεπτα, η επίλυση των ασαφειών φάσης παύει να πραγματοποιείται ή έστω πραγματοποιείται αλλά με χειρότερο αποτέλεσμα. Έτσι, καλό είναι να μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα λίγων λεπτών προτού συνεχιστεί η καταγραφή δεδομένων από το δέκτη, ειδικά ο προσδιορισμός της θέσης θα γίνεται πρακτικά χωρίς να συνεισφέρει καθόλου η τεχνική RTK.). Συμπερασματικά, το Real Time Kinematics GNSS αποτελεί μια αξιόπιστη μέθοδο εκτίμησης θέσης με μεγάλη ακρίβεια.

### 3.4 Γωνιακό Διάγραμμα

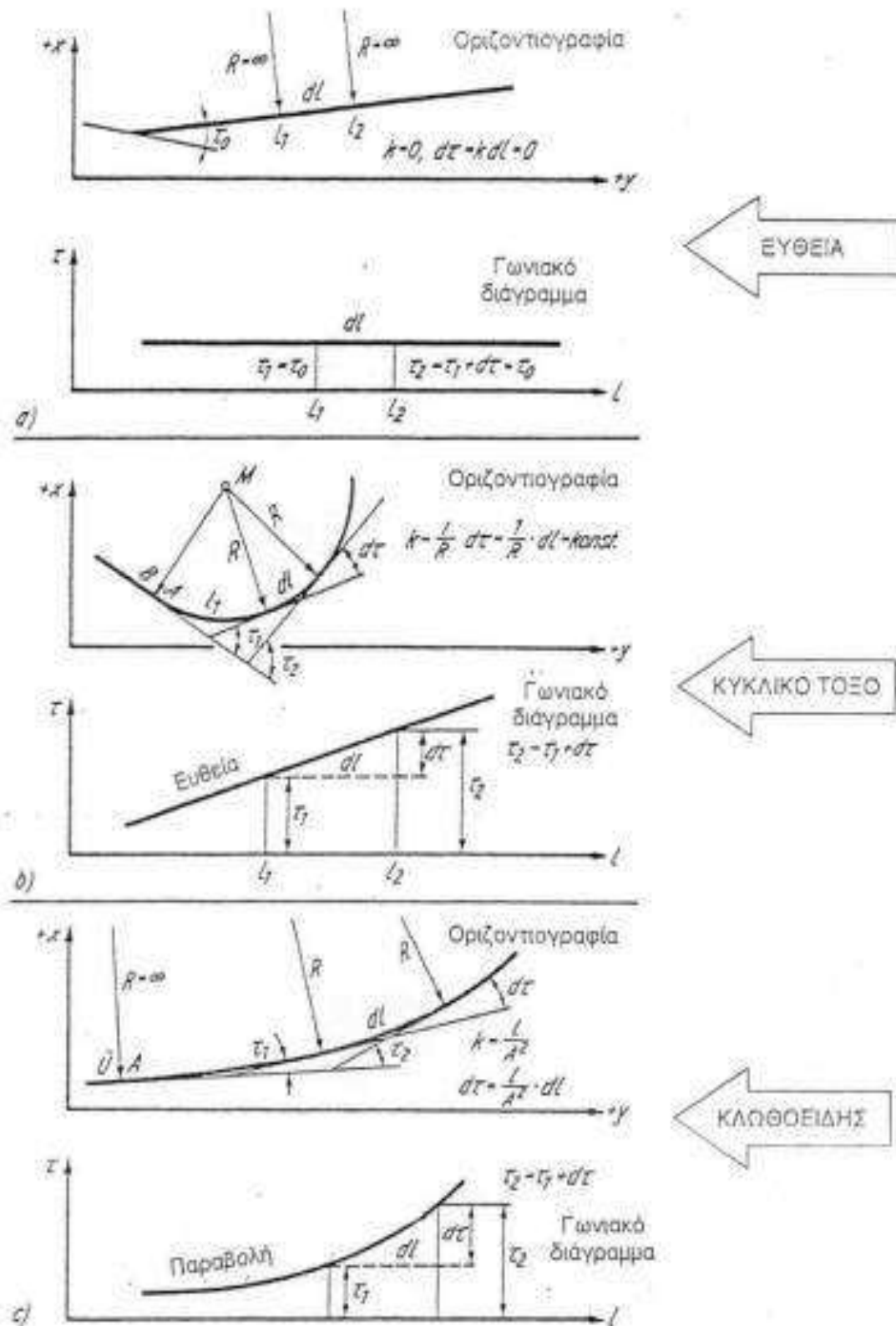
Ως **γωνιακό διάγραμμα** ορίζεται το διάγραμμα, που δίνει τη γωνία διεύθυνσης της καμπύλης αναφοράς της οδού συναρτήσει της χιλιομετρικής θέσης. Μαθηματικά προκύπτει ως το ολοκλήρωμα της συνάρτησης καμπυλότητας.



**Εικόνα 3.3:** Γωνιακό διάγραμμα καμπύλης αναφοράς.

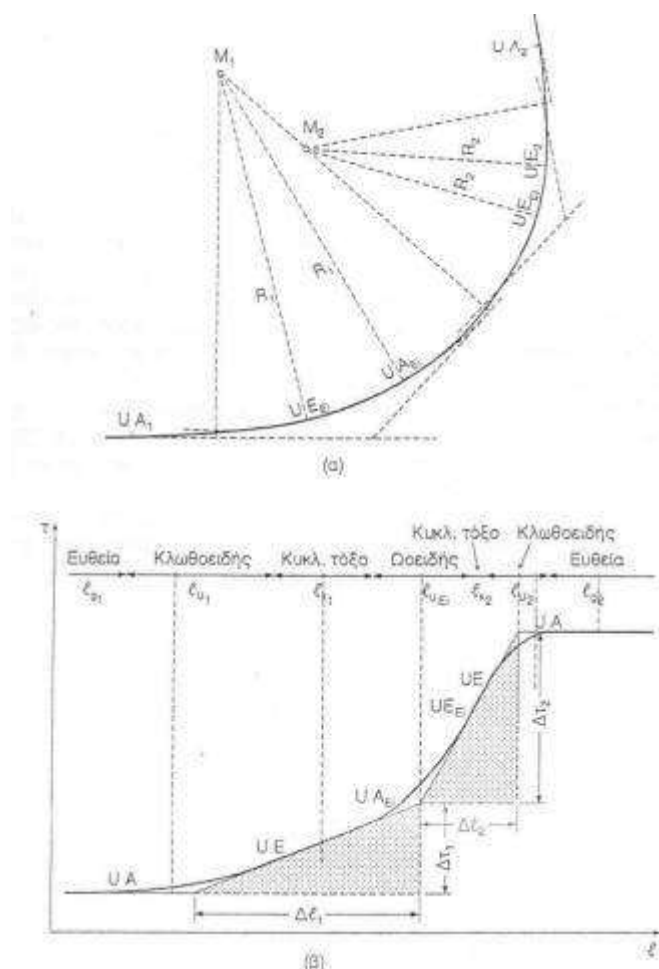
Το **γωνιακό διάγραμμα** είναι μία μέθοδος προσδιορισμού των γεωμετρικών στοιχείων ενός οδικού άξονα με βάση τις συντεταγμένες αυτού. Αποτελεί πολύτιμο εργαλείο στην επεξεργασία της γεωμετρικής τροχιάς προσπάερας με την έννοια ότι δύνανται να προσδιοριστούν τα επιμέρους γεωμετρικά στοιχεία αυτής.

Στο παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται η οριζοντιογραφία και το αντίστοιχο γωνιακό διάγραμμα μιας ευθείας, της κλωθοειδούς και του κυκλικού τόξου.



Εικόνα 3.4: Γωνιακό διάγραμμα γεωμετρικών στοιχείων οδών.

Παρατίθεται ένα παράδειγμα οριζοντιογραφίας από αλληλουχία γεωμετρικών στοιχείων και το αντίστοιχο γωνιακό διάγραμμα του άξονα [12].

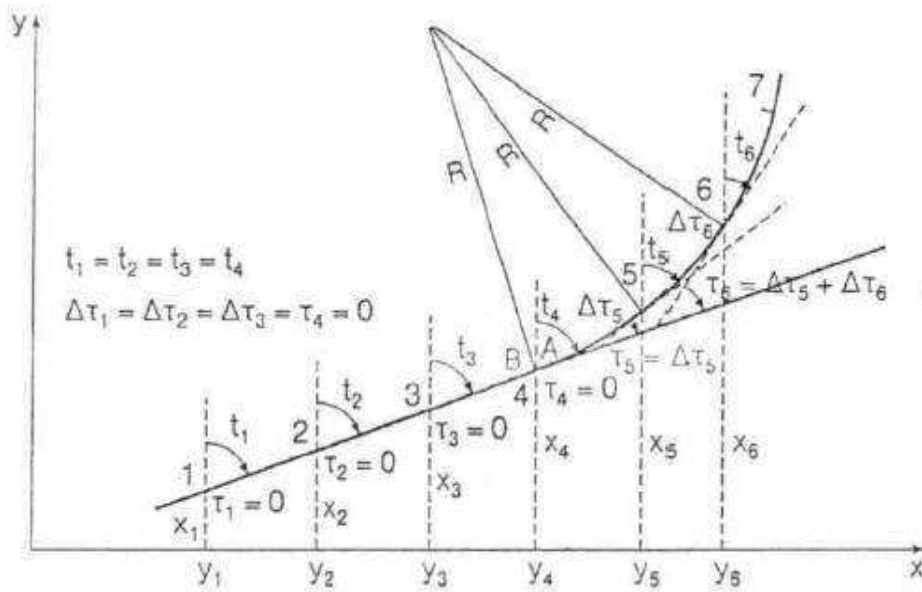


Εικόνα 3.5: Γωνιακό διάγραμμα σύνθετης καμπύλης οδού.

- **Προσδιορισμός γεωμετρικών στοιχείων αγνώστου άξονα**

Στα εδάφια που ακολουθούν παρατίθεται εφαρμογή προσδιορισμού των γεωμετρικών στοιχείων ενός άξονα, του οποίου δεν υπάρχουν τα σχέδια εφαρμογής [12].

Αρχικά, για τη χρήση γωνιακού διαγράμματος απαιτείται η γνώση των συντεταγμένων (τοπικές ή κρατικές) σημείων πύκνωσης του οδικού άξονα, όπου προκύπτουν είτε με αποτύπωση στο έδαφος στις περιπτώσεις υψηλών απαιτήσεων ακριβείας (π.χ. οριστική μελέτη) είτε με ψηφιοποίηση από τοπογραφικό διάγραμμα, στις περιπτώσεις μειωμένων απαιτήσεων ακριβείας (π.χ. αρχικά στάδια μελέτης). Η ακτίνα καμπυλότητας καθορίζει την απαιτούμενη πύκνωση στις περιπτώσεις υψηλής ακριβείας (μικρότερη του  $R/10$ ).



**Εικόνα 3.6:** Προσδιορισμός διακριτού γωνιακού διαγράμματος άξονα από συντεταγμένες σημείων πύκνωσης του.

Στη συνέχεια, γνωρίζοντας τις συντεταγμένες, γίνεται ο προσδιορισμός του γωνιακού διαγράμματος από διακριτά σημεία και τις καμπύλες των γνωστών γωνιακών διαγραμμάτων των κλασσικών γεωμετρικών στοιχείων.

Έπειτα, υπολογίζεται η ακτίνα του κύκλου, που διέρχεται ανά τρία σημεία και υπολογίζει τη Χ.Θ. και τη γωνία διεύθυνσης σε κάθε σημείο πύκνωσης του άξονα (άνω σχήμα). Με βάση τα διαδοχικά κυκλικά τόξα, ο υπολογισμός των παραπάνω σε κάθε σημείο μπορεί να πραγματοποιείται με τις παρακάτω σχέσεις:

1. Η γωνία διεύθυνσης των δημιουργούμενων χορδών:

$$t_{i-1}^i = \arctan \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \quad (3.1)$$

(γεωδαιτικό αριστερόστροφο σύστημα αναφοράς)

$$t_i^{i+1} = \arctan \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (3.2)$$

$$t_{i-1}^{i+1} = \arctan \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{x_{i+1} - x_{i-1}} \quad (3.3)$$

2. Η επίκεντρη γωνίας  $\alpha$ :

$$\frac{\alpha}{2} = t_{i-1}^i - t_i^{i+1} \quad (3.4)$$

3. Το μήκος των χορδών  $s$ :

$$s_{i-1}^i = \frac{y_i - y_{i-1}}{\sin t_{i-1}} = \frac{x_i - x_{i-1}}{\cos t_{i-1}} \quad (3.5 \alpha, \beta)$$

$$s_{i-1}^{i+1} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{\sin t_{i-1}^{i+1}} = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{\cos t_{i-1}^{i+1}} \quad (3.6 \alpha, \beta)$$

4. Η ακτίνα  $R$  του κυκλικού τόξου:

$$R_i = \frac{s_{i-1}^{i+1}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (3.7)$$

5. Η μεταβολή  $\Delta t$  της γωνίας διεύθυνσης :

$$\Delta \tau_i = 2 \arcsin \frac{s_{i-1}^i}{2 R_i} \quad (3.8)$$

6. Η γωνία διεύθυνσης στο ενδιάμεσο σημείο :

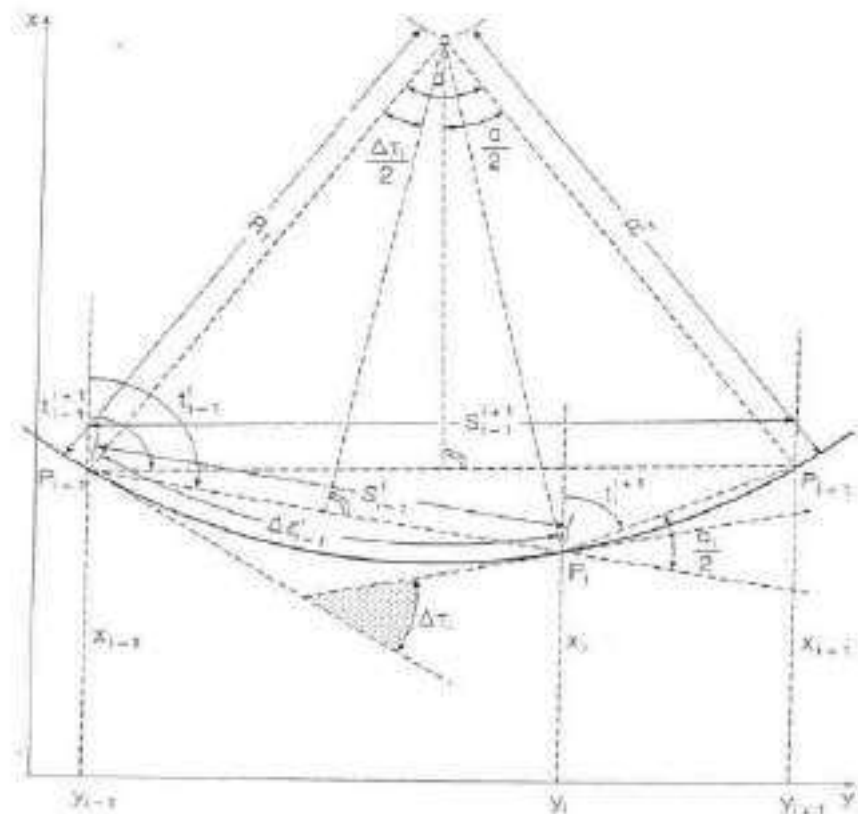
$$\tau_i = \sum_{i=0}^i \Delta \tau_i \quad (3.9)$$

7. Το μήκος του τόξου μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σημείου του κυκλικού τόξου:

$$\Delta l_{i-1}^i = \frac{R_i \Delta \tau_i}{\rho}, \text{ όπου } \rho = 63,6620 \quad (3.10)$$

8. Η Χ.Θ. του μεσαίου σημείου του κυκλικού τόξου:

$$l_i = \sum_{i=0}^i \Delta l_{i-1}^i \quad (3.11)$$

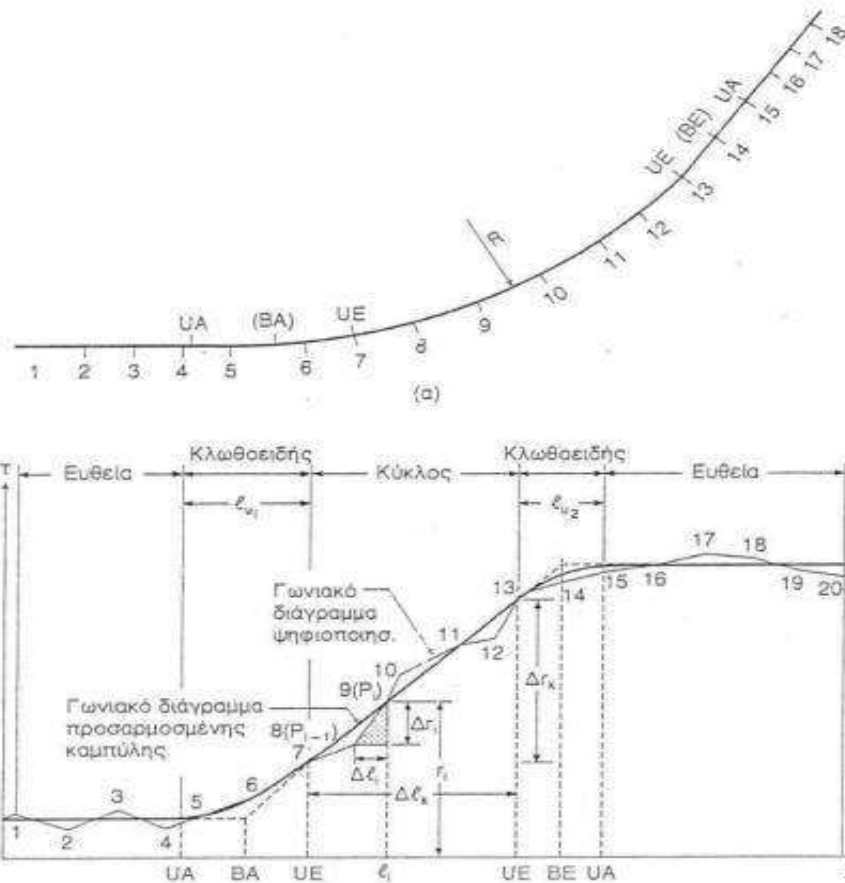


**Εικόνα 3.7:** Γεωμετρικά μεγέθη κύκλου διερχόμενου από τρία διαδοχικά σημεία πύκνωσης του άξονα.

Η παραπάνω διαδικασία θα οδηγήσει στην δημιουργία του γωνιακού διαγράμματος όπου μπορούμε να αντλούμε πληροφορίες για τα γεωμετρικά στοιχεία και για τον αναλυτικό προσδιορισμό των παραμέτρων του κάθε τόξου ξεχωριστά (π.χ. ακτίνα, παράμετρος κλωθοειδούς κ.λπ.).

Με βάση το γωνιακό διάγραμμα και έχοντας δεδομένες τις καμπύλες των γωνιακών διαγραμμάτων του κυκλικού τόξου (κεκλιμένη ευθεία), της ευθυγραμμίας (παράλληλη ευθεία με τον άξονα τετμημένων) και της κλωθοειδούς (παραβολικό τόξο) προσδιορίζονται οι θέσεις των επιμέρους αυτών στοιχείων. Μια γραφική προσέγγιση απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, απ' όπου μπορεί να προκύψουν οι καθοριστικοί παράμετροι του κάθε γεωμετρικού στοιχείου.





Εικόνα 3.8: Γραφική προσαρμογή κλασσικών τόξων σε διακριτό γωνιακό διάγραμμα.

Για το κυκλικό τόξο, η ακτίνα  $R$  στο συγκεκριμένο παράδειγμα, προκύπτει διαιρώντας το οριζόντιο μήκος της κεκλιμένης ευθείας (σημεία 7-13) με το κατακόρυφο μήκος της (μεταβολή γωνίας διεύθυνσης):

$$R = \frac{\Delta l_k}{\Delta \tau_k} \quad (3.12)$$

Οι περιοχές που έχουν σχηματιστεί κλωθοειδείς (παραβολική μορφή των σημείων του διαγράμματος) δίνουν άμεσα το μήκος 1 της (σημεία 4-7 και 13-15 στο σχήμα 8). Με το μήκος 1 και την ακτίνα  $R$  του κυκλικού τόξου υπολογίζουμε τη παράμετρο  $A$  της κλωθοειδούς:

$$A = \sqrt{R l_u} \quad (3.13)$$

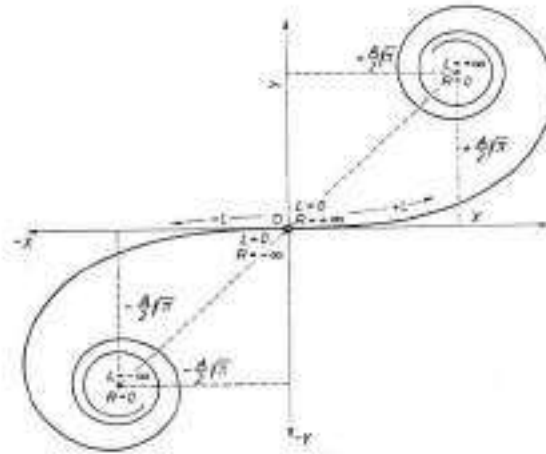
Τα ευθύγραμμα μήκη υπολογίζονται από τα διακριτά σημεία του γωνιακού διαγράμματος συγκεκριμένα από τις οριζόντιες ευθείες (σημεία 1-4 και 15-20 του σχήματος).

### 3.5 Κλωθοειδείς καμπύλες

Τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία που συνιστούν την οριζοντιογραφία μιας οδού είναι η ευθυγραμμία και το κυκλικό τόξο, ανάμεσα στα οποία παρεμβάλλεται συνήθως ένα τόξο συναρμογής. Για να είναι άνετη η οδήγηση, καθώς το όχημα διανύει το τόξο συναρμογής, η επαπτομενική του ταχύτητα πρέπει να παραμένει σταθερή και η γωνιακή του ταχύτητα να μεταβάλλεται ομαλά με το χρόνο [13].

Στην οδοποιία, ως τόξο συναρμογής χρησιμοποιείται η κλωθοειδής. Είναι μία καμπύλη η οποία συμβάλλει ως μήκος συναρμογής για τη μεταβολή της επίκλισης αλλά και στην ομαλή μετάβαση από μια καμπυλότητα σε άλλη εξυπηρετώντας γραμμική μεταβολή της φυγόκεντρης επιτάχυνσης και άρα εξασφάλιση κατά το δυνατό πιο ομοιόμορφης V85. Η εφαρμογή τους γίνεται σε οδούς κατηγορίας AI – AIV, BI – BII και BIII- BIV.

Η ονομασία της καμπύλης αυτής δόθηκε από τον Ernesto Cesàro το 1886 και προέρχεται από την Κλωθώ, τη νεότερη από τις τρεις Μοίρες της Ελληνικής μυθολογίας, η οποία έκλωθε με τη ρόκα της το νήμα της ζωής του κάθε ανθρώπου, κίνηση στην οποία προσομοιάζει η γραφική παράσταση της κλωθοειδούς, καθώς τυλίγεται γύρω από τα δύο ασυμπτωτικά σημεία της (Levien, 2008, p. 10). Η καμπύλη είναι γνωστή και με τις ονομασίες “Σπείρα του Euler” και “Σπείρα του Cornu”. Ωστόσο, έχει επικρατήσει η καμπύλη να αποκαλείται απλώς “κλωθοειδής”. Το πλήρες ανάπτυγμα της καμπύλης απεικονίζεται στο εικόνα 3.9 και στην εφαρμογή της χρησιμοποιείται και ένα μόνο τμήμα της. Η μαθηματική της έκφραση ορίζεται ως:  $A^2 = R L$  (3.14)



**Εικόνα 3.9:** Πλήρες ανάπτυγμα της κλωθοειδούς καμπύλης [14].

όπου,

$A$  : παράμετρος κλωθοειδούς (m)

$R$  : ακτίνα καμπυλότητας στο πέρας του τμήματος της κλωθοειδούς (m)

$L$  : μήκος του τόξου της κλωθοειδούς από την αρχή του ( $R=\infty$ ) μέχρι την ακτίνα  $R$  (m)

Η καμπυλότητα της κλωθοειδούς μεταβάλλεται γραμμικά με το μήκος της και ταυτόχρονα το γινόμενο μήκους – καμπυλότητας είναι σταθερό ( $A^2$ ), έτσι ώστε η αύξηση του μήκους της καμπύλης να επιφέρει ανάλογη αύξηση στην καμπυλότητά της. Κατά συνέπεια, το μέγιστο θεωρητικό μήκος της καμπύλης προκύπτει όταν η ακτίνα καμπυλότητας τείνει να μηδενιστεί.

Η γεωμετρία της τροχιάς του οχήματος απεικονίζεται στο Εικόνα 3.10 σε καρτεσιανό σύστημα αξόνων στοιχειώδες τμήμα  $dL$  και ένα τυχαίο σημείο της  $\Sigma(x,y)$  με σημειακή ακτίνα  $R$ . Θεωρώντας ως  $d\tau$  τη γωνιακή μεταβολή του στοιχειώδους τμήματος  $dL$ , ισχύει:

$$dL = R d\tau \quad (3.15)$$

Λαμβάνοντας υπόψη την Εξίσωση  $A^2 = R L$  και ολοκληρώνοντας τελικά προκύπτει:

$$\frac{L^2}{2} = A^2 * \tau + C \quad (3.16)$$

όπου  $C$  : η σταθερά της ολοκλήρωσης η οποία είναι 0 καθώς για  $L=0$ ,  $\tau=0$

Άρα τελικά προκύπτει:

$$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{A^2}{2R^2} = \frac{L^2}{2A^2} \quad (3.17)$$

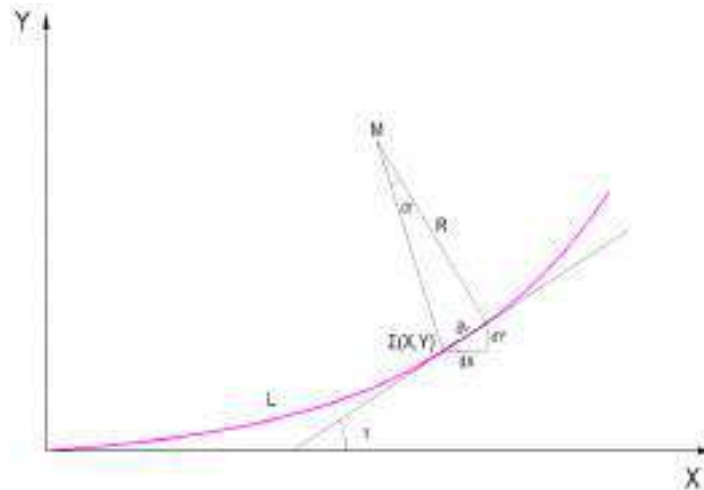
Όπου,

$\tau$  : γωνία αλλαγής διεύθυνσης κλωθοειδούς (rad)

$A$  : παράμετρος κλωθοειδούς (m)

$R$  : ακτίνα καμπυλότητας στο πέρας του τμήματος της κλωθοειδούς (m)

$L$  : μήκος του τόξου της κλωθοειδούς από την αρχή του ( $R=\infty$ ) μέχρι την ακτίνα  $R$  (m)



**Εικόνα 3.10:** Τμήμα μιας κλωθοειδούς καμπύλης και ένα τυχόν σημείο  $\Sigma$  πάνω σε αυτή [13].

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, ο υπολογισμός της τετμημένης και τεταγμένης  $dx$  και  $dy$  αντίστοιχα στο τυχαίο σημείο  $\Sigma(x,y)$ , λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση  $\tau = \frac{L}{2R} = \frac{A^2}{2R^2}$

$= \frac{L^2}{2A^2}$ , έχει ως εξής:

$$dx = dL \cos \tau = dL \cos\left(\frac{L^2}{2A^2}\right) \quad (3.18)$$

$$dy = dL \sin \tau = dL \sin\left(\frac{L^2}{2A^2}\right) \quad (3.19)$$

Η ολοκλήρωση των παραπάνω εξισώσεων, λαμβάνοντας υπόψη την ανάπτυξη του ημιτόνου και συνημίτονου σε σειρές Taylor με βάση τις γνωστές σχέσεις:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^4}{4!} - \frac{\alpha^6}{6!} + \dots \quad (3.20)$$

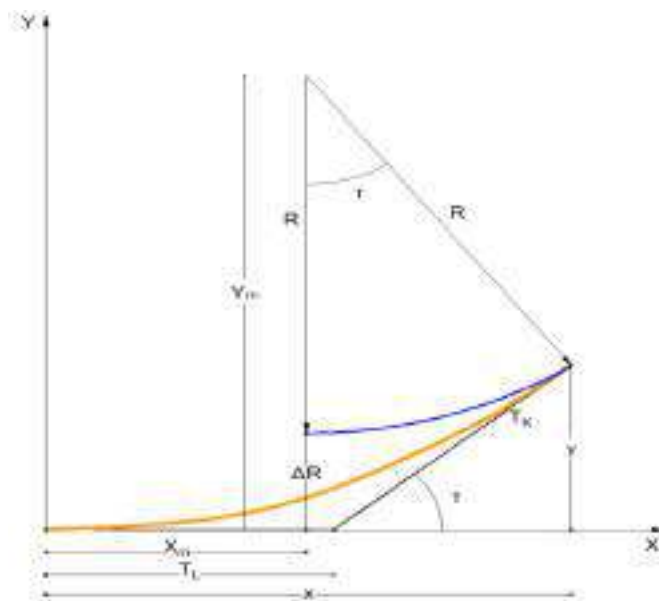
$$\sin \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \frac{\alpha^7}{7!} + \dots \quad (3.21)$$

μας δίνει :

$$x = L - \frac{L^5}{40 A^4} + \frac{L^9}{3456 A^8} - \dots \quad (3.22)$$

$$y = \frac{L^3}{6 A^2} - \frac{L^7}{336 A^6} + \frac{L^{11}}{42240 A^{10}} - \dots \quad (3.23)$$

Προκύπτουν σχέσεις υπολογισμού βοηθητικών μεγεθών από ένα τμήμα κλωθοειδούς καμπύλη, όπως εμφανίζεται και στο παρακάτω σχήμα:



**Εικόνα 3.11:** Τμήμα κλωθοειδούς καμπύλης με επισημασμένα κάποια βοηθητικά μεγέθη [15].

$$T_L = x - \frac{y}{\tan \tau} \quad (3.24)$$

$$T_K = \frac{y}{\sin \tau} \quad (3.25)$$

$$x_m = x - R \sin \tau \quad (3.26)$$

$$y_m = y - R \cos \tau \quad (3.27)$$

$$\Delta R = y_m - R \quad (3.28)$$

Όπου,

$T_L$  : κύρια εφαπτόμενη κλωθοειδούς (m)

$T_K$  : δευτερεύουσα εφαπτόμενη κλωθοειδούς (m)

$x_m$  : τετμημένη του κέντρου του κύκλου καμπυλότητας ακτίνας  $R$  όπου περατώνεται η καμπύλη

$y_m$  : τεταγμένη του κέντρου του κύκλου καμπυλότητας ακτίνας  $R$  όπου περατώνεται η καμπύλη

$\Delta R$  : εκτροπή κλωθοειδούς (ελάχιστη απόσταση μεταξύ της καμπυλότητας ακτίνας  $R$  όπου περατώνεται η καμπύλη και του άξονα των τετμημένων)

Για να γίνει αντιληπτή μια κλωθοειδής καμπύλη από ένα οδηγό θα πρέπει η γωνία αλλαγής της διεύθυνσής της να είναι ίση τουλάχιστον με 3.50g, σύμφωνα με εμπειρικές έρευνες. Καταλήγουμε δηλαδή ότι:

$$A_{\min} = \frac{R}{3} \quad (3.29)$$

Ένας ακόμα περιορισμός της ελάχιστης τιμής της παραμέτρου  $A$ , αφορά στη χρήση της κλωθοειδούς ως μήκος συναρμογής για να επιτύχει τη μεταβολή της επίκλισης μεταξύ ευθυγραμμίας και κυκλικού τόξου ή μεταξύ διαδοχικών κυκλικών τόξων. Αναλυτικότερα, προκειμένου η μεταβολή της επίκλισης να γίνεται ομαλά μέσα στο τόξο συναρμογής, υπό την έννοια ότι δεν θα γίνεται υπέρβαση στη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της πρόσθετης κατά μήκος κλίσης των οριογραμμών, πρέπει το μήκος της κλωθοειδούς να είναι επαρκές. Για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια της κυκλοφορίας, η μέγιστη τιμή της κλωθοειδούς αναλαμβάνεται ως:

$$A_{\max} = R \quad (3.30)$$

Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε γωνία αλλαγής της διεύθυνσής στο τέλος του τόξου συναρμογής ίσο με 31.8g

### 3.9.1 Τύποι Οριζοντιογραφικών Καμπύλων Με Κλωθοειδείς

Το τόξο συναρμογής και πιο συγκεκριμένα η κλωθοειδής διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο σύγχρονο γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Αυτό αποτυπώνεται και στα διάφορα είδη οριζοντιογραφικών καμπυλών που έχουν αναπτυχθεί. Παρακάτω, απαριθμούνται ορισμένες.

- **Τυπική Καμπύλη**

Η πιο συνηθισμένη μορφή καμπύλης στην οδοποιία είναι η τυπική και αποτελείται από συνοχή ευθυγραμμίας – κλωθοειδούς(εισόδου) – κυκλικού τόξου – κλωθοειδούς (εξόδου) – ευθυγραμμίας. Οι κλωθοειδείς εισόδου και εξόδου δεν είναι πάντα συμμετρικές. Αν εφαρμόσουμε μη συμμετρικές παραμέτρους( $A_1 \neq A_2$ ) γενικά επιθυμητό είναι  $A_1 \leq 1.50 A_2$ .

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα παράδειγμα μιας τυπικής καμπύλης με επισήμανση στα κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και γωνία στροφής  $\gamma$  αποτελούμενη από κυκλικό τόξο ακτίνας  $R$  και κλωθοειδείς ασύμμετρων παραμέτρων. Οι κύριες εφαπτόμενες της συνολικής καμπύλης ( $T_1$  και  $T_2$ ), οι οποίες αποτελούν την πολυγωνική της καμπύλης, υπολογίζονται μέσω του σχήματος καθώς και των εξής σχέσεων:

$$\gamma^{grad} = \tau_1^{grad} + \tau_2^{grad} + a^{grad} \quad (3.30)$$

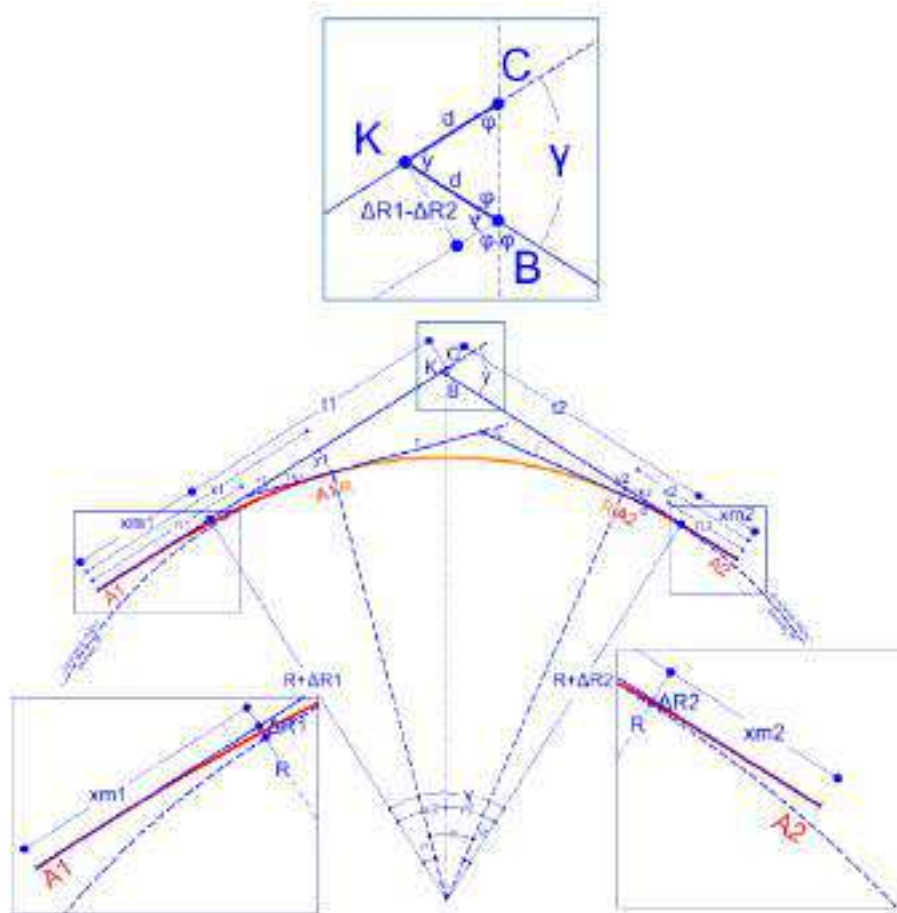
$$t_1 = (R + \Delta R_1) \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (3.31)$$

$$t_2 = (R + \Delta R_2) \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (3.32)$$

Τελικά ισχύει:

$$T_1 = x_{m1} + t_1 - d \quad (3.33)$$

$$T_2 = x_{m2} + t_2 + d \quad (3.34)$$



Εικόνα 3.12: Μια τυπική καμπύλη με ασύμμετρες κλωθοειδείς εισόδους και εξόδους στο σημείο πέρατος και στην περιοχή του σημείου K [14].

Το μέγεθος  $d$ , εστιάζοντας στην περιοχή του σημείου K της πολυγωνικής (μεγέθυνση), προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη ότι:

$$2\varphi + \gamma = 200\text{grad} \quad (3.35)$$

Με κατάλληλες αντικαταστάσεις των παραπάνω σχέσεων προκύπτει η εξίσωση:

$$d = \Delta R_1 - \Delta R_2 \sin \gamma \quad (3.36)$$

Παρατηρείται ότι όταν οι κλωθοειδείς έχουν ίδιες παραμέτρους ( $A_1 = A_2$ ), τότε  $d=0$ , τα σημεία K, C και B συμπίπτουν και η καμπύλη είναι συμμετρική ως προς τον κάθετο άξονα που αποτελεί και τη διχοτόμο της γωνίας  $200-\gamma$ .

Τέλος, το μήκος του κυκλικού τόξου  $b$  προκύπτει ως εξής:

$$b = R (\gamma^{\text{grad}} - \tau_1^{\text{grad}} - \tau_2^{\text{grad}}) \frac{\pi}{200} \quad (3.37)$$



### • Καμπύλη Τύπου S

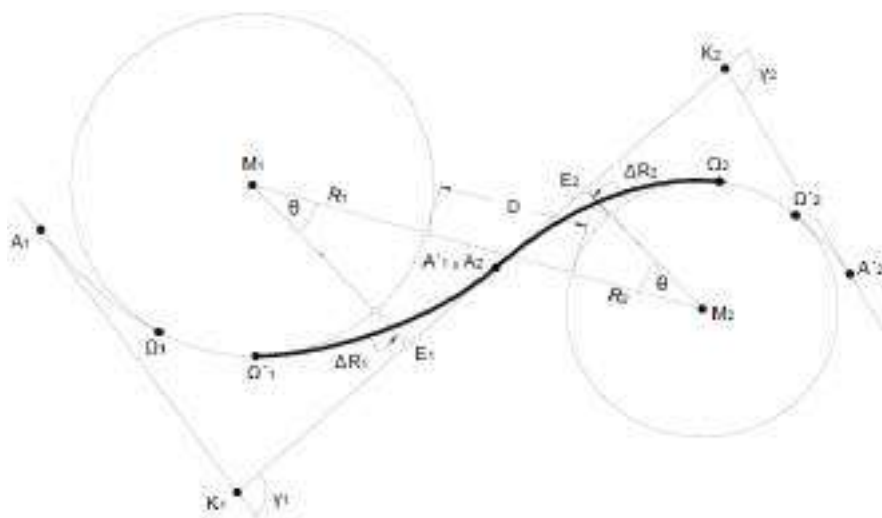
Η καμπύλη τύπου ‘S’, γνωστή και ως σιγμοειδής καμπύλη, αποτελείται από δύο διαδοχικές αντίρροπες κλωθοειδείς, οι οποίες εφάπτονται μεταξύ τους στο κοινό σημείο αρχής. Ειδικότερα, ορίζεται ως μια αλληλουχία κλωθοειδούς εξόδου-κλωθοειδούς εισόδου, ενώ μπορεί να συναντάται με μια μικρή ευθυγραμμία ανάμεσα στα δύο αυτά τόξα συναρμογής. Για λόγους αρμονίας της χάραξης, αλλά και για να μεταβάλλονται ομοιόμορφα οι επικλίσεις, οι δύο κλωθοειδείς πρέπει να εφαρμόζονται με περίπου ίσες παραμέτρους. Σύμφωνα με τις ελληνικές οδηγίες μελετών οδικών έργων (ΟΜΟΕ – Χ, 2001) , όταν αυτό δεν είναι δυνατό και οι δύο παράμετροι διαφέρουν ( $A_1 \neq A_2$ ), πρέπει για  $A_2 \leq 200\text{m}$  να ισχύει η σχέση:

$$A_1 \leq 1.50 A_2 \quad (3.38)$$

Όπου,

$A_1$ : η μεγαλύτερη παράμετρος (m)

$A_2$  : η μικρότερη παράμετρος (m)



Εικόνα 3.13: Μια τυπική διάταξη μιας S-καμπύλης σε ένα οδικό τμήμα [13].

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η χάραξη ενός οδικού τμήματος, τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία και η πολυγωνική. Με έντονο χρώμα επισημαίνεται η S-καμπύλη που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο διαδοχικές και αντίρροπες καμπύλες.

Επίσης, από τις οδηγίες προκύπτει πως για να διέρχεται η χάραξη του οδικού τμήματος από τοπικά υποχρεωτικά σημεία, επιτρέπεται κατά συνθήκη η διάταξη ευθυγραμμίας μικρού μήκους μεταξύ των δύο σημείων αρχής των κλωθοειδών.

Προκειμένου, όμως, να διατηρείται η οπτική εντύπωση της S-καμπύλης, ώστε ο οδηγός να μη θεωρήσει τις δύο αντίρροπες καμπύλες ως ανεξάρτητες, πρέπει η τιμή του μήκους της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας να μην υπερβαίνει την τιμή:

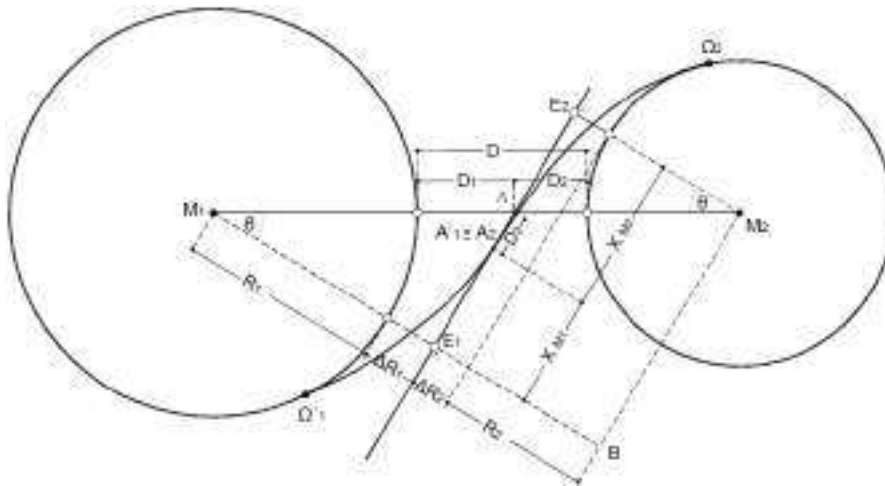
$$L_z \leq 0.08 (A_1 + A_2) \quad (3.39)$$

Όπου,

$A_1, A_2$  : παράμετροι κλωθοειδούς (m)

$L_z$  : μήκος ενδιάμεσης ευθυγραμμίας (m)

Δίνεται ένα παράδειγμα σιγμοειδούς καμπύλης. Οι ακτίνες  $R_1, R_2$  σε γενικές γραμμές είναι γνωστές καθώς και η ενδιάμεση απόσταση  $D$  μεταξύ των δύο κυκλικών τόξων. Το σύνηθες πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων  $A_1$  και  $A_2$  των δύο κλωθοειδών. Η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση τους είναι η εξής:



Εικόνα 3.14: Παράδειγμα S-καμπύλης [13].

Σύμφωνα με το πυθαγόρειο θεώρημα στο τρίγωνο  $BM_1M_2$  ισχύει:

$$(R_1 + R_2 + D)^2 = (x_{m1} + x_{m2})^2 + (R_1 + R_2 + \Delta R_1 + \Delta R_2)^2 \quad (3.40)$$

Όπου,

$$x_m = x - R \sin \tau \quad (3.26)$$

$$y_m = y - R \cos \tau \quad (3.27)$$

$$\Delta R = y_m - R \quad (3.28)$$

$$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{A^2}{2R^2} = \frac{L^2}{2A^2} \quad (3.17)$$

Και για τα  $x_i, y_i$  με  $i = 1, 2$  από τις σχέσεις :

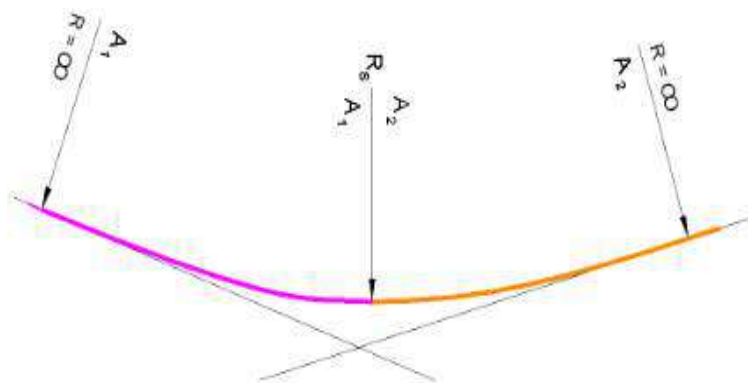
$$x_i = \frac{A_i^2}{R_i} - \frac{\left(\frac{A_i^2}{R_i}\right)^5}{40 A_i^4} + \frac{\left(\frac{A_i^2}{R_i}\right)^9}{3456 A_i^8} \quad (3.41)$$

$$y_i = \frac{\left(\frac{A_i^2}{R_i}\right)^3}{6 A_i^6} - \frac{\left(\frac{A_i^2}{R_i}\right)^7}{336 A_i^6} + \frac{\left(\frac{A_i^2}{R_i}\right)^{11}}{42240 A_i^{10}} \quad (3.42)$$

Η σχέση που προήλθε από το Πυθαγόρειο Θεώρημα και ενός αγνώστου είναι αρκετά σύνθετη για να επιλυθεί αναλυτικά. Για το λόγο αυτό τις εξισώσεις αυτού του τύπου συνηθίζεται η χρήση υπολογιστικών φύλλων (spreadsheets) όπου ο άγνωστος, η παράμετρος  $A$  στην προκειμένη περίπτωση, προκύπτει με διαδοχικές δοκιμές ή παρόμοιες πρακτικές (πχ. excel με solver, κλπ.) προσδιορίζοντας μια αρχική τιμή. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η περίπτωση ασύμμετρων κλωθοειδών, γνωρίζοντας όμως τη σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων τους.

- **Κλωθοειδής Κορυφή**

Η κλωθοειδής κορυφή αποτελείται από δύο απλές διαδοχικές ομόρροπες κλωθοειδείς με παραμέτρους  $A_1$  και  $A_2$ , οι οποίες εφάπτονται μεταξύ τους και στο σημείο επαφής έχουν ίσες ακτίνες καμπυλότητας ( $R_1 = R_2 = R_s$ ). Ένα παράδειγμα κλωθοειδούς κορυφής παρατίθεται στην Εικόνα 3.15. Τα δύο τόξα συναρμογής διακρίνονται με έντονα χρώματα για να είναι ευδιάκριτο το σημείο τομής τους.



Εικόνα 3.15: Η τυπική διάταξη μιας κλωθοειδούς κορυφής [13].

Η εφαρμογή της αφορά σε ιδιαίτερες περιπτώσεις, επειδή η άμεση διαδοχή καμπύλης με αυξανόμενη καμπυλότητα με καμπύλη με μειούμενη καμπυλότητα προκαλεί δυσκολίες στη κίνηση των οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η απουσία του κυκλικού τόξου συνεπάγεται την έλλειψη ενός τμήματος ηρεμίας για τον οδηγό, επειδή πρέπει να στρέφει συνέχεια το

τιμόνι και μάλιστα στην κορυφή της καμπύλης να αλλάξει απότομα και τη φορά της στροφής (Pietzsch, 1976). Οι παράμετροι των κλωθοειδών πρέπει κατά το δυνατόν να είναι ίσες ( $A_1 = A_2$ ) και να αποφεύγεται η εφαρμογή της με ακτίνα μικρότερη από  $R_{S,min}=500m$  (ΟΜΟΕ – Χ, 2001).

Όταν οι ακτίνες είναι μεγάλες και οι μεταβολές στην κατεύθυνση των εφαπτομένων της καμπύλης μικρές, τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα της κλωθοειδούς κορυφής απορρίπτονται και δεν υπάρχει λόγος αποφυγής της χρήσης της.

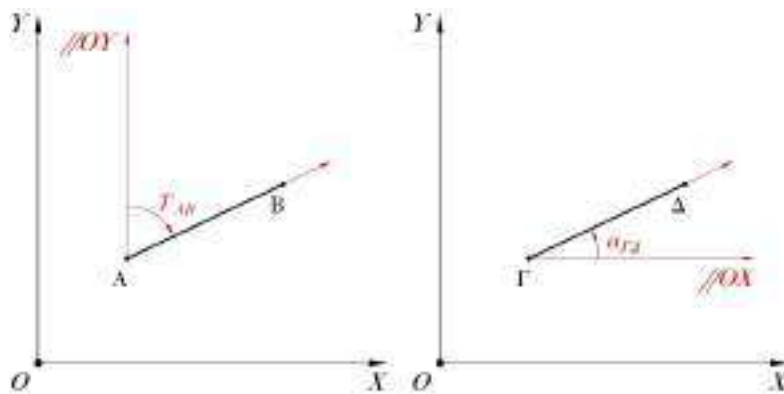
### 3.6 Διάγραμμα Αζιμούθιων

Γενικά ως γωνία διεύθυνσης ενός ευθύγραμμου τμήματος ΑΒ ορίζεται η δεξιόστροφη γωνία που διαγράφεται αν μια ημιευθεία που φέρεται από το σημείο Α και είναι παράλληλη προς τον θετικό κατακόρυφο ημιάξονα, περιστραφεί γύρω από το Α, έως ότου ταυτιστεί με τη διεύθυνση του ΑΒ.

Αζιμούθιο ονομάζεται η οριζόντια γωνία, η οποία σχηματίζεται μεταξύ του άξονα που δείχνει το Βορρά και μιας διεύθυνσης. Η γωνία μετριέται δεξιόστροφα, με αρχικό άξονα μέτρησης το Βορρά και κυμαίνεται από 0 έως 360 ° ( 0 έως 400  $\varphi$  ).

Το γωνιακό διάγραμμα (angle diagram) είναι η απεικόνιση της γωνίας διεύθυνσης που έχει μια καμπύλη σε ένα τυχαίο σημείο της. Αν η γωνία διεύθυνσης έχει διεύθυνση αναφοράς το Βορρά, το γωνιακό διάγραμμα καλείται διάγραμμα αζιμούθιων (azimuth diagram).

Η γωνία διεύθυνσης δεν πρέπει να συγχέεται με την κλίση. Ως κλίση ενός ευθύγραμμου τμήματος ΓΔ ορίζεται η αριστερόστροφη γωνία που διαγράφεται. Πιο συγκεκριμένα, αν μια ημιευθεία που ξεκινά από το σημείο Γ και είναι παράλληλη προς τον θετικό οριζόντιο ημιάξονα περιστραφεί γύρω από το Γ, έως ότου ταυτιστεί με τη διεύθυνση του ΓΔ. Στο Σχήμα διακρίνεται η διαφορά στον τρόπο που ορίζονται η γωνία διεύθυνσης  $T_{AB}$  και η κλίση  $\alpha_{ΓΔ}$ .



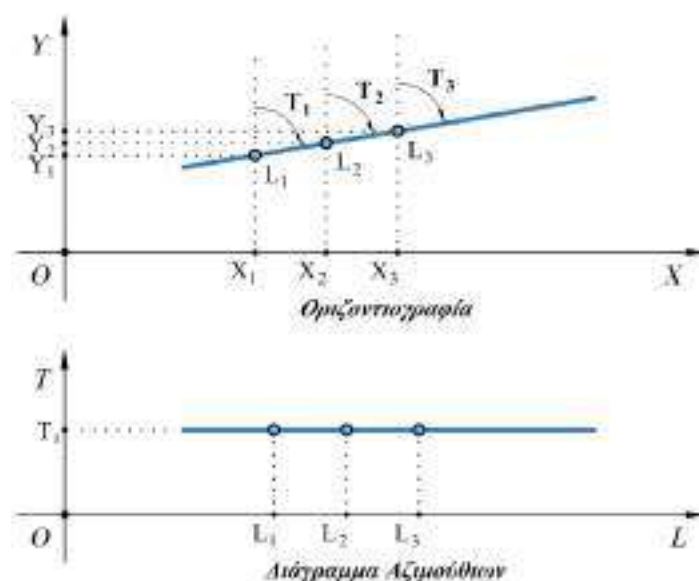
**Εικόνα 3.16:** Η γωνία διεύθυνσης ενός ευθύγραμμου τμήματος (αριστερά) και η κλίση του (δεξιά).

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος αναφοράς συνήθως εξαρτάται από την πιο εύκολη και βολική επιλογή που αυτό παρουσιάζει και είναι προφανές πως οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται κάθε φορά διαφέρουν.

Όπως προαναφέρθηκε, τα στοιχειώδη γεωμετρικά στοιχεία που αποτελούν την οριζοντιογραφία μιας οδού είναι η ευθυγραμμία, το κυκλικό τόξο και η κλωθοειδής. Αυτά, ύστερα, συνδυάζονται μεταξύ τους για τη δημιουργία πιο σύνθετων καμπυλών. Το διάγραμμα αξιμούθιων για τα αντίστοιχα στοιχεία μιας οριζοντιογραφίας παρουσιάζονται παρακάτω:

- Για την ευθυγραμμία

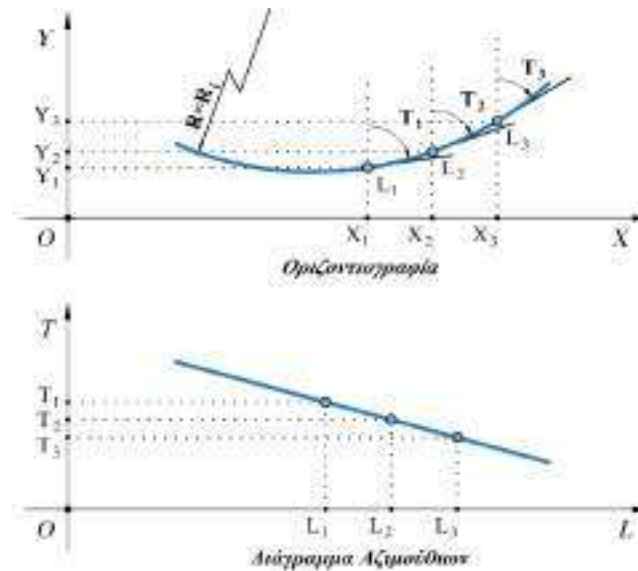
Το διάγραμμα αξιμούθιων ενός οδικού τμήματος που αποτελείται από ευθυγραμμία είναι μια οριζόντια ευθεία.



**Εικόνα 3.17:** Το διάγραμμα αξιμούθιων μιας ευθυγραμμίας είναι μια οριζόντια γραμμή.

- Για το κυκλικό τόξο

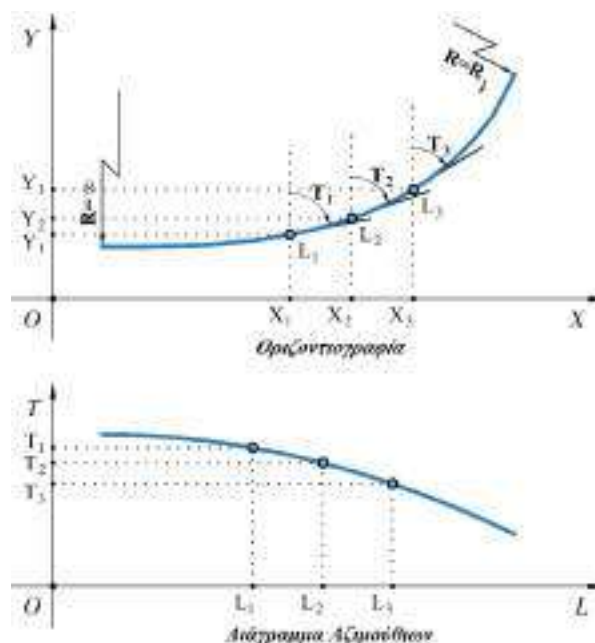
Το διάγραμμα αζιμούθων ενός οδικού τμήματος που αποτελείται από κυκλικό τόξο είναι μια κεκλιμένη ευθεία, η οποία έχει συντελεστή διεύθυνσης το αντίστροφο της ακτίνας του κυκλικού τόξου αυτού.



Εικόνα 3.18: Το διάγραμμα αζιμούθων ενός κυκλικού τόξου είναι μια κεκλιμένη γραμμή.

- Για την κλωθοειδή

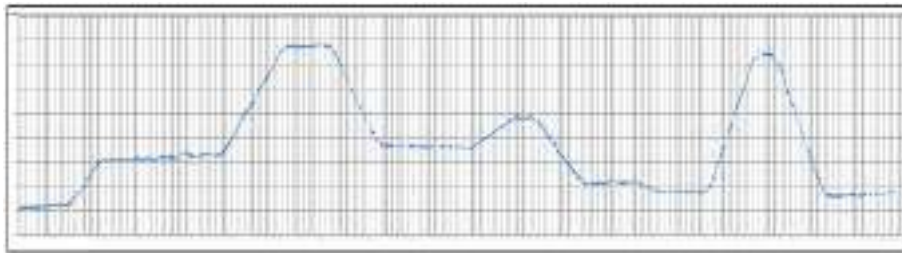
Το διάγραμμα αζιμούθων ενός οδικού τμήματος που αποτελείται από κλωθοειδή είναι μια παραβολή.



Εικόνα 3.19: Το διάγραμμα αζιμούθων μιας κλωθοειδούς είναι μια παραβολή.

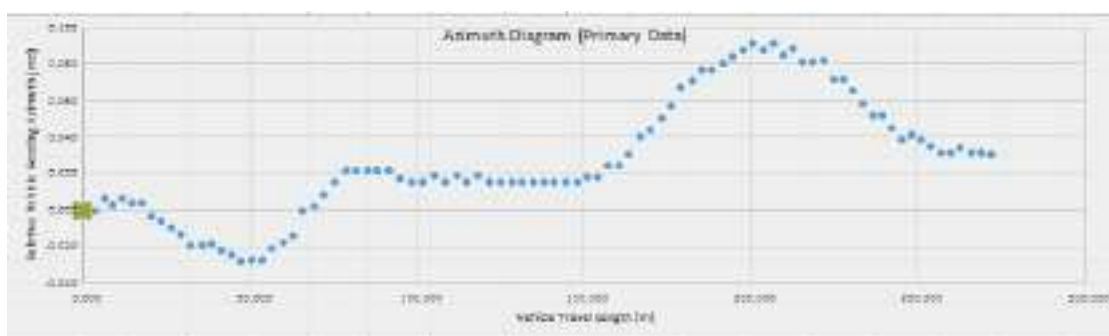
Διακρίνεται εύκολα, από τα παραπάνω διαγράμματα, πως όταν στην οριζοντιογραφία υπάρχει μια αριστερόστροφη καμπύλη, η γραφική παράσταση του διαγράμματος αζιμούθιων κατέρχεται. Αντίστοιχα, όταν υπάρχει μια δεξιόστροφη καμπύλη, η γραφική παράσταση του διαγράμματος αζιμούθιων ανέρχεται.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το διάγραμμα αζιμούθιων ενός οδικού τμήματος, το οποίο αποτελείται από ευθυγραμμίες (οριζόντιες ευθείες) και κυκλικά τόξα (κεκλιμένες ευθείες). Ειδικότερα, παρατηρούνται τέσσερις δεξιόστροφες και τρεις αριστερόστροφες καμπύλες, μεταξύ των οποίων υπάρχουν οι εν λόγω ευθυγραμμίες.



Εικόνα 3.20: Το διάγραμμα αζιμούθιων που αντιστοιχεί σε ένα υφιστάμενο οδικό τμήμα [16].

Στο πείραμα που εκτελέστηκε στο πλαίσιο της μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, οι συντεταγμένες προέκυψαν από τα δεδομένα που κατέγραψε ή προσομοιωτής οδήγησης ή ο δέκτης GPS που ήταν προσαρμοσμένος στο όχημα που εκτελέστηκαν οι δοκιμές. Με χρήση του γωνιακού διαγράμματος, και μέσω ενός υπολογιστικού φύλλου Microsoft Excel υπολογίζονται οι χιλιομετρικές θέσεις κάθε σημείου και το διάγραμμα του αζιμούθιου τη στιγμή του ελιγμού προσπέρασης.



Εικόνα 3.21: Το διάγραμμα του αζιμούθιου στο περιβάλλον του Excel.

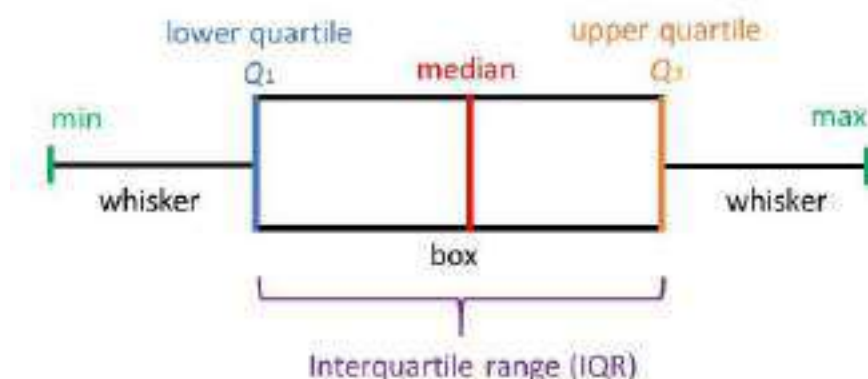
### 3.7 Θηκόγραμμα (Boxplots)

Στην περιγραφική στατιστική, το θηκόγραμμα (γραφική παράσταση πλαισίου) ή boxplot είναι ένας τρόπος γραφήματος που χρησιμοποιείται στην επεξηγηματική ανάλυση δεδομένων. Η κομψή απλότητα του το καθιστά ιδανικό ως μέσο σύγκρισης πολλών δειγμάτων ταυτόχρονα, με τρόπο που θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί για

παράδειγμα με ένα ιστόγραμμα. Τα κουτιά των μεμονωμένων δειγμάτων μπορούν να παραχθούν το ένα δίπλα στο άλλο σε μια κοινή κλίμακα και τα διάφορα χαρακτηριστικά των δειγμάτων να συγκριθούν με μια ματιά και να γίνουν αμέσως αντιληπτές οι εμφανείς διαφορές.

Ειδικότερα, τα διαγράμματα πλαισίου απεικονίζουν την κατανομή αριθμητικών δεδομένων δίνοντας τη δυνατότητα στους ερευνητές να προσδιορίσουν γρήγορα τη μέση τιμή, τη διασπορά του συνόλου και τα σημάδια λοξότητας. Χωρίζουν τα δεδομένα σε ενότητες που το καθένα περιέχει περίπου το 25% των δεδομένων σε αυτό το σύνολο και απεικονίζουν τη σύνοψη πέντε τιμών: Ελάχιστη τιμή (min), πρώτο τεταρτημόριο (Q1), διάμεσος, τρίτο τεταρτημόριο (Q3) και μέγιστη τιμή (max). Η επεξήγηση των τιμών δίδεται παρακάτω, ενώ στην πιο κάτω εικόνα παρατίθεται πιο εποπτική εικόνα αυτών.

- ✓ Ελάχιστη τιμή (Min) : Η ελάχιστη τιμή των παρατηρήσεων
- ✓ Πρώτο τεταρτημόριο (Q1) : Η τιμή Q1 είναι η μεσαία τιμή μεταξύ του μικρότερου αριθμού και της μέσης τιμής που αντιστοιχεί στο 25% των παρατηρήσεων
- ✓ Διάμεσος (Median, Q2) : Η τιμή με κόκκινο χρώμα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 14, είναι η μέση τιμή του δείγματος που αντιστοιχεί στο 50% των παρατηρήσεων.
- ✓ Τρίτο τεταρτημόριο (Q3) : Η τιμή Q3 είναι το μεσαίο νούμερο μεταξύ του μεγαλύτερου αριθμού και της μέσης τιμής που αντιστοιχεί στο 75% των παρατηρήσεων.
- ✓ Μέγιστη τιμή (Max) : Η μέγιστη τιμή των παρατηρήσεων



Εικόνα 3.22: Οι βασικές τιμές στο διάγραμμα πλαισίου.

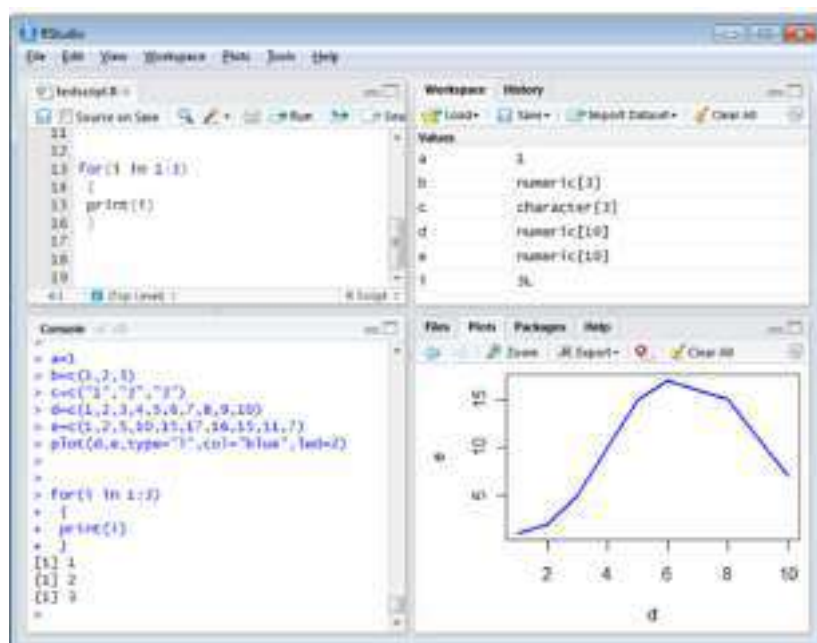
Μία ακόμα τιμή πάνω στο διάγραμμα πλαισίου είναι το IQR( Interquartile Range) και μπορεί να υπολογιστεί αφαιρώντας το Q3 από το Q1. Επίσης, σε κάποιες κατανομές θα



παρατηρηθούν κάποιες κουκίδες εκτός του πλαισίου. Αυτές ονομάζονται Outliers και δείχνουν τις τιμές που είναι αρκετά μεγαλύτερες ή μικρότερες σε σχέση με το εύρος στο οποίο εμφανίζεται στο υπόλοιπο δείγμα.

### 3.8 Υπολογιστικό περιβάλλον R

Η R-Studio είναι μια γλώσσα προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα και ταυτόχρονα ένα περιβάλλον που επιτρέπει στον χρήστη να κάνει υπολογισμούς και αναλύσεις, καθώς και να δημιουργήσει γραφήματα. Αρχικοί δημιουργοί ήταν οι Robert Gentleman και Ross Ihaka ενώ αργότερα συνέβαλλαν και άλλοι στην ανάπτυξή της. Η R είναι δωρεάν για διάφορους τύπους λειτουργικών συστημάτων, όπως Windows, Unix (π.χ. Linux), καθώς και MacOS, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να επέμβουν στον κώδικα και να προχωρήσουν σε διορθώσεις και βελτιώσεις. Παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία όπως είναι η δημιουργία τυχαίων δειγμάτων, διακριτές και συνεχείς μεταβλητές (Poisson, Gamma, Exponential κτλ), ελέγχους υποθέσεων, στατιστικά τεστ, δημιουργία γραφημάτων (ιστόγραμμα, qqplot και άλλα), προκειμένου να υλοποιηθεί μία στατιστική ανάλυση. Στην συγκεκριμένη μελέτη, γίνεται αξιοποίηση της R με σκοπό την μοντελοποίηση του ποσοστού του προβληματικού μήκους ορατότητας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το περιβάλλον προγραμματισμού R-studio.



Εικόνα 3.23: R-studio.

- Στο πάνω αριστερά μέρος βρίσκεται το παράθυρο επεξεργαστή κειμένου στο οποίο γράφονται οι εντολές του κώδικα.

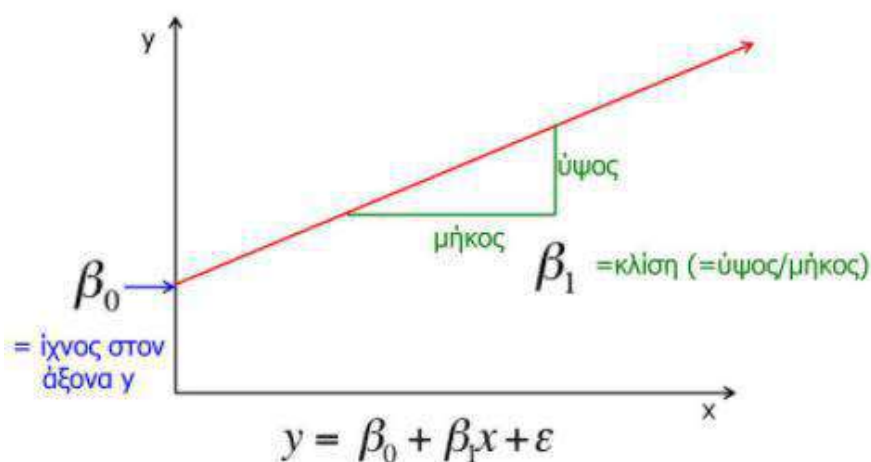
- Στο κάτω αριστερά μέρος βρίσκεται το παράθυρο κονσόλας στο οποίο εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.
- Στο πάνω δεξιά μέρος φαίνονται τα δεδομένα και οι τιμές που εισέρχονται στο κώδικα.
- Στο κάτω δεξιά μέρος εμφανίζονται τα διαγράμματα καθώς και πληροφορίες για τα υποπρογράμματα που χρησιμοποιούνται από την R-studio.

### 3.8.1 Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης

Στόχος της είναι η μοντελοποίηση μιας βαθμωτής εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  ως μαθηματική συνάρτηση μίας ή περισσότερων ανεξαρτήτων μεταβλητών  $X$ , έτσι ώστε χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο να μπορούμε να υπολογίσουμε την μεταβλητή  $Y$  όταν είναι γνωστό μόνο το  $X$ . Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει την μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

όπου,  $\beta_0$  είναι το σημείο τομής με τον άξονα  $y$  και  $\beta_1$  είναι η κλίση. Αυτοί οι δύο συντελεστές ονομάζονται συντελεστές παλινδρόμησης, ενώ ο όρος  $\varepsilon$  είναι ο όρος σφάλματος, δηλαδή το μέρος του  $Y$  το οποίο δεν μπορεί να εξηγήσει το μοντέλο. Η σχηματική απεικόνιση της εξίσωσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.24: Μορφή γραμμικού μοντέλου.

### 3.8.2 Λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση

Οι λογαριθμικοί μετασχηματισμοί μεταβλητών στα μοντέλα παλινδρόμησης είναι χρήσιμοι όταν δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Επιπρόσθετα, βοηθούν στη μετατροπή μίας μεταβλητής μεγάλης κλίσης σε διάγραμμα

διασποράς με τιμές που έχουν πιο ήπια κλίση. Οι μαθηματικές σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφραστεί ένα λογαριθμικό μοντέλο φαίνονται στην Εικόνα 3.7, όπου ισχύει ότι:

1)  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$

- $y$ : Εξαρτημένη μεταβλητή
- $\beta_0$ : Σταθερός όρος
- $\beta_1$ : συντελεστής λογαρίθμου της ανεξάρτητης μεταβλητής. Εκφράζει την ελαστικότητα της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  σε σχέση με την ανεξάρτητη μεταβλητή  $x$ .

2)  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 x + u$

- $\beta_1$ : ποσοστό μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  για αλλαγή μιας μονάδας στην τιμή  $x$ .

3)  $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$

- $\beta_1$ : μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής για 100% μεταβολή τιμής  $x$ .

**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

Εικόνα 3.25: Μαθηματικές σχέσεις λογαριθμικών γραμμικών μοντέλων.

### 3.9 Κριτήρια επιλογής μοντέλου

Υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέγεται ένα μοντέλο. Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

- Οι τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών  $\beta_i$
- Η στατιστική σημαντικότητα (t-test)

- Η τιμή σημαντικότητας (p-value)
- Τα μέτρα προσαρμογής (F-statistic, Std. Error, AIC, BIC)
- Η ποιότητα ( $R^2$ )

### 3.9.1 Συντελεστές $\beta_i$

Οι συντελεστές παλινδρόμησης  $\beta_i$ , εκτιμώνται με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Όταν το πρόσημο τους είναι θετικό σημαίνει ότι η αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής συνεπάγεται και αύξηση της εξαρτημένης ενώ αντίθετα αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι η αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης.

### 3.9.2 Έλεγχος t-test

Σημαντικός έλεγχος για την αξιολόγηση του μοντέλου είναι ο έλεγχος t-test. Το t-test χρησιμοποιείται για να καθορίσει την επιρροή μίας μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής τόσο μεγαλύτερη είναι και επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής. Η σχέση που εκφράζει το t-test είναι η παρακάτω.

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

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

Όπως φαίνεται, η τιμή του τυπικού σφάλματος (s.e: standard error) είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής του t. Δηλαδή όσο επιτυγχάνεται μείωση του τυπικού σφάλματος τόσο θα αυξάνεται και η τιμή του t. Το t μπορεί να πάρει θετικές και αρνητικές τιμές αφού εξαρτάται από το πρόσημο των συντελεστών παλινδρόμησης  $\beta_i$ . Οι μεγαλύτερες τιμές του t κατά απόλυτη τιμή, δείχνουν μεγαλύτερη στατιστική σημαντικότητα της εκάστοτε μεταβλητής που εξετάζεται. Στον παρακάτω 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 η τιμή του  $t$  είναι 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 ότι και σε αυτά της γραμμικής παλινδρόμησης.

### 3.9.3 Τιμή σημαντικότητας p-value

Οι τιμή p-value ορίζεται ως η πιθανότητα λήψης αποτελέσματος ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό που παρατηρήθηκε μέσω των δεδομένων. Αφού οριστεί η τιμή p-value συγκρίνεται με μια προκαθορισμένη τιμή στατιστικής σημαντικότητας, η οποία συνήθως είναι η 0,05. Αν η τιμή p-value είναι μικρότερη από 0,05 τότε ένα γραμμικό μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντικό. Αυτό μπορεί να φανεί και από τα αστέρια που υπάρχουν δίπλα από την τιμή p-value, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8. Όσα περισσότερα είναι, με μέγιστο τα 3 αστέρια, τόσο η μεταβλητή κρίνεται σημαντική για το μοντέλο.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	2098.23945	337.44347	6.218	3.69e-08	***
FINAL\$lat12	-45.27961	11.93359	-3.794	0.000321	***
FINAL\$latism12	-173.77027	28.73089	-6.048	7.31e-08	***

Πίνακας 3.2: Στατιστική σημαντικότητα μεταβλητών (p-value).

### 3.9.4 Μέτρα προσαρμογής

F-statistic: Χρησιμοποιείται για να κρίνει πολλαπλούς συντελεστές που λαμβάνονται μαζί ταυτόχρονα, αντί να κρίνονται μεμονωμένα μέσω του t-test. Η σχέση είναι η παρακάτω.

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

$$\text{Μέση τετραγωνική παλινδρόμηση: } MSR = \frac{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2}{(q-1)} = \frac{SST - SSE}{(q-1)}$$

$$\text{Μέσο τετραγωνικό σφάλμα: } MSE = \frac{SSE}{n-q}$$

- Άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων:  $SSE = \sum ni(y_i - \hat{y}_i)$
- Άθροισμα συνόλου τετραγώνων:  $SST = \sum ni(y_i - \bar{y}_i)$
- $\hat{y}_i$  : Προσαρμοσμένη τιμή παρατήρησης  $i$
- $\bar{y}_i$  : Μέση τιμή του  $Y$
- $n$ : Αριθμός των παρατηρήσεων

- $q$ : Αριθμός των συντελεστών

Std.Error (Standard Error): Το τυπικό σφάλμα είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής δειγματοληψίας. Η σχέση που το περιγράφει είναι η παρακάτω.

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

AIC και BIC: Τα Akaike Information Criterion (Akaike, 1974) και Bayesian Information Criterion (Schwarz, 1978) με συντομογραφίες AIC και BIC αντίστοιχα, εξαρτώνται από τη μέγιστη τιμή της συνάρτησης πιθανότητας  $L$  (Likelihood function) και χρησιμοποιούνται για την επιλογή μοντέλου. Οι μαθηματικές τους σχέσεις φαίνονται παρακάτω.

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

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

όπου,  $n$ : Αριθμός του δείγματος

$k$ : Αριθμός παραμέτρων στο μοντέλο

### 3.9.5 Κριτήριο καλής προσαρμογής $R^2$ – Adjusted $R^2$

Το κριτήριο του  $R^2$ , χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ποιότητας ενός μοντέλου. Η μαθηματική σχέση που το εκφράζει είναι η παρακάτω:

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

Οι όροι SSE και SST αναλύθηκαν παραπάνω. (Βλ. παράγραφο 3.5.4) Πρόκειται για ένα στατιστικό μέτρο που δείχνει το πόσο κοντά είναι τα δεδομένα στην γραμμή παλινδρόμησης. Είναι ουσιαστικά, το ποσοστό της μεταβλητής απόκρισης που εξηγείται από ένα γραμμικό μοντέλο. Βρίσκεται πάντα μεταξύ 0% και 100%. Το 0% δείχνει ότι το μοντέλο δεν εξηγεί καμία από τις μεταβλητές δεδομένων απόκρισης σε αντίθεση με το 100% που δηλώνει ότι το μοντέλο εξηγεί όλη τη μεταβλητότητα των δεδομένων. Γενικά, όσο υψηλότερο είναι το  $R^2$  τόσο καλύτερα εκφράζει το μοντέλο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Το κριτήριο του Προσαρμοσμένου (Adjusted)  $R^2$  χρησιμοποιείται για τον καλύτερο έλεγχο της ποιότητας ενός μοντέλου, αφού όταν γίνεται πρόσθεση μεταβλητών στο μοντέλο, ο συντελεστής  $R^2$  αυξάνεται συγκριτικά με το προηγούμενο μοντέλο λιγότερων μεταβλητών. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται το Προσαρμοσμένο  $R^2$  το οποίο λαμβάνει υπόψη την

χρήση περισσότερων μεταβλητών και διαμορφώνεται ανάλογα με τον αριθμό αυτών. Η σχέση που το εκφράζει είναι η παρακάτω:

$$adjR^2 = 1 - \frac{MSE}{MST}$$

Όπου ο όρος MST εκφράζει την μέση τιμή του συνόλου των τετραγώνων και δίνεται από την σχέση :

$$MST = \frac{SST}{n - 1}$$

όπου, n ο αριθμός των παρατηρήσεων. Ο όρος MSE αναλύθηκε παραπάνω (Βλ. παράγραφο 3.9.4)

## 4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία συλλογής των δεδομένων και η μεθοδολογία επεξεργασίας αυτών. Αρχικά, η ενότητα 4.2 αναφέρεται στο οδικό πείραμα προσπεράσεων και στο πείραμα του προσομοιωτή οδήγησης που διενεργήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων. Στη συνέχεια, στην ενότητα 4.3 παρουσιάζεται η επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα των δύο πειραμάτων, ώστε να έρθουν σε μια μορφή κατάλληλη για την τελική στατιστική ανάλυση.

### 4.2 Συλλογή δεδομένων

#### 4.2.1 Συλλογή δεδομένων οδικού πειράματος

Για την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με στοιχεία προσπεράσεων πραγματοποιήθηκε οδικό πείραμα που έλαβε χώρα σε αστικό αυτοκινητόδρομο 3 λωρίδων με όριο ταχύτητας 120km/h. Το πείραμα είχε σκοπό την καταγραφή των γεωγραφικών θέσεων των συμμετεχόντων οχημάτων κατά την διάρκεια πραγματικών προσπεράσεων. Ο προσδιορισμός της θέσης του οχήματος γινόταν με τη βοήθεια ενός ειδικού δέκτη GNSS (Global Navigation Satellite System) τύπου u-blox και δεδομένου πως κατά την διάρκεια των μετρήσεων χρησιμοποιούνταν για κάθε προσπέραση ταυτόχρονα δύο οχήματα, απαιτούνταν τουλάχιστον δύο δέκτες GNSS, ένας για το κάθε όχημα.



**Εικόνα 4.1:** Συσκευή GNSS τύπου u-blox EVK-6T-0 που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα [18].



Οι δέκτες τοποθετούνταν στο κέντρο της οροφής του κάθε οχήματος που συμμετείχε στο πείραμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2.



**Εικόνα 4.2:** Τοποθέτηση δέκτη GNSS στο κέντρο της οροφής οχήματος του πειράματος [18].

Για να λειτουργήσουν οι διατάξεις των συσκευών GNSS τύπου u-blox απαιτούνταν κάθε φορά να συνδέονται με μια ηλεκτρονική συσκευή (Φορητός υπολογιστής, Κινητό Τηλέφωνο, Tablet). Η συσκευή αυτή βρισκόταν μέσα στο όχημα σε διαρκή και ανεμπόδιστη επικοινωνία με το αντίστοιχο όργανο GNSS που λάμβανε συνεχώς δεδομένα και τα αποθήκευε απευθείας σε αυτή.

Οι αρχικές μετρήσεις είχαν αντίστοιχη ακρίβεια με έναν μονοφασικό δέκτη GPS της τάξης των 5m, ενώ στην συνέχεια διορθώθηκαν με την τεχνική Real Time Kinematics και η ακρίβεια βελτιώθηκε προσεγγίζοντας τιμή μικρότερη των 10cm. Ενδεικτικά αναφέρεται πως οι δέκτες είχαν συχνότητα καταγραφής 5Hz-10Hz. Αν είναι γνωστή η ταχύτητα κίνησης και το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο καταγραφών, τότε από το γινόμενο τους προκύπτει η χιλιομετρική απόσταση μεταξύ αυτών. Για ταχύτητα κίνησης ίση με 70km/h και συχνότητα καταγραφής δεδομένων ίση με 10Hz, δηλαδή χρονικό βήμα 0.1s, προκύπτουν δύο διαδοχικά γνωστά σημεία της τροχιάς του οχήματος που απέχουν μεταξύ τους απόσταση 1.94m. Για συχνότητα καταγραφής ίση με 0.2s, η απόσταση αυτή αυξάνεται στα 3.89m, ενώ για χρονικό βήμα 0.3s στις καταγραφές συνεπάγεται απόσταση 5.83m μεταξύ δύο στιγμάτων GPS. Για ταχύτητα κίνησης ίση με 90km/h, οι αντίστοιχες τιμές είναι 2.5m για τα 10Hz, 5m για τα 5Hz και 7.5m για χρονικό βήμα 0.3s. Τέλος, για ταχύτητα κίνησης ίση με 110km/h, οι αντίστοιχες τιμές αυξάνονται ακόμη περισσότερο και συγκεκριμένα γίνονται 3.06m για τα 10Hz, 6.11m για τα 5Hz και 9.17m για χρονικό βήμα 0.3s.

Στο οδικό πείραμα συμμετείχαν άντρες και γυναίκες εθελοντές που κάλυπταν ένα ευρύ φάσμα ηλικιών. Κάθε εθελοντής αντιστοιχήθηκε σε έναν μοναδικό αύξοντα αριθμό οδηγού (Driver α/α) και στη συνέχεια διαμορφώθηκαν τα ζεύγη των οδηγών, οι οποίοι θα πραγματοποιούσαν τις προσπεράσεις μεταξύ τους. Κάθε εθελοντής οδηγούσε το δικό του όχημα για την ενίσχυση της προσπάθειας συλλογής πραγματικών δεδομένων. Η κρίσιμη οδηγία που δόθηκε είχε να κάνει με το σενάριο του πειράματος. Δεδομένου πως το αντικείμενο της έρευνας είχε να κάνει με την προσπέραση σε επαρχιακή οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας, οι οδηγοί έπρεπε να αγνοήσουν το ότι θα κινούνταν στην ασφάλεια του αυτοκινητόδρομου και να έχουν στο μυαλό τους, πως η μεσαία λωρίδα ουσιαστικά αντιπροσώπευε τη λωρίδα των αντίθετα κινούμενων οχημάτων. Συνεπώς, τους ζητήθηκε να μην παραμένουν πολλή ώρα στη μεσαία λωρίδα και να επανέρχονται στη δεξιά λωρίδα σαν να ανέμεναν, πως ανά πάσα στιγμή θα εμφανιζόταν κάποιο όχημα στην αντίθετη κατεύθυνση. Συμπερασματικά οι προσπεράσεις έπρεπε να πραγματοποιούνται γρήγορα, όχι όμως με βιασύνη. Τέλος, οι οδηγοί ενημερώθηκαν, πως θα προσομοιώνονταν δύο διακριτά σενάρια προσπέρασης. Και στα δύο σενάρια το όχημα που προσπερνάται έπρεπε να κινείται με σταθερή ταχύτητα, ενώ εξετάστηκαν αποκλειστικά επιταχυνόμενες προσπεράσεις. Στις προσπεράσεις αυτές, το πίσω όχημα κινούνταν αρχικά με την ίδια ταχύτητα με το προπορευόμενο και σε μικρή απόσταση από αυτό. Έπειτα ξεκινώντας τον ελιγμό, το πίσω όχημα επιτάχυνε ελεύθερα, έως ότου έπιανε ταχύτητα που ήταν κατά 20km/h μεγαλύτερη από την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος. Στη συνέχεια και έως ότου ολοκλήρωνε τον ελιγμό, το πίσω όχημα έπρεπε να διατηρήσει σταθερή την ταχύτητά του. Στο πρώτο σενάριο που προσομοιώθηκε, το όχημα που δεχόταν την προσπέραση έπρεπε να κινείται με 70km/h, ενώ στο δεύτερο σενάριο έπρεπε να κινείται με 90km/h. Έτσι οι μέγιστες ταχύτητες κίνησης του οχήματος που προσπερνούσε ήταν 90km/h και 110km/h αντίστοιχα. Η ακριβής τήρηση αυτών των ταχυτήτων δεν ήταν αυτοσκοπός, αλλά μια ακρίβεια  $\pm 5\text{km/h}$  ήταν ικανοποιητική. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύχθηκε και η αλλοίωση της πραγματικής οδηγικής συμπεριφοράς, καθώς και τα σχετικά σφάλματα από την καταγραφή των ταχυτήτων.

Με την ολοκλήρωση του ελιγμού και την πλήρη είσοδο του οχήματος που προσπερνούσε στην αρχική λωρίδα κυκλοφορίας, ο οδηγός επιβράδυνε μέχρι την κατώτατη επιτρεπόμενη ταχύτητα του σεναρίου. Την ίδια στιγμή, ο οδηγός του πίσω (πλέον) οχήματος έβρισκε την ευκαιρία και πλησίαζε με τη σειρά του σε κατάλληλη απόσταση, ώστε να είναι σε θέση να προσπεράσει με την πρώτη ευκαιρία που θα παρουσιαζόταν. Όταν το μπροστά όχημα έπιανε την κατώτατη επιτρεπόμενη ταχύτητα

ενημέρωνε την ομάδα πως ήταν έτοιμος και η διαδικασία ξεκινούσε από την αρχή, αλλά με αντίστροφους ρόλους αυτή τη φορά.

Συνολικά, στο πείραμα συμμετείχαν 15 εθελοντές οδηγοί, εκ των οποίων οι 9 ήταν άνδρες και οι 6 γυναίκες. Όσον αφορά στην ηλικία, στον ακόλουθο *Πίνακα 4.2* φαίνονται τα πλήρη στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος των εθελοντών οδηγών.

Μέση Τιμή (έτη)	29.2
Διάμεσος (έτη)	25
Τυπική Απόκλιση (έτη)	11.8
Ελάχιστη Τιμή (έτη)	21
Μέγιστη Τιμή (έτη)	58

**Πίνακας 4.1:** Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος των εθελοντών οδηγών ως προς την ηλικία τους.

Αντίστοιχα, στον *Πίνακα 4.3* φαίνονται τα πλήρη στατιστικά χαρακτηριστικά του ίδιου δείγματος, αναφορικά με τα πραγματικά χρόνια οδηγικής εμπειρίας τη στιγμή της εκτέλεσης του πειράματος.

Μέση Τιμή (έτη)	10.0
Διάμεσος (έτη)	5
Τυπική Απόκλιση (έτη)	11.0
Ελάχιστη Τιμή (έτη)	2
Μέγιστη Τιμή (έτη)	42

**Πίνακας 4.2:** Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος των εθελοντών οδηγών ως προς τα χρόνια οδηγικής εμπειρίας.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν συνολικά 26 γύροι της διαδρομής του πειράματος. Σε αυτούς τους γύρους εκτελέστηκαν και καταγράφηκαν συνολικά 250 πλήρεις ελιγμοί προσπέρασης μεταξύ των εκάστοτε δύο οχημάτων του πειράματος.

Όλες οι προσπεράσεις αυτές ήταν επιταχυνόμενες και μονές, δηλαδή δεχόταν προσπέραση μόνο ένα όχημα κάθε φορά και μόνο το όχημα του πειράματος. Περιπτώσεις κατά τις οποίες χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί προσπέραση αργά κινούμενων οχημάτων (π.χ. λεωφορεία) δε λήφθηκαν καθόλου υπόψη. Επιπλέον, περιπτώσεις κατά τις οποίες ακριβώς μπροστά από το υπό προσπέραση όχημα υπήρχε άλλο όχημα και επομένως η προσπέραση θεωρήθηκε διπλή, επίσης αγνοήθηκαν εντελώς. Τέλος, προσπεράσεις που ξεκίνησαν αλλά στην πορεία ματαιώθηκαν για τον οποιοδήποτε λόγο (aborted) δε συμπεριλήφθηκαν στο παραπάνω νούμερο.

Από τις 250 συνολικές προσπεράσεις, οι 129 (51.6%) πραγματοποιήθηκαν στο πρώτο σενάριο, δηλαδή επιταχύνοντας από τα 70km/h έως και τα 90km/h. Οι υπόλοιπες 121 προσπεράσεις (48.4%) πραγματοποιήθηκαν στο δεύτερο σενάριο, δηλαδή επιταχύνοντας από τα 90km/h έως και τα 110km/h.

Το κάθε αρχείο καταγραφής περιλαμβάνει τις συντεταγμένες από τη συνολική κίνηση που πραγματοποιούσε με το όχημα ο εκάστοτε οδηγός. Άρα λοιπόν, αν η τροχιά που προκύπτει από το εκάστοτε Log file αποτυπωθεί γραφικά, η εικόνα αντιστοιχεί σε τόσους πλήρεις γύρους της διαδρομής του πειράματος, όσους εκτέλεσε κάθε φορά ο εκάστοτε οδηγός. Μάλιστα, επειδή η διαδρομή είναι για κάθε γύρο η ίδια, οι τροχιές των διαφόρων γύρων επικαλύπτονται μερικώς ή ολικώς μεταξύ τους.

Είναι προφανές, πως προτού μπορέσει να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των τροχιών, τα δεδομένα από τις καταγραφές πρέπει πρώτα να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία. Η επεξεργασία αυτή διακρίνεται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες. Με την ολοκλήρωση της κάθε κατηγορίας η διαδικασία εστιάζει σε όλο και μικρότερο υποσύνολο των δεδομένων που έχουν καταγραφεί, πραγματοποιείται δηλαδή μείωση δεδομένων (data reduction). Συγκεκριμένα, από το επίπεδο της συνολικής οδήγησης ενός οδηγού γίνεται μετάβαση στο επίπεδο της κάθε μιας προσπέρασης και τελικά στο επίπεδο της κάθε επιμέρους φάσης της προσπέρασης.

Αρχικά, εφαρμόστηκε η τεχνική RTK, ώστε να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η θέση των οχημάτων. Στην συνέχεια έγινε μετασχηματισμός του συστήματος αναφοράς για να μπορέσουν οι συντεταγμένες της τροχιάς να ενταχθούν σε μαθηματικούς τύπους, από την μορφή Μοίρες Δεκαδικά Λεπτά (Degrees Decimal Minutes, DDM) μετατράπηκαν στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (Universal Transverse Mercator, UTM), δηλαδή εκφράστηκαν σε μέτρα των συντεταγμένων των τροχιών.

Έπειτα από κατάλληλο μετασχηματισμό δημιουργείται ένα ειδικά διαμορφωμένο αρχείο Excel το οποίο αποτελεί μέρος της βάσης δεδομένων. Το αρχείο αυτό, με ονομασία "DrivingExperimentDatabase.xlsm" απεικονίζεται στην Εικόνα 4.3. Τα δεδομένα επικολλήθηκαν στις στήλες A, B, C και D αντίστοιχα, ξεκινώντας από τη γραμμή 13. Με αυτό το βήμα ολοκληρώθηκε το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας της τροχιάς, δηλαδή η επεξεργασία στο επίπεδο της συνολικής οδήγησης του ενός οδηγού. Το φύλλο αποθήκευσης των τροχιών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.3 αποτελείται διάφορα μέρη. Στο πάνω μέρος συμπληρώνονται (κίτρινα πεδία) η ημερομηνία που καταγράφηκαν οι εν

λόγω τροχιές, ο αύξων αριθμός του ζεύγους οδηγών (κελί D1) και ο αύξων αριθμός του κάθε ενός από τους δύο οδηγούς που αποτελούσαν το ζεύγος (κελιά F1 και H1). Επειδή σε μια προσπέραση συμμετέχουν δύο οχήματα, αποφασίστηκε ότι είναι βολικότερο οι δύο τροχιές να αποθηκεύονται στο ίδιο φύλλο. Τα δύο οχήματα ονομάστηκαν αυθαίρετα ως “Rover 1” και “Rover 2”.

Rover 1		Rover 2	
Date	31/03/2021	Date	31/03/2021
Start UTC	10:00:00.000	Start UTC	10:00:00.000
Finish UTC	10:00:00.000	Finish UTC	10:00:00.000
Headway	Copy	Headway	Copy
Other Rover UTC	10:00:00.000	Other Rover UTC	10:00:00.000
Copy	Copy	Copy	Copy
Longitude ODSSE7	400160.25	Longitude ODSSE7	400160.25
Latitude ODSSE7	420220.15	Latitude ODSSE7	420220.15
UTC	10:00:00.000	UTC	10:00:00.000
Name	Copy	Name	Copy

Εικόνα 4.3: Ειδικά διαμορφωμένο αρχείο Excel που λειτουργεί ως βάση δεδομένων για τις τροχιές.

Η βάση δεδομένων διαθέτει τη δική της ενσωματωμένη μηχανή αναζήτησης Η περιοχή A3:B5 λειτουργεί ως μηχανή αναζήτησης για την τροχιά του Rover 1. Συγκεκριμένα, για να αναζητηθούν οι συντεταγμένες για μια χρονική στιγμή τοποθετείται στο κελί A4 (ή στο κελί B4) η ακριβής ώρα (UTC, hh:mm:ss.sss) και εμφανίζεται στο κελί A5 (ή στο κελί B5 αντίστοιχα) ο αριθμός της γραμμής που περιέχει τα ζητούμενα δεδομένα. Μάλιστα, εκτός από τα δεδομένα για μια μόνο χρονική στιγμή μπορούν να εξαχθούν ταχύτητα και τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε ένα χρονικό διάστημα. Στο κελί A4 τοποθετείται η ακριβής ώρα έναρξης και στο κελί B4 η ακριβής ώρα λήξης. Έπειτα, πατώντας το κουμπί “Rover 1 – Copy” αντιγράφονται τα δεδομένα που βρίσκονται στις στήλες A, B, C και D και που οριοθετούνται από τις δύο δοθείσες χρονικές στιγμές. Με εντελώς όμοιο τρόπο λειτουργεί και η μηχανή αναζήτησης για την τροχιά του Rover 2, η οποία βρίσκεται στην περιοχή E3:F5.

Μέσω της απεικόνισης των τροχιών στο Google Earth Pro προσδιορίστηκαν προσεγγιστικά η αρχή και το τέλος κάθε προσπέρασης και δημιουργήθηκε μια κωδικοποίηση για το σύνολο των προσπεράσεων του οδικού πειράματος. Πιο αναλυτικά



κάθε προσπέραση ορίστηκε ως μια αλληλουχία στιγμάτων GPS μεταξύ δύο συνοριακών χρονικών στιγμών (αρχή και τέλος προσπάθειας προσπέρασης) και επιπλέον κάθε προσπέραση έχει την μοναδική της κωδική ονομασία. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 4.4. Στη στήλη “Start UTC” τοποθετήθηκε η χρονική στιγμή αρχής και στη στήλη “Finish UTC” τοποθετήθηκε η χρονική στιγμή πέρατος της κάθε προσπέρασης. Στη στήλη “Overtaking ID” τοποθετήθηκε η μοναδική ονομασία της κάθε προσπέρασης, όπου τα τέσσερα πρώτα ψηφία αναφέρονται στο μήνα και την ημέρα, τα δύο επόμενα στον αύξοντα αριθμό του ζεύγους οδηγών, το επόμενο ψηφίο στην αρχική ταχύτητα της προσπέρασης (7 για 70km/h, 9 για 90km/h) και τα τελευταία δύο ψηφία είναι ο αύξοντας αριθμός της προσπέρασης για το συγκεκριμένο ζεύγος οδηγών. Στη στήλη “Com” υπάρχουν ορισμένα σχόλια για την ποιότητα της προσπέρασης ή για την ποιότητα της επεξεργασίας και είναι βοηθητικά. Τέλος, οι προσπεράσεις που έχουν σημειωθεί με ένα βέλος στα αριστερά της στήλης “Overtaking ID” είναι αυτές που τελικά αξιοποιήθηκαν μερικώς ή ολικώς κατά τη μετέπειτα στατιστική ανάλυση. Σημειώνεται, πως ορισμένες προσπεράσεις που δεν έχουν οριστεί με χρόνο εκκίνησης και πέρατος, όπως η προσπέραση “0615.06.7.09”, δεν ήταν αναγνωρίσιμες στο Google Earth Pro ή στο διάγραμμα αζιμούθιων.

**Co-driver Overtaking Data Recording Protocol**

	Overtaking ID	Hunter	Bait	Time	Start UTC	Finish UTC	Zon	Com
	<u>Lap 01 - 70 km/h</u>							
→	0615.06.7.01	16	15	22:38	19:39:00.000	19:39:21.000	1	
→	0615.06.7.02	15	16	22:39	19:39:31.000	19:39:52.500	1	
→	0615.06.7.03	16	15	22:40	19:39:54.000	19:40:21.000	1	4, x φάσεις 4&5 καλές.
→	0615.06.7.04	15	16	22:40	19:40:24.000	19:40:54.200	1	maybe φ4 & φ5 μόνο.
	0615.06.7.05	16	15	22:42	19:42:00	19:42:13	2	κακή GPS
	0615.06.7.06	15	16	22:42	19:42:21	19:42:34	2	6, x
	0615.06.7.07	16	15	22:46	19:47:01.800	19:47:21.000	3	
	0615.06.7.08	15	16	22:55	19:55:27.100	19:55:47.200	4	κακή GPS
	0615.06.7.09	16	15	22:55				not a κακή GPS
→	0615.06.7.10	15	16	22:56	19:56:14	19:56:32	4	αφαιρέθηκε φάση φ1 μόνον
	<u>Lap 09 - 90 km/h</u>							
	0615.06.9.11	16	15	23:06	20:06:26.900	20:06:50.000	1	

Εικόνα 4.4: Παράδειγμα καταγραφής προσπεράσεων που συμπληρώθηκε κατά την διάρκεια του πειράματος [18].

#### 4.2.2 Συλλογή δεδομένων πειράματος προσομοιωτή

Το λογισμικό του προσομοιωτή παρέχει στον μελετητή τη δυνατότητα της δημιουργίας δικού του σεναρίου. Εν προκειμένω, σχεδιάστηκε ένα σενάριο, το οποίο εφαρμόστηκε τρεις φορές, κάθε φορά για διαφορετικές ταχύτητες προσπέρασης.

Το σενάριο έχει ως εξής: Σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων, υπάρχουν τρία προπορευόμενα οχήματα τα οποία έχουν απόσταση μεταξύ τους περίπου 100 μέτρα. Αρχικά, με την έναρξη της καταγραφής των δεδομένων, τόσο τα τρία προπορευόμενα οχήματα όσο και το όχημα του χρήστη έχουν μηδενική ταχύτητα. Έπειτα, τα προπορευόμενα οχήματα αυξάνουν σταδιακά και διατηρούν τις μέγιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες που έχουν οριστεί από τον σχεδιασμό του σεναρίου, οι οποίες ήταν τα 50km/h, 60km/h, 70km/h για την πρώτη, δεύτερη και τρίτη φάση του πειράματος, αντιστοίχως. Στην εκκίνηση του σεναρίου, η οδός περιλαμβάνει αρκετές στροφές, εν συνεχεία αρχίζει μία μεγάλη ευθεία 1500 μέτρων. Τελειώνοντας η ευθεία αυτή σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του σεναρίου.



**Εικόνα 4.5:** Διαδικασία διεξαγωγής πειράματος στον προσομοιωτή.

Οι χρήστες έκαναν μια πρώτη δοκιμαστική προσπάθεια ώστε να εξοικειωθούν με το σύστημα του προσομοιωτή οδήγησης και τις οδηγίες που δίνει ο μελετητής. Οι οδηγίες αυτές ενέχουν δύο κύριους περιορισμούς:

- 1) Ο χρήστης δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το όριο ταχύτητας σε κάθε σενάριο. Συγκεκριμένα, το όριο ταχύτητας του χρήστη είναι 20χλμ/ώρα πάνω από την ταχύτητα των προπορευόμενων οχημάτων. Επί παραδείγματι, στο σενάριο 1 όπου η μέγιστη ταχύτητα προπορευόμενων οχημάτων είναι τα 50χλμ/ώρα, ο χρήστης μπορεί να κινηθεί με όριο τα 70χλμ/ώρα.
- 2) Προκειμένου η καταγραφή των δεδομένων να γίνει απρόσκοπτα, ο χρήστης δεν προχωρά σε ελιγμό προσπέρασης μέχρι τα οχήματα να μπουν στην ευθεία. Διευρύνοντας το προηγούμενο παράδειγμα, στο σενάριο 1, εφόσον ξεκινά η ευθεία, ο χρήστης πλησιάζει το προπορευόμενο όχημα με 50χλμ/ώρα και ενόσω κάνει τον ελιγμό προσπέρασης επιταχύνει μέχρι τα 70χλμ/ώρα.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, το λογισμικό του προσομοιωτή διενεργεί την καταγραφή των δεδομένων. Κάθε σενάριο περιλάμβανε δύο έως τρεις προσπεράσεις. Εν συνόλω, καταγράφηκαν 211 ελιγμοί προσπέρασης από 31 χρήστες. Υπήρξαν ελιγμοί που κρίθηκαν ακατάλληλοι και αποκλείστηκαν από την στατιστική ανάλυση καθώς δεν υπόκειντο στους περιορισμούς.

Οι περιπτώσεις αυτές αφορούν σε ελιγμούς που ξεπερνούσαν τα όρια ταχύτητας κατά 10χλμ/ώρα και σε εκείνους που πραγματοποιήθηκαν πριν ξεκινήσει η ευθεία.

Με την εκκίνηση του οχήματος, ο προσομοιωτής καταγράφει τα δεδομένα που αντλεί σε αρχείο μορφής txt. Η καταγραφή γίνεται 60 φορές το δευτερόλεπτο. Τα αρχεία αυτά ονομάστηκαν Log file και αποτελούνται από 33 στήλες δεδομένων. Όπως είναι φυσικό τα δεδομένα που προκύπτουν από το πείραμα του προσομοιωτή είναι περισσότερα και αναλυτικότερα από εκείνα του οδικού πειράματος, αφού όλα συμβαίνουν σε ένα ψηφιακό περιβάλλον και η καταγραφή οποιασδήποτε πληροφορίας είναι δυνατή από το ίδιο το λογισμικό. Το σύνολο των παραμέτρων που καταγράφει ο προσομοιωτής παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3.



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 the beginning 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 revolution in 1/min
17	Hway	Headway, distance to the ahead driving vehicle in (m)
18	Dleft	Distance to the left road board in (m)
19	Dright	Distance to the right road board in (m)
20	Wheel	Steering wheel position in degrees
21	Thead	Time to Headway, i.e. to collision with the ahead driving vehicle in (s)
22	Ttl	Time to Line crossing, time until the road border line is exceeded, in (s)
23	Ttc	Time to collision (all obstacles), in (s)
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 4.3: Δεδομένα καταγραφής του προσομοιωτή.

Τα παραπάνω δεδομένα συλλέχτηκαν για όλες τις θέσεις κάθε προσπάθειας και αποθηκεύτηκαν μετά από κατάλληλη επεξεργασία σε μία βάση δεδομένων με όνομα “Simulator Database” που χρησιμοποιεί το περιβάλλον του Excel. Η βάση δεδομένων αποτελείται από τόσα υπολογιστικά φύλλα όσα και οι προσπάθειες που έγιναν στο πείραμα. Κάθε προσπάθεια όμως αποτελείται από μια διαδρομή κάποιων χιλιομέτρων, ενώ για την παρούσα διπλωματική χρειάζονται μόνο οι περιοχές των προσπεράσεων. Για την επίλυση του προβλήματος δημιουργήθηκε ένα επιπλέον συγκεντρωτικό φύλλο, το οποίο είχε την λίστα με το σύνολο των προσπαθειών και δίπλα στην καθεμία, την αντίστοιχη ταχύτητα του σεναρίου, τον α/α του οδηγού και τα διαστήματα των σημείων που πραγματοποιούνταν οι προσπεράσεις. Με αυτόν τον τρόπο απλοποιήθηκε η

διαδικασία εύρεσης των δεδομένων για τα διαστήματα ενδιαφέροντος, που δεν είναι άλλα από τα διαστήματα που εκτελούνται οι προσπεράσεις.

Run	Start Date	End Date	Driver ID	Start Point	End Point	Start Point	End Point	Start Point	End Point	Comments
1	19-12-19	19-12-19	1	100	100	100	100	100	100	
2	19-12-19	19-12-19	1	100	100	100	100	100	100	
3	19-12-19	19-12-19	1	100	100	100	100	100	100	
4	19-12-19	19-12-19	2	100	100	100	100	100	100	
5	19-12-19	19-12-19	2	100	100	100	100	100	100	
6	19-12-19	19-12-19	3	100	100	100	100	100	100	
7	19-12-19	19-12-19	3	100	100	100	100	100	100	
8	19-12-19	19-12-19	3	100	100	100	100	100	100	
9	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
10	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
11	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
12	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
13	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
14	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
15	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
16	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
17	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
18	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
19	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
20	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
21	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
22	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
23	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
24	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
25	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
26	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
27	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
28	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
29	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
30	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
31	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
32	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
33	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
34	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
35	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
36	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
37	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
38	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
39	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
40	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
41	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
42	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
43	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
44	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
45	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
46	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
47	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
48	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
49	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
50	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
51	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
52	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
53	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
54	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
55	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
56	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
57	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
58	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
59	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
60	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
61	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
62	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
63	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
64	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
65	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
66	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
67	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
68	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
69	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
70	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
71	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
72	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
73	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
74	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
75	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
76	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
77	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
78	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
79	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
80	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
81	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
82	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
83	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
84	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
85	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
86	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
87	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
88	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
89	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
90	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
91	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
92	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
93	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
94	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
95	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
96	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
97	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
98	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
99	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	
100	19-12-19	19-12-19	4	100	100	100	100	100	100	

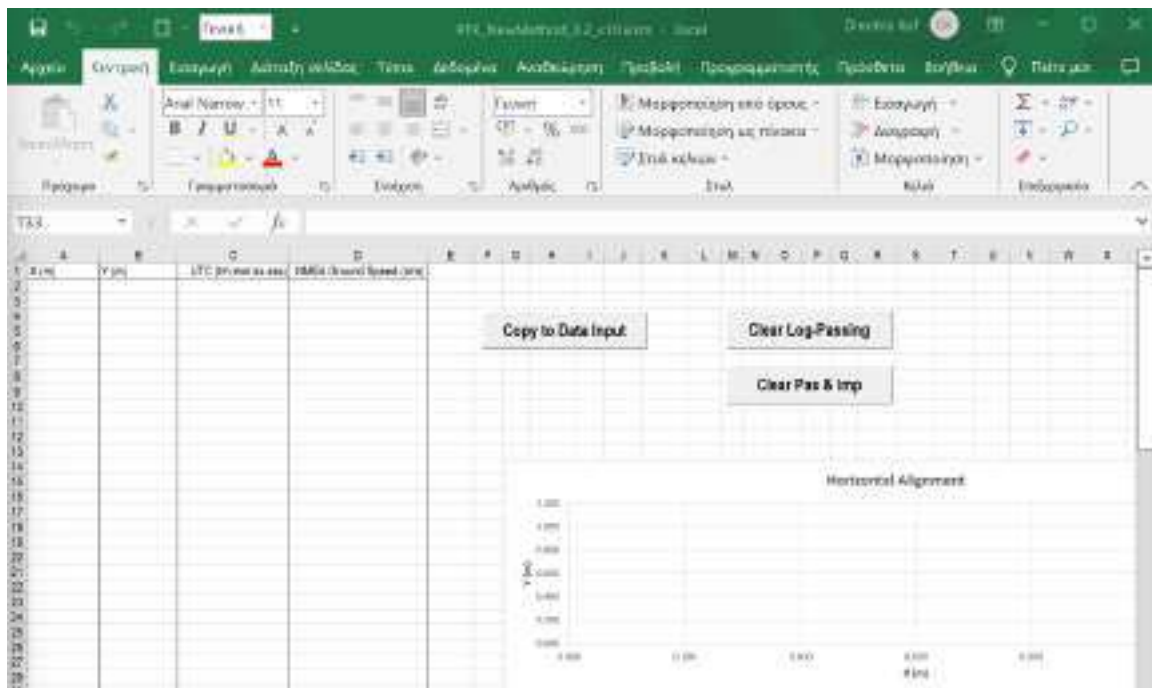
Εικόνα 4.6: Αρχείο Excel “Simulator Database” με την βάση δεδομένων για το πείραμα του προσομοιωτή.

### 4.3 Επεξεργασία στοιχείων - Μεθοδολογία

#### 4.3.1 Επεξεργασία δεδομένων οδικού πειράματος

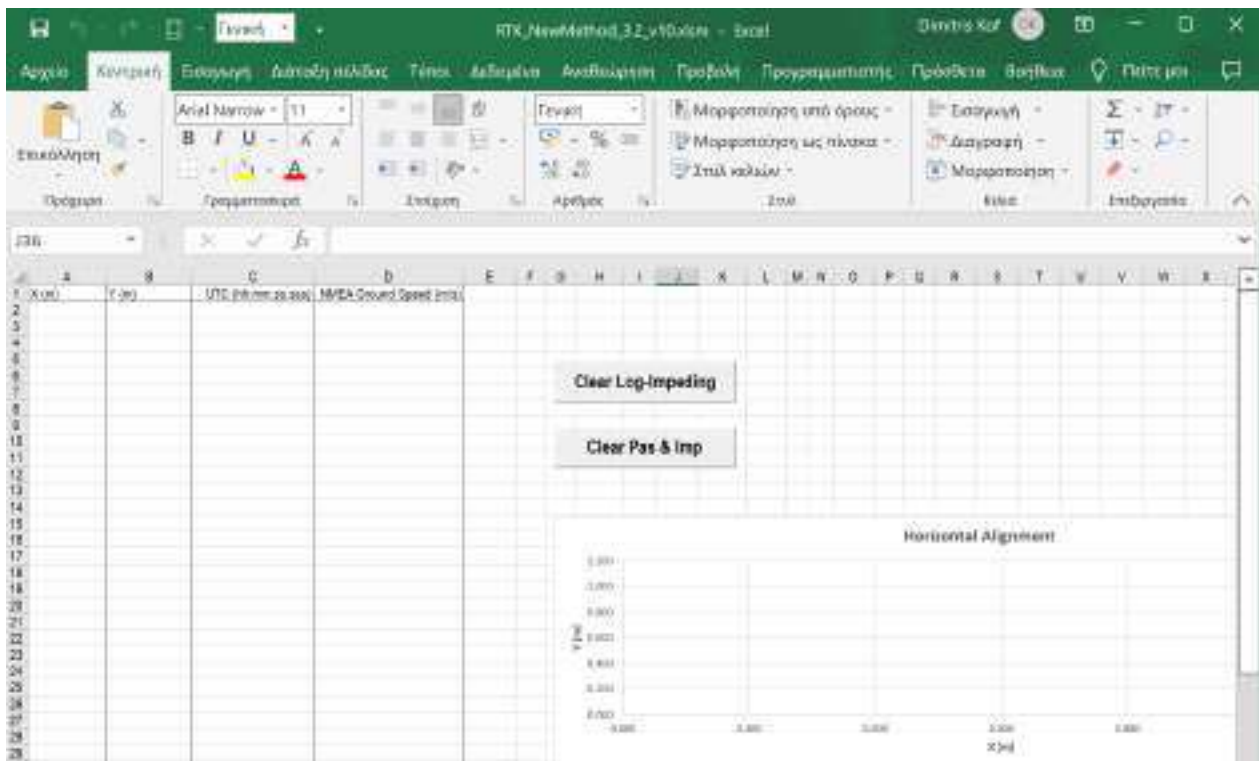
- Υπολογιστικά Φύλλα Log-Passing και Log-Impeding

Για την επεξεργασία των δεδομένων του πειράματος δημιουργήθηκε ένα αρχείο Excel. Το αρχείο αυτό αποτέλεσε το βασικό αρχείο επεξεργασίας για κάθε διαθέσιμη προσπέραση της βάσης δεδομένων και έχει δομηθεί έτσι ώστε να χρησιμοποιεί σε αρκετές περιπτώσεις την γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications (VBA), με σκοπό την μείωση του χρόνου επαναληπτικών διαδικασιών. Αναπτύχθηκε έτσι ώστε να δέχεται ως πρωτογενή δεδομένα τα X, Y, Time UTC και NMEA Ground Speed των δύο οχημάτων που συμμετέχουν στην προσπέραση (Όχημα που προσπερνάει – Όχημα που δέχεται την προσπέραση), δεδομένα που λαμβάνονται από την βάση δεδομένων τροχιών που έχει δημιουργηθεί. Στις εικόνες 4.7 και 4.8 απεικονίζονται οι περιοχές επικόλλησης των δεδομένων εισόδου (Στήλες A – D) για το όχημα που προσπερνάει “Passing” και το όχημα που δέχεται την προσπέραση “Impeding”.



Εικόνα 4.7: Υπολογιστικό φύλλο Excel με ονομασία “Log-Passing”, διαμορφωμένο για την εισαγωγή δεδομένων του οχήματος που προσπερνάει.





Εικόνα 4.8: Υπολογιστικό φύλλο Excel με ονομασία “Log-Impeding”, διαμορφωμένο για την εισαγωγή δεδομένων του οχήματος που δέχεται την προσπέραση.

Οι ενδείξεις “Clear Log-Passing”, “Clear Log-Impending” και “Clear Pas & Imp” που εμφανίζονται στις Εικόνες 4.7 και 4.8 είναι αυτοματοποιημένες εντολές που χρησιμοποιούνται για την άμεση διαγραφή των επικολλημένων πρωτογενών δεδομένων, με σκοπό τον καθαρισμό του αρχείου Excel και την προετοιμασία του για την εξέταση της επόμενης προσπέρασης.

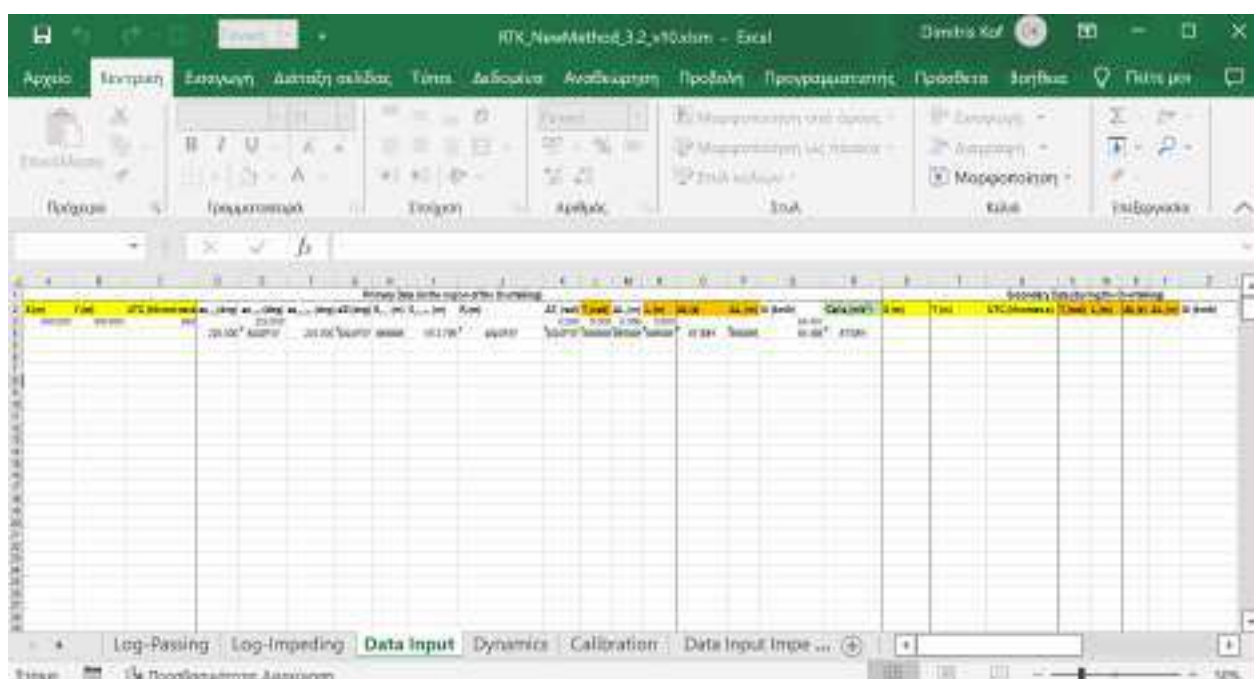


Εικόνα 4.9: Παράδειγμα Υπολογιστικού φύλλου Excel συμπληρωμένου με πρωτογενή δεδομένα.

Το διάγραμμα με τίτλο “Horizontal Alignment” αποτελεί την αποτύπωση των διαδοχικών θέσεων του ελιγμού προσπέρασης σε ένα επίπεδο. Διαθέτει στον κατακόρυφο άξονα τις θέσεις Y και στον οριζόντιο τις θέσεις X των καταγεγραμμένων θέσεων του οχήματος της υπό εξέτασης προσπέρασης.

- **Υπολογιστικό Φύλλο Data Input**

Για την συνέχεια της επεξεργασίας χρησιμοποιείται η εντολή “Copy to Data Input” (Εικόνα 4.9) η οποία αντιγράφει το σύνολο των δεδομένων που υπάρχουν στις στήλες A, B, C, D του υπολογιστικού φύλλου με τίτλο “Log-Passing” στις στήλες A, B, C και Q του φύλλου με τίτλο “Data Input” αντίστοιχα (Εικόνα 4.10).

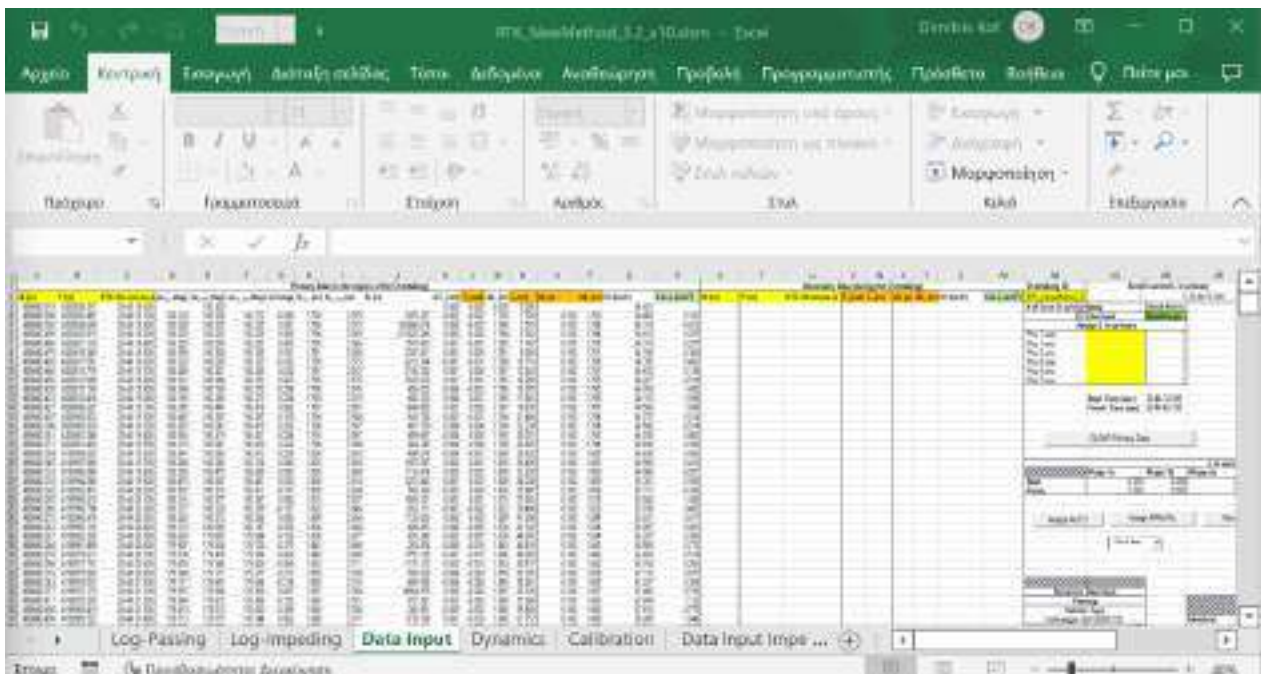


**Εικόνα 4.10:** Υπολογιστικό φύλλο με τίτλο “Data input” χωρίς δεδομένα εισόδου.

Στο υπολογιστικό φύλλο “Data Input” έγιναν όλοι οι απαραίτητοι μαθηματικοί υπολογισμοί για την μόρφωση του διαγράμματος αζιμούθιων. Στην Εικόνα 4.10 φαίνεται η περιοχή που γινόταν η επικόλληση των δεδομένων εισόδου (κίτρινα κελιά), καθώς και οι τύποι στα βοηθητικά κελιά που πραγματοποιούσαν τους μαθηματικούς υπολογισμούς για την εύρεση της χιλιομετρικής θέσης και του αζιμούθιου. Σημειώνεται, πως οι τιμές “999” ήταν προσωρινές, έως ότου εισάγονταν οι πραγματικές τιμές εισόδου και χρησιμοποιούνταν ως τιμές αναμονής για να μην προκύπτουν σφάλματα στους τύπους. Για τον υπολογισμό του διαγράμματος αζιμούθιων χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι 3.1 - 3.11, αφού η τροχιά ενός οχήματος αποτελεί ουσιαστικά μια αλληλουχία σημείων στο επίπεδο.

Μία ιδιαιτερότητα σε σχέση με τη θεωρητικό υπόβαθρο είναι, πως στη συγκεκριμένη εφαρμογή η διεύθυνση κίνησης του οχήματος ήταν πολύ συχνά σε παράλληλη περιοχή σε σχέση με τον άξονα Βορρά - Νότου και τύχαινε οι τετμημένες δύο διαδοχικών στιγμάτων GPS να έχουν ακριβώς την ίδια τιμή. Αυτό συνέβαινε, επειδή η διαδρομή του πειράματος διαθέτει μια μεγάλη ευθεία που είναι προσανατολισμένη στον άξονα Βορρά-Νότου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, επειδή το ημίτονο ισούται με μηδέν, οι 3.5 α και 3.6 α εμφάνιζαν σφάλμα, καθώς ο παρονομαστής γινόταν ίσος με μηδέν. Κατά συνέπεια και η 3.7 εμφάνιζε σφάλμα και η ακτίνα δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστεί. Για αυτό χρησιμοποιήθηκε συνθήκη που όταν εντόπιζε αυτό το σφάλμα χρησιμοποιούσε τις μαθηματικά ισοδύναμες σχέσεις 3.5 β και 3.6 β.

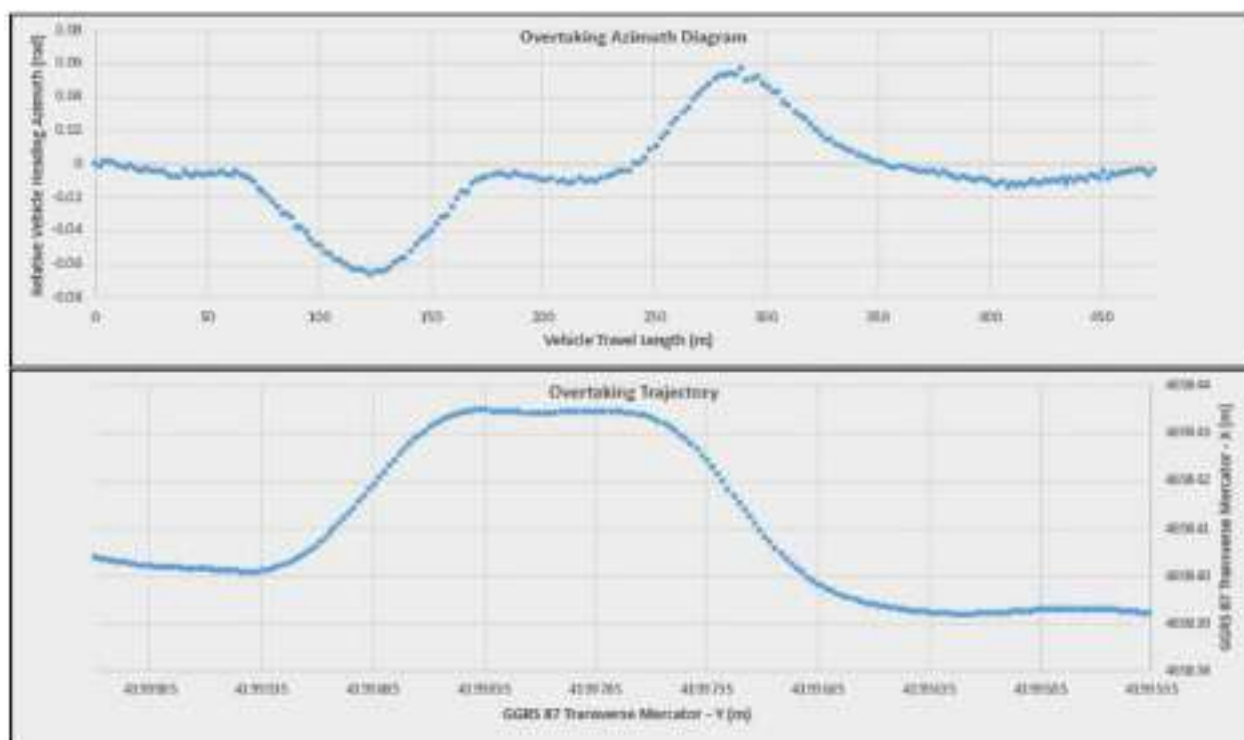
Στην Εικόνα 4.11 φαίνεται ένα παράδειγμα του φύλλου “Data Input” που έχει συμπληρωθεί με δεδομένα μιας προσπέρασης και έχει πραγματοποιήσει τους υπολογισμούς για τις παραμέτρους που μορφώνουν το διάγραμμα αζιμούθιων. Τα δεδομένα στις στήλες D - P υπολογίζονται όπως αναφέρθηκε από τους τύπους 3.1-3.11 και με απλούς υπολογισμούς από τα δεδομένα των στηλών A - C. Οι στήλες Q και R είναι η ταχύτητα σε km/h και η επιτάχυνση τη δεδομένη χρονική στιγμή t. Η ταχύτητα δίνεται ως δεδομένο ενώ η επιτάχυνση υπολογίζεται ( $\Delta V/\Delta T$ ).



**Εικόνα 4.11:** Υπολογιστικό φύλλο με τίτλο “Data input” μετά την επικόλληση δεδομένων εισόδου από το φύλλο Log-Passing.

Εν συνεχεία, το Γράφημα 4.1 απεικονίζει (πάνω) το παραγόμενο διάγραμμα αζιμούθιων ενός οχήματος που εκτελεί ελιγμό προσπέρασης και (κάτω) την τροχιά που διαγράφει στην οριζοντιογραφία κατά το ίδιο ακριβώς χρονικό διάστημα. Δεν υφίσταται

κάποια μαθηματική αντιστοίχιση μεταξύ των τετμημένων των δύο γραφημάτων, αλλά γίνεται αντιληπτή αν ληφθεί υπόψιν το θεωρητικό υπόβαθρο του γωνιακού διαγράμματος ή αντιστοιχία των μεταβολών των δύο γραφημάτων.



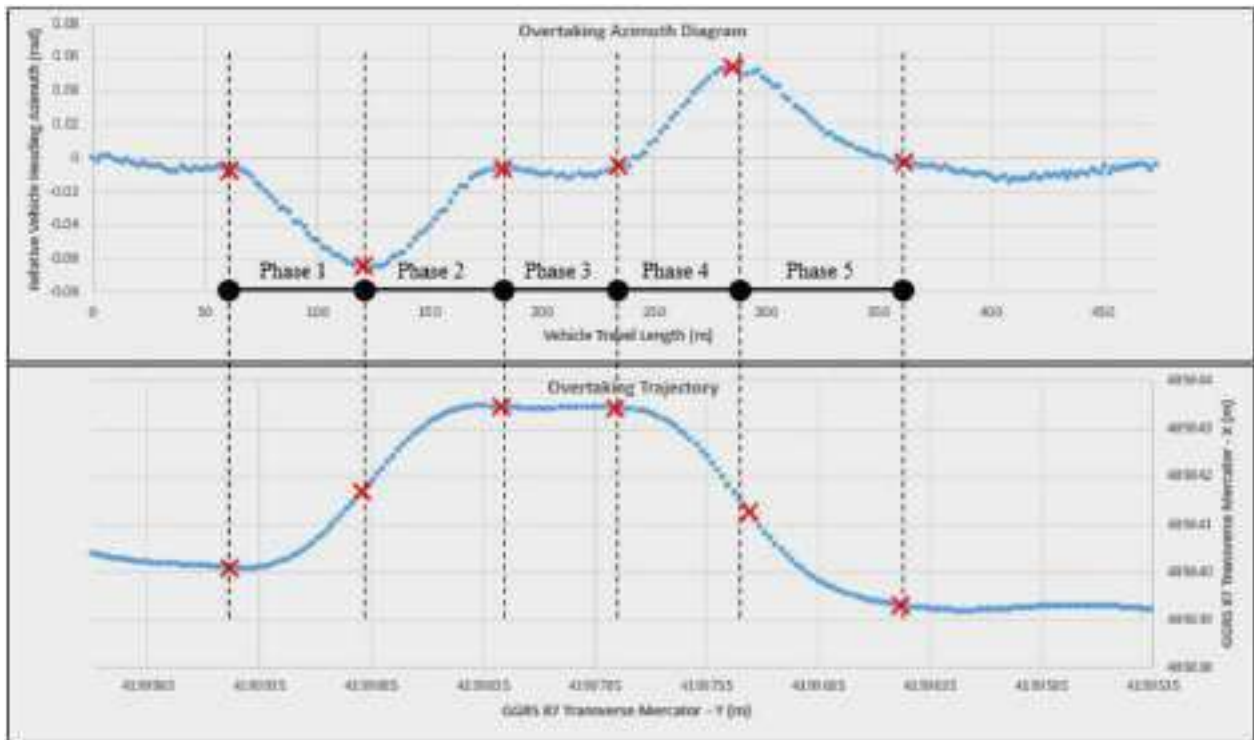
**Γράφημα 4.1:** Το διάγραμμα αζιμούθιων (πάνω) και η αντίστοιχη οριζοντιογραφία (κάτω) μιας τυπικής προσπέρασης.

Στο γράφημα της τροχιάς του οχήματος το σύστημα αξόνων είναι μη ορθοκανονικό. Συγκεκριμένα, ο κατακόρυφος άξονας είναι βαθμονομημένος σε μεγαλύτερη κλίμακα από τον οριζόντιο, κατά μια όχι προεπιλεγμένη τιμή. Με αυτόν τον τρόπο γίνονται άμεσα αντιληπτά τα σημεία εκκίνησης και τέρατος της προσπέρασης και να είναι ευδιάκριτο το ίχνος του ελιγμού στο εν λόγω γράφημα.

Παρατηρώντας το Γράφημα 4.1 εξάγονται ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Αρχικά, όσον αφορά στην οριζοντιογραφία φαίνεται αμέσως, πως μια προσπέραση αποτελείται από δύο αλλαγές λωρίδας, μεταξύ των οποίων μεσολαβεί μια ευθυγραμμία. Όσον αφορά στο διάγραμμα αζιμούθιων, όμως, η απεικόνιση είναι ελαφρώς διαφορετική. Συγκεκριμένα, αναγνωρίζονται διαδοχικά ένας κλάδος που κατέρχεται, ένας κλάδος που ανέρχεται, μια οριζόντια ευθεία, ένας κλάδος που ανέρχεται και τέλος ένας κλάδος που κατέρχεται. Επομένως έγινε η θεώρηση, πως μια προσπέραση αποτελείται από πέντε διακριτές φάσεις (phases), οι οποίες φαίνονται στο ακόλουθο Γράφημα 4.2, του οποίου το υπόβαθρο προέρχεται από το Γράφημα 4.1. Η 1<sup>η</sup> Φάση ξεκινάει, όταν ο οδηγός στρίβει προς τα αριστερά το τιμόνι του οχήματος για να εξέλθει από τη λωρίδα του και ολοκληρώνεται, όταν ο οδηγός ξεκινήσει να το στρίβει προς τα δεξιά. Αυτή η ενέργεια



σηματοδοτεί την έναρξη της 2<sup>ης</sup> Φάσης κατά την οποία το όχημα ευθυγραμμίζεται με το διαμήκη άξονα της αντίθετης λωρίδας κυκλοφορίας. Κατά τη 3<sup>η</sup> Φάση το όχημα κινείται αποκλειστικά ευθύγραμμα, παράλληλα με το όχημα που προσπερνάται, έως ότου ο οδηγός κρίνει, πως είναι ασφαλές να επιστρέψει στην αρχική λωρίδα κυκλοφορίας. Κατόπιν, πραγματοποιούνται η 4<sup>η</sup> και η 5<sup>η</sup> Φάση της προσπέρασης, οι οποίες είναι όμοιες και συμμετρικές με τη 1<sup>η</sup> και τη 2<sup>η</sup> Φάση, με τη μόνη διαφορά πως κατά τη 4<sup>η</sup> Φάση το όχημα στρίβει δεξιόστροφα και κατά τη 5<sup>η</sup> Φάση στρίβει αριστερόστροφα.



Γράφημα 4.2: Διαχωρισμός της προσπέρασης σε 5 επιμέρους φάσεις [18].

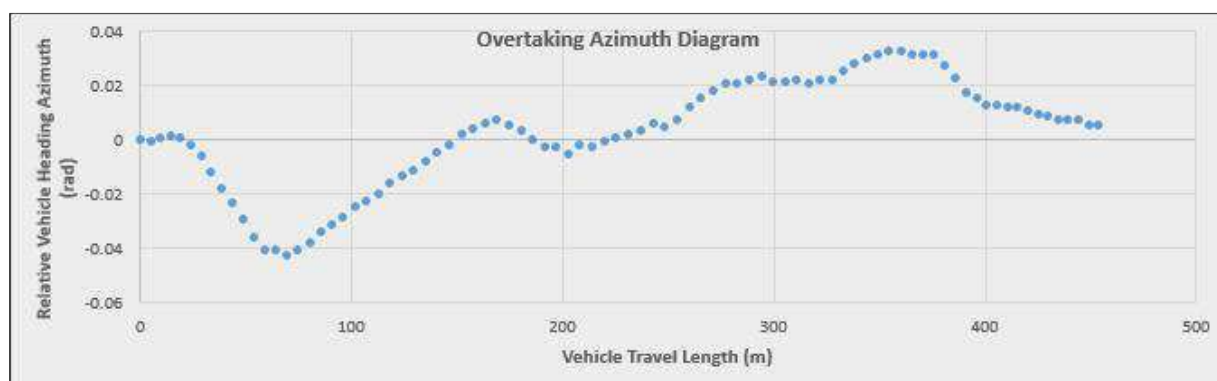
Όπως είναι φυσικό, ορισμένες προσπεράσεις παρατηρήθηκε πως παρουσίασαν υποδεέστερης ποιότητας απεικονίσεις στο διάγραμμα αζιμούθιων. Το σφάλμα αυτό αποδόθηκε σε δυο παράγοντες υποβάθμισης της ποιότητάς τους. Ο βασικός παράγοντας ήταν ο μη ακριβής προσδιορισμός της θέσης των οχημάτων, εξαιτίας κάποιου υπερυψωμένου εμποδίου στην περιοχή του πειράματος ή της κακής επίλυσης με την τεχνική RTK. Ως αποτέλεσμα τα στίγματα GPS εμπεριείχαν μεγάλη απόκλιση από την πραγματική θέση του οχήματος και η επίλυση των εξισώσεων οδηγούσε σε διάγραμμα αζιμούθιων που απέκλινε από την αναμενόμενη μορφή που δείχτηκε στο Γράφημα 4.1. Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας κατά την εκτέλεση του οδικού πειράματος ήταν οι ίδιοι οι οδηγοί. Το πείραμα στηρίχτηκε σε εθελοντές οδηγούς, οι οποίοι δεν ήταν μυημένοι στο σκοπό της παρούσας εργασίας. Συνεπώς, δεν μπορούσαν να γνωρίζουν ποια προσπέραση θεωρείται ιδανική, γεγονός που οδήγησε στην εκτέλεση προσπεράσεων



που βρέθηκε πως αποκλίνουν από τη θεωρητική μοντελοποίηση που απεικονίζεται στο Γράφημα 4.1. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του διαγράμματος αζιμούθιων, από τη σκοπιά της οδοποιίας. Οι υποβαθμισμένες προσπεράσεις δεν χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία δεδομένων γιατί θεωρήθηκε πως δεν θα οδηγούσαν στο επιθυμητό αποτέλεσμα προτυποποίησης της τροχιάς προσπέρασης. Παραδείγματα υποβαθμισμένων διαγραμμάτων αζιμούθιων που οφείλονται στους αναφερόμενους παράγοντες παρουσιάζονται στα Γραφήματα 4.3 και 4.4.



**Γράφημα 4.3:** Υποβάθμιση της ποιότητας του διαγράμματος αζιμούθιων που οφείλεται σε σφάλμα του GPS.



**Γράφημα 4.4:** Υποβάθμιση της ποιότητας του διαγράμματος αζιμούθιων που οφείλεται στην οδηγική συμπεριφορά.

Αμέσως μετά τη μόρφωση του διαγράμματος αζιμούθιων καθορίστηκαν τα σημεία αρχής και πέρατος για κάθε μια από τις πέντε φάσεις της προσπέρασης. Η επιλογή αυτή στηρίχθηκε στην “κρίση του μηχανικού”. Σημειώνεται, πως κατά τον καθορισμό των επιμέρους φάσεων πραγματοποιήθηκε η θεμελιώδης παραδοχή, πως το σημείο πέρατος της προηγούμενης φάσης ταυτίζεται με το σημείο αρχής της επόμενης. Επιπλέον, η Φάση 3 ορίστηκε ως συνάρτηση της Φάσης 2 και της Φάσης 4 και συγκεκριμένα ως το διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στο σημείο πέρατος της μιας και το σημείο εκκίνησης της άλλης. Αυτό είχε ως συνέπεια, η Φάση 3 να έχει ορισμένες φορές μηδενικό μήκος και έτσι πρακτικά να μην συναντάται στην εν λόγω προσπέραση. Αυτό σημαίνει πως ορισμένες φορές ο οδηγός που προσπερνούσε δεν πραγματοποίησε καθόλου ευθύγραμμη κίνηση

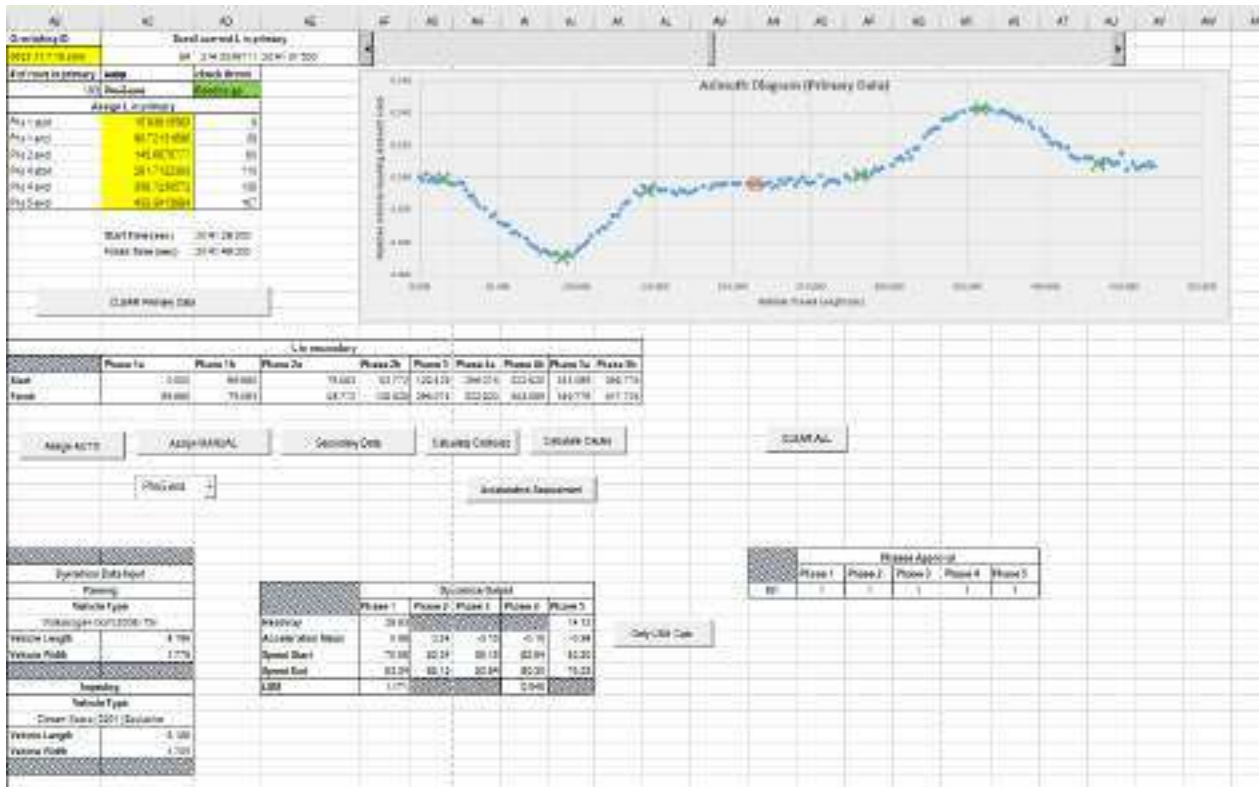
στην αντίθετη λωρίδα. Το ότι η Φάση 3 προέκυψε ορισμένες φορές μηδενική δεν επηρέασε στη στατιστική ανάλυση, καθώς ούτως ή άλλως αποτελεί μια βοηθητική φάση.

Συνεπώς, για την κάθε προσπέραση απαιτήθηκε ο προσδιορισμός συνολικά έξι σημείων ενδιαφέροντος Phase 1 Start, Phase 1 End, Phase 2 End, Phase 4 Start, Phase 4 End, Phase 5 End. Ο καθορισμός των επιμέρους φάσεων πραγματοποιήθηκε πάνω στο διάγραμμα αζιμούθιων της κάθε προσπέρασης και η επιλογή του κάθε σημείου επισημαινόταν με ένα πράσινο “X” πάνω στο διάγραμμα. Στο Γράφημα 4.5 απεικονίζεται το διάγραμμα αζιμούθιων μιας προσπέρασης, πάνω στο οποίο διακρίνονται με πράσινο “X” τα έξι σημεία που διαχωρίζουν τον ελιγμό της προσπέρασης σε επιμέρους φάσεις. Τα έξι σημεία αυτά που καθορίστηκαν για κάθε προσπέραση που χρησιμοποιήθηκε.

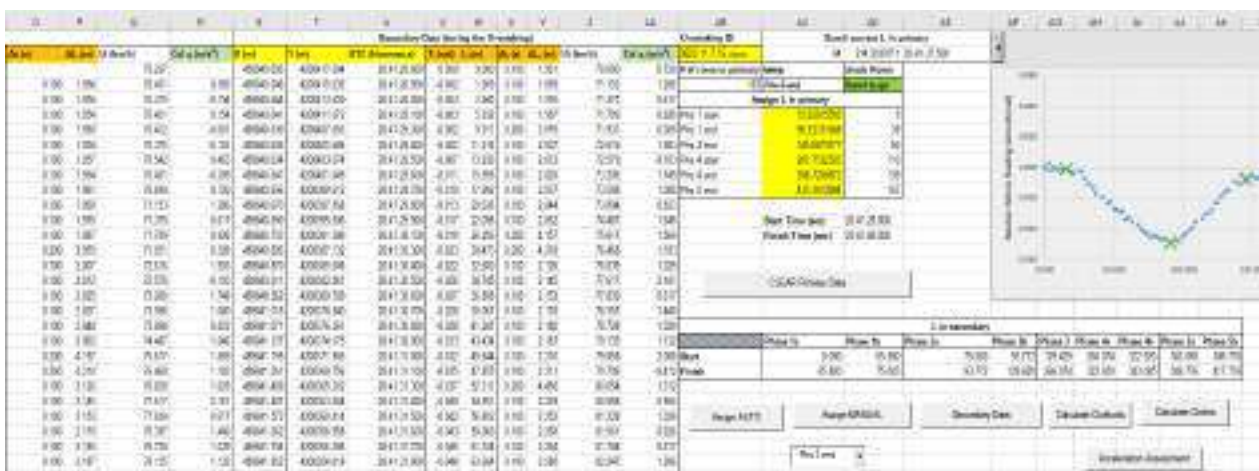


**Γράφημα 4.5:** Καθορισμός των επιμέρους φάσεων μιας προσπέρασης στο διάγραμμα αζιμούθιων.

Η ανάθεση των επιμέρους φάσεων γίνεται με τη μακροεντολή “Assign Auto” ή οποία ορίζει το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο πορτοκαλί επιλογέας ως το επόμενο σημείο ενδιαφέροντος. Η ανάθεση γίνεται με την σειρά που αναφέρθηκαν τα σημεία ενδιαφέροντος προηγουμένως. Αν πρέπει να γίνει αλλαγή για ένα συγκεκριμένο σημείο, αυτό γίνεται με το “Assign Manual” αφού του υποδειχθεί ποιο από τα έξι σημεία ζητείται να αλλαχτεί. Αφού γίνει σωστή επιλογή των μοντέλων των οχημάτων που συμμετείχαν στο πείραμα όπως φαίνεται αριστερά κάτω στην Εικόνα 4.12, χρησιμοποιείται η εντολή ‘Secondary data’. Η εντολή αυτή υλοποιεί την δευτερογενή μείωση του υπό εξέταση διαστήματος και απομονώνει τα δεδομένα που αφορούν τον καθαρό ελιγμό προσπέρασης. Τα παραπάνω φαίνονται στις Εικόνες 4.12 και 4.13. Οι εντολές “Calculate Clothoids”, “Calculate Circles” και “Acceleration Assessment” πραγματοποιούν υπολογισμούς επόμενων υπολογιστικών φύλλων που αναλύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.



Εικόνα 4.12: Περιβάλλον Excel που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή των 5 φάσεων της προσπέρασης πάνω στο διάγραμμα αζιμούθιων.



Εικόνα 4.13: Τα δεδομένα του καθαρού ελιγμού της προσπέρασης μετά την δευτερογενή μείωση αποθηκευμένα στις στήλες S έως AA.

### • Υπολογιστικό Φύλλο Dynamics

Στο συγκεκριμένο φύλλο δίνεται έμφαση στις πλευρικές και στις εγκάρσιες αποστάσεις των οχημάτων κάθε χρονική στιγμή  $t$  της προσπέρασης. Στις πρώτες στήλες εμφανίζονται τα δευτερογενή δεδομένα του φύλλου “Data Input” για τα δύο οχήματα. Προκειμένου να συγκριθούν οι αποστάσεις μεταξύ των δύο οχημάτων χρειάζεται να συγκρίνονται οι θέσεις τους την ίδια στιγμή. Παρατηρείται όμως πως εξαιτίας των διαφορετικών οργάνων GNSS που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε όχημα η πυκνότητα των

δεδομένων διαφέρει. Για να εξασφαλιστεί πως οι ζητούμενες αποστάσεις θα μετρηθούν την ίδια χρονική στιγμή UTC, αποφασίστηκε να φιλτραριστούν τα δεδομένα του οχήματος που προσπερνάται μέσω γραμμικής παρεμβολής, με βάση το χρονικό διάστημα του οχήματος που προσπερνά. Στην Εικόνα 4.14 φαίνονται στις στήλες G-L τα αρχικά δεδομένα και στις στήλες M-R τα δεδομένα που προέκυψαν μετά το φιλτράρισμα.

Passing Secondary Data during the Overtaking						Impeding Secondary Data during the Overtaking						Impeding Secondary Data during the Overtaking					
X [m]	Y [m]	Time [sec]	U [km/h]	Cal at (m/s2)	L [m]	X [m]	Y [m]	Time [sec]	U [km/h]	Cal at (m/s2)	L [m]	X [m]	Y [m]	Time [sec]	U [km/h]	Cal at (m/s2)	L [m]
408035.344	4108118.877	0.100	84.376	-0.504	1.000	408035.211	4108074.051	0.100	83.576	-0.514	1.000	408035.211	4108074.051	0.100	83.576	-0.505	1.000
408035.345	4108114.400	0.100	84.784	-1.080	1.750	408035.425	4108072.318	0.100	83.265	-0.514	1.750	408035.425	4108072.318	0.100	83.265	-0.514	1.750
408035.350	4108112.400	0.200	84.591	-0.483	3.000	408035.425	4108070.555	0.200	83.485	-0.251	3.000	408035.425	4108070.555	0.200	83.485	-0.251	3.000
408035.361	4108110.600	0.300	84.745	-0.433	5.380	408035.345	4108068.762	0.300	83.834	-0.312	5.380	408035.345	4108068.762	0.300	83.834	-0.312	5.380
408035.374	4108108.800	0.400	84.989	-0.910	7.450	408035.380	4108067.029	0.400	83.383	-0.989	7.450	408035.380	4108067.029	0.400	83.383	-0.989	7.450
408035.384	4108107.000	0.500	84.811	-1.181	8.900	408035.270	4108065.262	0.500	83.721	-0.935	8.900	408035.270	4108065.262	0.500	83.721	-0.935	8.900
408035.402	4108105.200	0.600	85.040	-0.580	13.790	408035.270	4108063.497	0.600	83.745	-0.351	13.790	408035.270	4108063.497	0.600	83.745	-0.351	13.790
408035.425	4108103.400	0.800	85.545	-0.617	14.424	408035.385	4108061.722	0.700	83.745	-0.380	12.350	408035.480	4108059.947	0.800	84.026	-0.939	14.135
408035.451	4108098.600	0.900	85.542	-0.133	18.243	408035.485	4108059.947	0.800	84.376	-0.826	14.135	408035.485	4108058.171	0.900	83.910	-0.469	16.910
408035.510	4108096.100	1.100	86.379	-0.146	19.805	408035.485	4108058.171	0.900	83.912	-0.465	15.513	408035.482	4108056.416	1.100	84.023	-0.939	16.463
408035.540	4108094.300	1.300	86.842	-0.183	21.725	408035.485	4108056.396	1.000	84.380	-0.412	17.051	408035.475	4108052.840	1.300	84.078	-0.154	21.241
408035.581	4108092.512	1.500	86.338	-0.023	23.901	408035.482	4108054.618	1.100	84.323	-0.105	18.452	408035.485	4108051.056	1.500	84.153	-0.306	23.028
408035.640	4108090.712	1.700	86.237	-0.309	25.407	408035.475	4108052.840	1.200	84.376	-0.154	21.241	408035.485	4108049.274	1.700	84.381	-0.412	24.887
408035.690	4108088.920	1.900	86.921	-1.235	27.251	408035.485	4108051.056	1.300	84.355	-0.206	23.028	408035.444	4108047.462	1.900	84.284	-0.939	26.588
408035.702	4108086.873	1.800	86.888	-0.023	29.308	408035.455	4108049.274	1.400	84.301	-0.112	24.887	408035.434	4108045.706	1.800	84.284	-0.008	28.572
408035.804	4108085.268	1.800	87.009	-0.081	32.818	408035.441	4108047.462	1.400	84.284	-0.105	26.689	408035.418	4108042.130	1.800	84.284	-0.002	31.042
408035.843	4108083.598	1.800	87.384	-1.080	34.688	408035.434	4108045.706	1.400	84.284	-0.100	28.177	408035.405	4108040.361	1.800	84.308	-0.206	33.738
408035.868	4108081.930	2.000	87.338	-0.194	36.038	408035.435	4108043.929	1.700	84.282	-0.051	36.151	408035.396	4108038.581	2.000	84.431	-0.257	36.525
408035.954	4108077.868	2.100	87.580	-0.617	38.431	408035.415	4108042.139	1.800	84.284	-0.051	37.842	408035.387	4108036.773	2.100	84.375	-0.154	37.889
408035.977	4108075.763	2.200	87.581	-0.133	40.301	408035.405	4108040.361	1.900	84.338	-0.206	38.738	408035.377	4108034.989	2.200	84.368	-0.051	39.089
408035.978	4108073.622	2.400	87.746	-0.298	44.014	408035.396	4108038.581	2.000	84.331	-0.257	36.573	408035.368	4108033.811	2.400	84.375	-0.308	42.672
408035.988	4108071.520	2.500	88.431	-1.083	45.912	408035.387	4108036.773	2.100	84.375	-0.154	38.305	408035.341	4108032.030	2.500	84.431	-0.154	44.463
408035.990	4108069.237	2.600	88.264	-0.403	47.802	408035.377	4108034.989	2.200	84.355	-0.251	38.952	408035.332	4108031.209	2.600	84.488	-0.939	46.282
408035.991	4108066.440	2.800	88.330	-0.133	51.694	408035.368	4108033.058	2.300	84.485	-0.380	40.854	408035.315	4108029.401	2.800	84.448	-0.051	46.931
408035.995	4108062.528	2.900	88.956	-1.150	53.590	408035.357	4108031.209	2.400	84.375	-0.350	42.671	408035.300	4108027.481	2.900	84.431	-0.051	51.023
408035.941	4108060.818	3.000	89.727	-1.035	55.490	408035.341	4108029.401	2.500	84.431	-0.154	44.463	408035.289	4108025.670	3.000	84.508	-0.357	53.480

Εικόνα 4.14: Περιβάλλον Excel από το υπολογιστικό φύλλο “Dynamics”.

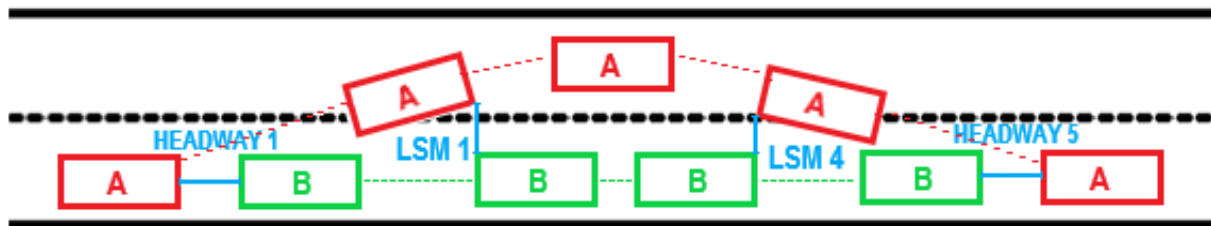
Ιδιαίτερη σημασία έχει αποδοθεί στην καθαρή πλευρική απόσταση μεταξύ οχήματος που πραγματοποιεί τον ελιγμό της προσπέρασης και του οχήματος που προσπερνάται, ή αλλιώς το πλευρικό περιθώριο ασφάλειας (Lateral Safety Margin – LSM). Η ποσοτικοποίηση του αποτελεί σημαντικό μέτρο αξιολόγησης της ποιότητας της προσπέρασης.

Σημαντικό ζήτημα είναι η αποφυγή σύγκρουσης των οχημάτων τη στιγμή που το όχημα εισέρχεται στην αντίθετη λωρίδα και όταν εξέρχεται και επιστρέφει στην αρχική του λωρίδα. Οι μεταβλητές αυτές είναι:

- **Headway 1:** Η «καθαρή» απόσταση του οχήματος που πραγματοποιεί τη προσπέραση σε σχέση με το όχημα αυτό που θα προσπεράσει κατά την εκκίνηση του ελιγμού (Φάση 1).
- **Headway 5:** Η «καθαρή» απόσταση του οχήματος που έχει πραγματοποιήσει την προσπέραση με το όχημα που έχει προσπεράσει (Φάση 5).



- **LSM1:** Το πλευρικό περιθώριο ασφάλειας που δημιουργείται όταν η μπροστινή πλευρά του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση έρθει στην ευθεία με την πίσω πλευρά του οχήματος που προσπερνάται (στο τέλος της Φάσης 2).
- **LSM4:** Το πλευρικό περιθώριο ασφάλειας που δημιουργείται όταν το όχημα έχει προσπεράσει αλλά η πίσω όψη του οχήματος είναι στην ίδια ευθεία με τη μπροστινή πλευρά του οχήματος που προσπεράστηκε (στην αρχή της Φάσης 4).



Εικόνα 4.15: Αποστάσεις οχημάτων κατά την διάρκεια της προσπέρασης.

Στην Εικόνα 4.16 παρουσιάζεται το περιβάλλον του φύλλου “Dynamics” που έγιναν οι απαραίτητοι γεωμετρικοί υπολογισμοί μεταξύ των δύο οχημάτων, ώστε να προκύψουν τελικά οι ζητούμενες μεταβλητές.

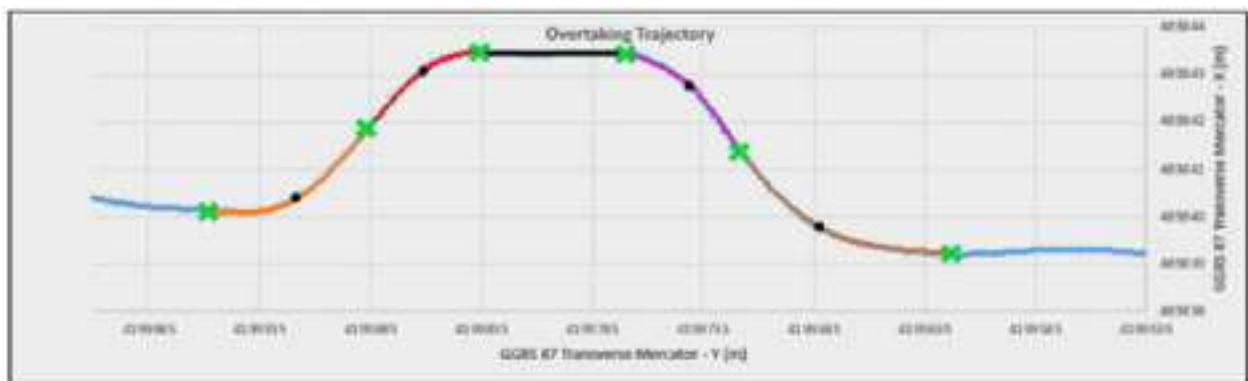
Εικόνα 4.16: Περιβάλλον Excel από την συνέχεια του υπολογιστικού φύλλου “Dynamics”.

### • Υπολογιστικό Φύλλο Clothoid Analysis

Μετά από μελέτη του διαγράμματος των αζιμούθιων παρατηρήθηκε μικρή καμπύλωση της αλληλουχίας των σημείων σε όλες σχεδόν τις επιμέρους φάσεις, όλων σχεδόν των προσπεράσεων. Αποφασίστηκε έτσι να πραγματοποιηθεί μια πολυωνυμική παλινδρόμηση δευτέρου βαθμού, με σκοπό να προσαρμοστεί στα δεδομένα μια παραβολή δευτέρου βαθμού.

Αναζητήθηκε επίσης ένα μαθηματικό προσομοίωμα για τον ελιγμό της προσπέρασης. Η πιο απλή γεωμετρική καμπύλη, η οποία διαθέτει συνάρτηση καμπυλότητας συνεχής ως προς το μήκος είναι η κλωθοειδής.

Η απεικόνιση μιας κλωθοειδούς καμπύλης στο διάγραμμα αξιμούθιων δεν είναι άλλο από μια παραβολή δευτέρου βαθμού. Επομένως και οι δύο προσεγγίσεις ουσιαστικά συγκλίνουν στο ίδιο συμπέρασμα. Έγινε έτσι η σκέψη ο ελιγμός προσπέρασης να μοντελοποιηθεί με διαδοχικά τόξα κλωθοειδών.



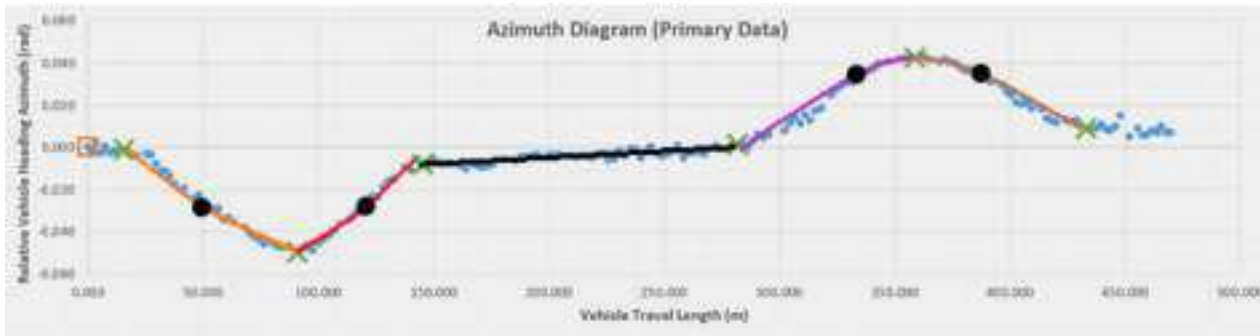
**Γράφημα 4.6:** Ενδεικτική παρουσίαση των φάσεων της προσπέρασης που προσομοιώνονται με κλωθοειδείς κορυφές καθώς και των σημείων διαχωρισμού σε υπό-φάσεις.

Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4.6, κάθε επιμέρους φάση της προσπέρασης θεωρήθηκε ότι αποτελεί μια καμπύλη κλωθοειδούς κορυφής, η οποία μοιάζει με τυπική κορυφή της οποίας όμως το κυκλικό τόξο είναι σημειακό. Με άλλα λόγια, για κάθε φάση χρησιμοποιήθηκε η αλληλουχία τόξο κλωθοειδούς εισόδου - τόξο κλωθοειδούς εξόδου.

Σε επέκταση των παραπάνω, αν δύο διαδοχικές φάσεις εξεταστούν μαζί, τότε τα τέσσερα διαδοχικά τόξα κλωθοειδούς συνιστούν μια αλληλουχία κλωθοειδής κορυφής - αντίρροπη κλωθοειδής κορυφής. Συμπερασματικά, ένας ελιγμός αλλαγής λωρίδας θεωρήθηκε ότι αποτελείται από τέσσερα διαδοχικά τόξα κλωθοειδούς. Συνολικά η διαδικασία της προσπέρασης προσομοιάστηκε από τέσσερα και τέσσερα τόξα κλωθοειδούς που συνδέονται μεταξύ τους με ένα ευθύγραμμο τμήμα όταν η 3<sup>η</sup> Φάση υπάρχει και δεν ισούται με μηδέν.

Επειδή η κάθε φάση αποφασίστηκε να αποτελείται από δύο τόξα κλωθοειδούς, απαιτήθηκε μια μικρή αναθεώρηση στο πρότυπο της προσπέρασης για να μπορέσει να συμβαδίζει με τον αυξημένο αριθμό των διακριτών γεωμετρικών στοιχείων. Ειδικότερα, κάθε φάση της προσπέρασης διαχωρίστηκε σε δύο επιμέρους υπό-φάσεις (sub-phases), η κάθε μια από τις οποίες θα περιγραφόταν μαθηματικά από ένα τόξο κλωθοειδούς. Επειδή, όμως, στο διάγραμμα αξιμούθιων δεν είναι σαφές το ακριβές σημείο μετάβασης

από τη μια υπό-φάση στην επόμενη, το σημείο αυτό του διαχωρισμού δεν καθοριζόταν από το χρήστη. Τα σημεία αυτά αποφασίστηκε να καθορίζονται με μαθηματικό τρόπο. Αυτό είχε ως συνέπεια, τα μήκη των δύο υπό-φάσεων που αποτελούν μια φάση να μην είναι γνωστά κατά τη δευτερογενή μείωση δεδομένων.



**Γράφημα 4.7:** Ενδεικτική παρουσίαση των φάσεων της προσπέρασης που προσομοιώνονται με κλωθοειδείς κορυφές καθώς και των σημείων διαχωρισμού σε υπό-φάσεις στο διάγραμμα αζιμούθιων.

Με δεδομένα τα σημεία αρχής και πέρατος κάθε φάσης θεωρήθηκε, πως ένα από τα ενδιαμέσα σημεία του διαγράμματος αζιμούθιων αποτελούσε το συνοριακό σημείο των υπό-φάσεων. Πραγματοποιήθηκε έτσι για κάθε φάση μια επαναληπτική διαδικασία με παλινδρομήσεις για όλα τα δυνατά ζεύγη μηκών των δύο υπό-φάσεων. Μαζί με τις εξισώσεις, οι οποίες ήταν της μορφής  $T=a_1L_2+b_1L+c_1$  και  $T=a_2L_2+b_2L+c_2$ , καταγράφηκαν και οι δύο συντελεστές  $R^2$  που αντιστοιχούσαν σε αυτές. Στη συνέχεια, αθροίστηκαν οι συντελεστές προσδιορισμού των δύο υπό-φάσεων (έστω  $R^2_a$  και  $R^2_b$ ) για όλες τις περιπτώσεις. Ο συνδυασμός που απέδωσε τη μέγιστη τιμή  $R^2_a+R^2_b$  θεωρήθηκε ο ορθότερος προς χρήση και το σημείο εκείνο, για το οποίο παρατηρήθηκε η μέγιστη τιμή του αθροίσματος αποτέλεσε το τελικό σημείο διαχωρισμού των υπό-φάσεων.

Όσον αφορά στη σημειακή ακτίνα, αυτή αποδεικνύεται πως είναι ανεξάρτητη της επιλογής του σημείου μετάβασης από την κλωθοειδή εισόδου στην κλωθοειδή εξόδου. Ο υπολογισμός της πραγματοποιείται μαθηματικά, αξιοποιώντας μόνο τη συνολική μεταβολή του αζιμούθιου και τη συνολική μεταβολή της χιλιομετρικής θέσης κατά τη διάρκεια μιας φάσης της προσπέρασης.

Συγκεκριμένα για την κάθε φάση ισχύει:

$$R = \frac{L_{\text{final}} - L_{\text{start}}}{2(\tau_{\text{final}} - \tau_{\text{start}})} \quad (4.1)$$

όπου:

$R$  (m) η (αλγεβρική) σημειακή ακτίνα ανάμεσα στην κλωθοειδή εισόδου και την κλωθοειδή εξόδου της φάσης

$L_{start}$  (m) η χιλιομετρική θέση ως προς τα δευτερογενή δεδομένα του σημείου αρχής της φάσης

$L_{final}$  (m) η χιλιομετρική θέση ως προς τα δευτερογενή δεδομένα του σημείου πέρατος της φάσης

$T_{start}$  (rad) το αζιμούθιο του οχήματος ως προς τα δευτερογενή δεδομένα στο σημείο αρχής της φάσης

$T_{final}$  (rad) το αζιμούθιο του οχήματος ως προς τα δευτερογενή δεδομένα στο σημείο πέρατος της φάσης.

Ύστερα από τον καθορισμό του εσωτερικού σημείου διαχωρισμού των δύο υπό-φάσεων μέσω της πολυωνυμικής παλινδρόμησης, έγιναν γνωστά η χιλιομετρική του θέση και το αζιμούθιο του οχήματος σε αυτή και υπολογίζονται περισσότερες παράμετροι για τις κλωθοειδείς, για την πλήρη γεωμετρική περιγραφή τους.

Η παράμετρος της κλωθοειδούς εισόδου στην υπό-φάση A,  $A_a$  (m) :

$$A_a = \sqrt{|R| (L_{middle} - L_{start})} \quad (4.2)$$

Η παράμετρος της κλωθοειδούς εξόδου στην υπό-φάση B,  $A_b$  (m) :

$$A_b = \sqrt{|R| (L_{final} - L_{middle})} \quad (4.3)$$

όπου,

$|R|$  (m) η απόλυτη τιμή της σημειακής ακτίνας

$L_{middle}$  (m) η χιλιομετρική θέση ως προς τα δευτερογενή δεδομένα του εσωτερικού συνοριακού σημείου των δύο υπό-φάσεων

Το μήκος της κλωθοειδούς εισόδου στην υπό-φάση A,  $L_a$  (m) :

$$L_a = \frac{A_a^2}{|R|} \quad (4.4)$$

Το μήκος της κλωθοειδούς εξόδου στην υπό-φάση B,  $L_b$  (m) :



$$L_b = \frac{A_b^2}{|R|} \quad (4.5)$$

Η γωνία αλλαγής διεύθυνσης της κλωθοειδούς εισόδου στην υπό-φάση A,  $\tau_a$  (rad) :

$$\tau_a = \frac{L_a}{2|R|} \quad (4.6)$$

Η γωνία αλλαγής διεύθυνσης της κλωθοειδούς εξόδου στην υπό-φάση B,  $\tau_b$  (rad):

$$\tau_b = \frac{L_b}{2|R|} \quad (4.7)$$

Οι παραπάνω παράμετροι αφορούν μια κλωθοειδή καμπύλη. Όμως, υπολογίζονται και ορισμένες παράμετροι που αφορούν συνολικά στην τυπική καμπύλη της κάθε φάσης της προσπέρασης. Επαληθεύεται με τον υπολογισμό τους πως πρόκειται για κλωθοειδή κορυφής αφού η επίκεντρη γωνία και το μήκος του κυκλικού τόξου ισούνται με μηδέν, επομένως δεν υπάρχει κυκλικό τόξο ενδιάμεσα από τις κλωθοειδείς.

Συγκεκριμένα, υπολογίζονται:

Η επίκεντρη γωνία που βαίνει στο κυκλικό τόξο της τυπικής καμπύλης,  $\alpha$ (rad) :

$$\alpha = |\tau_{final} - \tau_{start}| - \tau_a - \tau_b \quad (4.8)$$

Το μήκος του κυκλικού τόξου της τυπικής καμπύλης,  $b$  (m):

$$b = \alpha \cdot |R| \quad (4.9)$$

Στην Εικόνα 4.17 απεικονίζεται μέρος από το φύλλο εργασίας “Clothoid Analysis”. Για να είναι πιο ευδιάκριτη η διάταξη παρουσιάζονται μόνο τα κελιά που αφορούν τη Φάση 1 και τη Φάση 2 της προσπέρασης. Οι αντίστοιχες περιοχές που αφορούν στις υπόλοιπες τρεις φάσεις έχουν ακριβώς την ίδια διάταξη. Στις στήλες με τις πορτοκαλί επικεφαλίδες τοποθετούνταν τα δευτερογενή δεδομένα του διαγράμματος αζιμούθιων που αφορούσαν στην εκάστοτε φάση, ενώ οι στήλες E - H και M - P χρησιμοποιούνταν ως βοηθητικές για την επαναληπτική διαδικασία της πολυωνυμικής παλινδρόμησης. Στις στήλες D και L φαίνονται τα αποτελέσματα των μαθηματικών τύπων που αναφέρονται και παραπάνω.

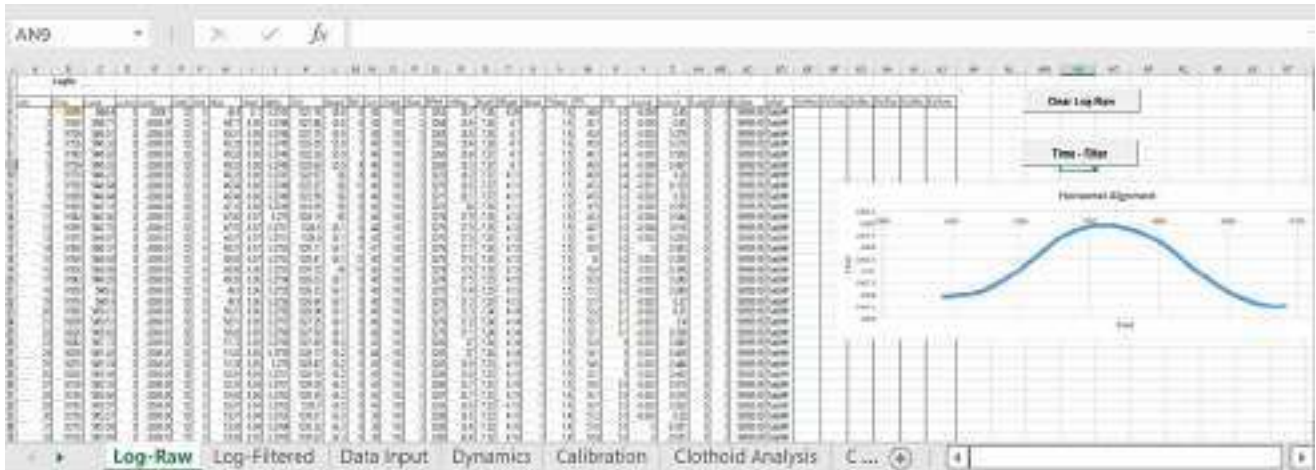
Εικόνα 4.17: Απεικόνιση του υπολογιστικού φύλλου “Clothoid Analysis”.

#### 4.3.2 Επεξεργασία δεδομένων πειράματος προσομοιωτή

Όπως αναφέρεται και στο υπό-κεφάλαιο 4.2.2, τα δεδομένα που συλλέγονται από τον προσομοιωτή είναι σαφώς περισσότερα και αναλυτικότερα από εκείνα του οδικού πειράματος. Για την επεξεργασία των δεδομένων του προσομοιωτή ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με εκείνη του οδικού πειράματος, με κάποιες διαφοροποιήσεις λόγω της διαφοράς των πρωτογενών δεδομένων.

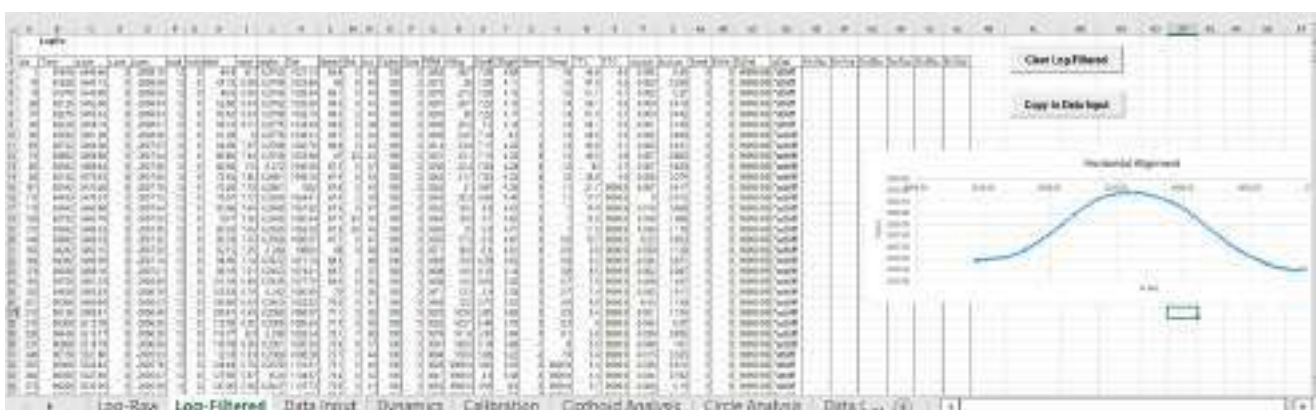
Δημιουργήθηκε ένα πανομοιότυπο αρχείο Excel με αυτό του κεφαλαίου 4.3.1 που αποτέλεσε το βασικό αρχείο επεξεργασίας για όλες τις προσπεράσεις. Η Εισαγωγή των δεδομένων για την υπό εξέταση προσπέραση γινόταν μέσω του φύλλου “Log-Raw” (Εικόνα 4.18), αφού πρώτα είχαν αντιγραφεί από την βάση δεδομένων του προσομοιωτή. Παρατηρήθηκε πως η πυκνή καταγραφή των δεδομένων από τον προσομοιωτή (60 φορές το δευτερόλεπτο) απέδιδε μεγάλο πλήθος δεδομένων, μεγεθύνοντας έτσι τον χρόνο των υπολογισμών. Για το λόγο αυτό δοκιμάστηκε να φιλτραριστούν τα δεδομένα μέσω κώδικα VBA έτσι ώστε να γίνεται η καταγραφή τους κάθε 0,3 δευτερόλεπτα. Η απομείωση των δεδομένων παρατηρήθηκε πως μείωνε την διάρκεια των υπολογισμών χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα. Έτσι αποφασίστηκε αυτή η διαδικασία να γίνει για

όλες τις υπό εξέταση προσπεράσεις. Το χρονικό βήμα εφαρμοζόταν στα δεδομένα μέσω της μακροεντολής “Time Filter”.

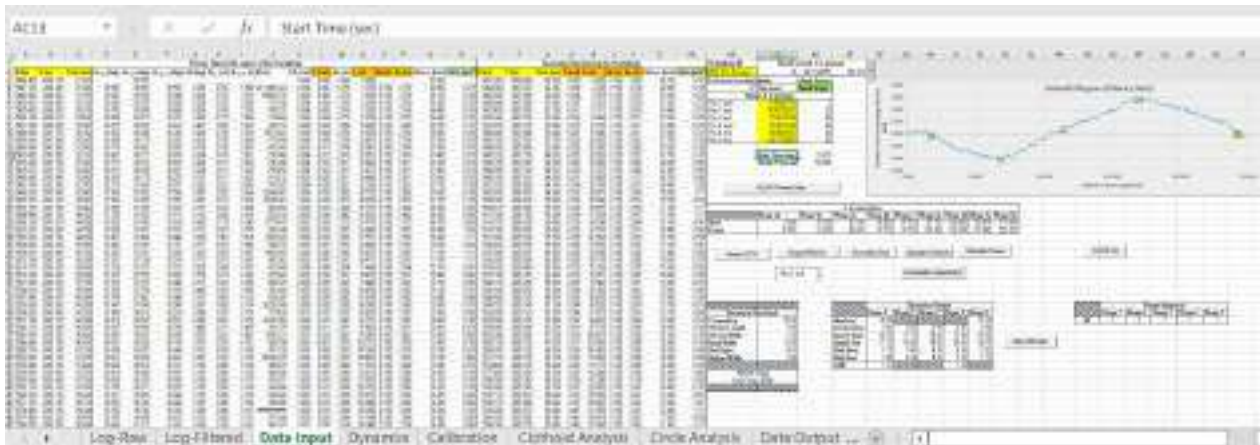


Εικόνα 4.18: Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Log-Raw”.

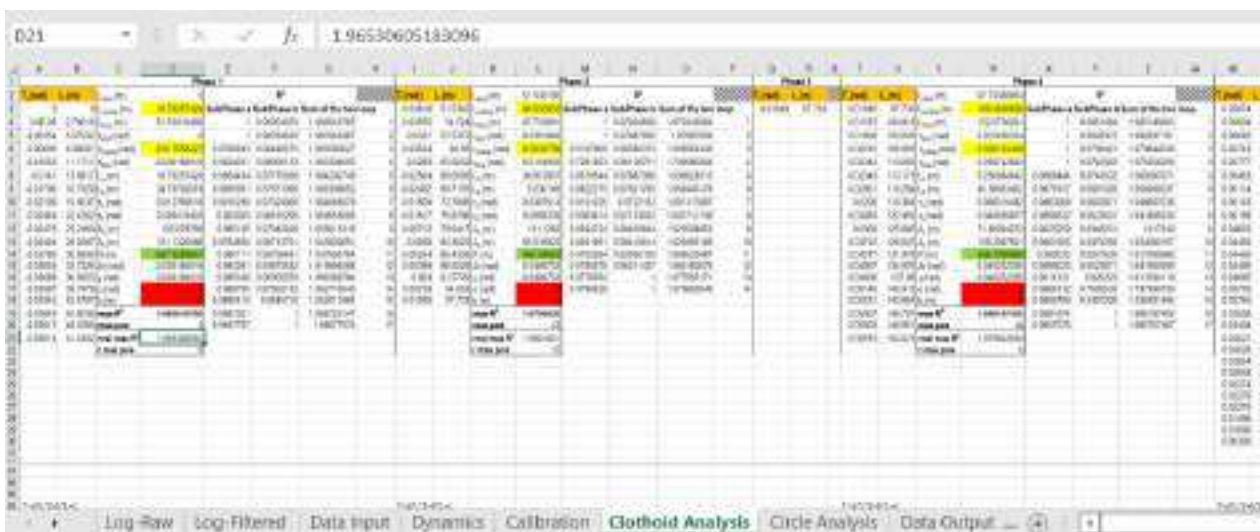
Τα φιλτραρισμένα δεδομένα οδηγούνται στο φύλλο “Log-Filtered” και από εκεί μέσω της εντολής “Copy to Data Input” δίνονται τα απαραίτητα δεδομένα στο φύλλο Data Input. Τα υπολογιστικά φύλλα “Data Input” και “Calculate Clothoids” λειτουργούν με το ίδιο τρόπο που περιγράφηκαν και για το οδικό πείραμα.



Εικόνα 4.19: Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Log-Filtered”.



Εικόνα 4.20: Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου "Data Input".



Εικόνα 4.21: Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου "Calculate Clothoids".

Αναφορικά με τους υπολογισμούς που γίνονται στην καρτέλα "Dynamics" αξίζει να σημειωθεί πως ακολουθείται η ίδια λογική με λιγότερη πολυπλοκότητα από ότι στους υπολογισμούς του οδικού πειράματος. Αυτό συμβαίνει γιατί ο προσομοιωτής δεν παράγει ξεχωριστά δεδομένα για το όχημα που προσπερνάται, αλλά γνωρίζει ανά πάσα στιγμή που βρίσκεται το όχημα του οδηγού στον χώρο σε σχέση με εκείνο. Επομένως υπολογισμοί πλευρικών και εγκάρσιων αποστάσεων που προηγουμένως προέκυψαν με την χρήση γεωμετρικών τύπων, πλέον υπάρχουν ως δεδομένα. Δίνεται έμφαση στις παρακάτω αποστάσεις των οχημάτων κάθε χρονική στιγμή  $t$  της προσπάθειας, αναλυτικά:

- Καθαρές εγκάρσιες αποστάσεις των οχημάτων που συμμετέχουν στην προσπάθεια (Headway).
- Οι πλευρικές αποστάσεις των οχημάτων από τον άξονα της οδού ( $D_{left}$ )



- Οι πλευρικές αποστάσεις των οχημάτων από το αριστερό άκρο της οδού ( $lat_k$ )
- Οι καθαρές πλευρικές αποστάσεις μεταξύ οχήματος που πραγματοποιεί τον ελιγμό της προσπέρασης και του οχήματος που προσπερνάται (LSM).
- Η γωνία στροφής του τιμονιού κατά τη διάρκεια του ελιγμού, μετρούμενη σε μοίρες (Wheel).

Εικόνα 4.22: Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου “Dynamics”.

Όπου καθαρές αποστάσεις είναι η απόσταση από τα άκρα των οχημάτων και όχι το κεντροειδές τους. Μέσω των παραπάνω αποστάσεων υπολογίζονται όπως έγινε και για το οδικό πείραμα, οι σημαντικές μεταβλητές Headway 1, Headway 5, LSM1, LSM4.

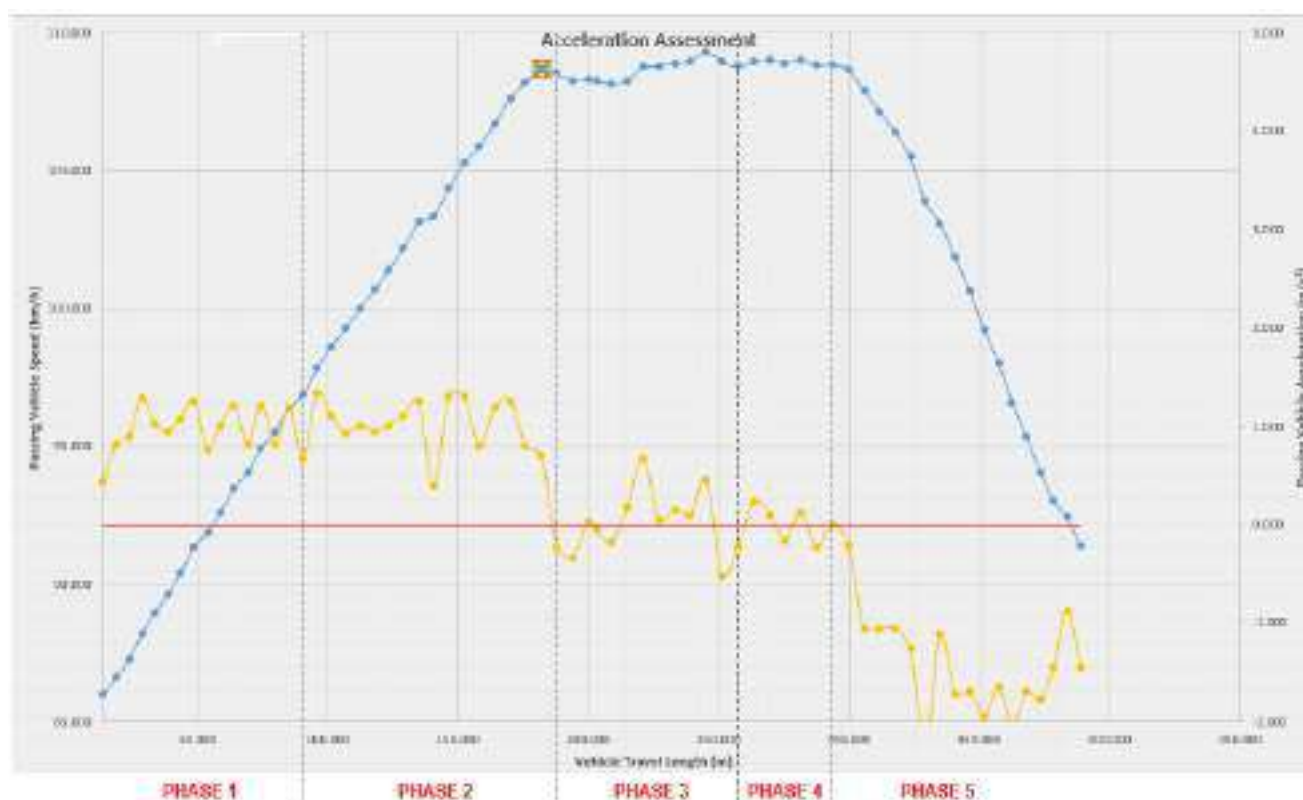
#### 4.3.3 Επεξεργασία δεδομένων κοινή και για τα δύο πειράματα

##### • Υπολογιστικό Φύλλο Calibration

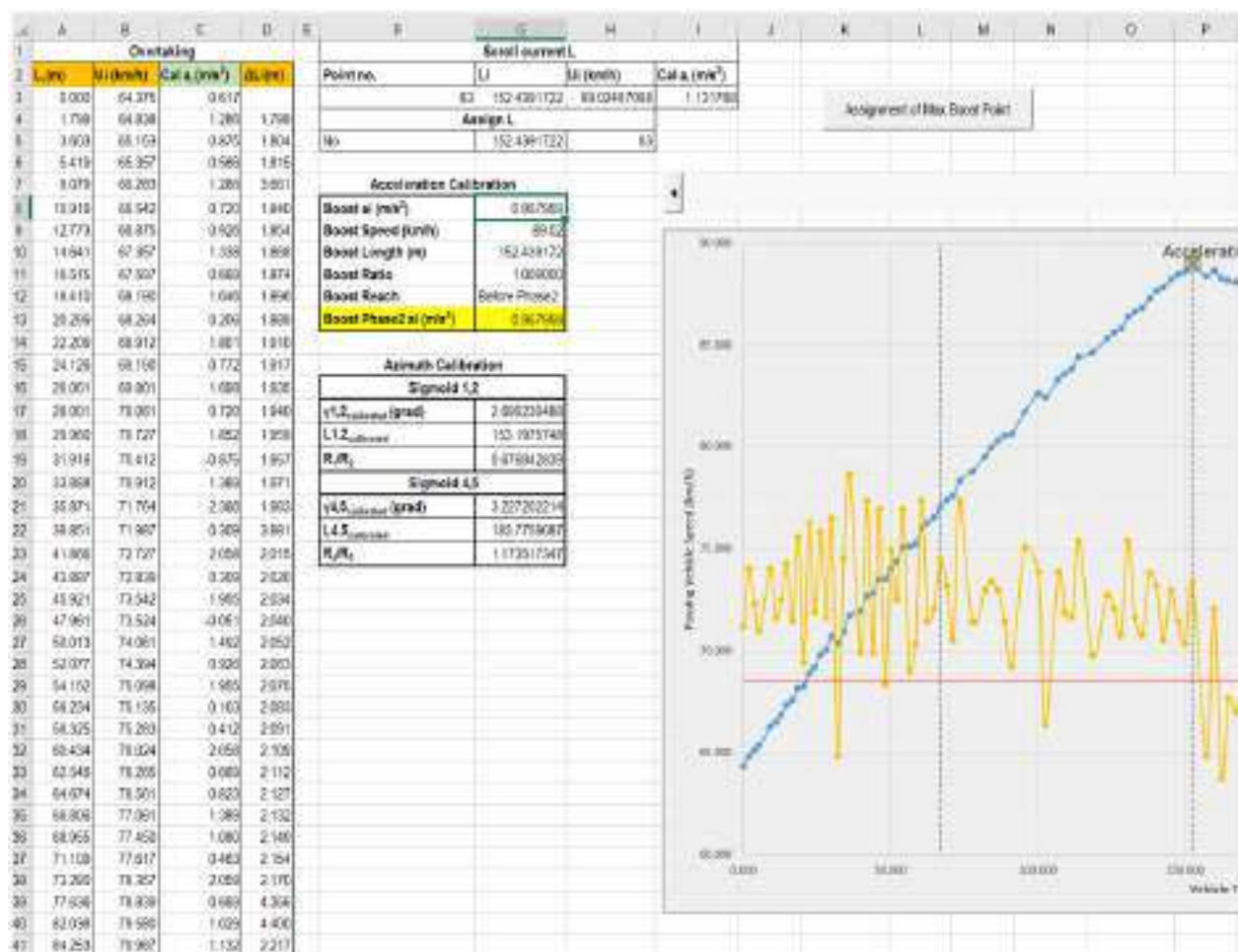
Είναι εύλογη η σκέψη πως μια ιδεατή τροχιά προσπέρασης θα διαθέτει μια συμμετρία μεταξύ των ελιγμών της, ώστε να πραγματοποιείται όσο τον δυνατόν ομαλότερα. Βάση της ιδέας αυτής δημιουργήθηκε το υπολογιστικό φύλλο “Calibration”.

Αρχικά πέρα από την γεωμετρική συμμετρία αναζητήθηκε μια υποδειγματική τιμή επιτάχυνσης που συνίσταται στον οδηγό ώστε να πραγματοποιηθεί η προσπέραση. Από την ανάλυση των δευτερογενών δεδομένων διατίθενται στο υπολογιστικό φύλλο “Calibration” η απόσταση που διανύεται ανά χρονικό διάστημα καταγραφής ( $L$ ), η στιγμιαία ταχύτητα ( $V_i$ ) και η στιγμιαία επιτάχυνση ( $Cal_{ai}$ ). Από αυτά τα δεδομένα

δημιουργείται διάγραμμα με την χιλιομετρική απόσταση στον οριζόντιο άξονα και την στιγμιαία ταχύτητα με την στιγμιαία επιτάχυνση στον κατακόρυφο (Γράφημα 4.8). Αναζητήθηκε το διάστημα στο οποίο ο εκάστοτε οδηγός σταμάτησε την έντονα επιταχυνόμενη κίνηση. Το σημείο αυτό παρατηρείται εκεί που η κλίση του διαγράμματος της ταχύτητας σταματάει την απότομη άνοδο της και όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4.8 με τον πορτοκαλί επιλογέα προσδιορίζοταν κατά την γνώμη του μηχανικού το σημείο εκείνο. Θα πρέπει να αναφερθεί πως η κλίση του διαγράμματος ταχυτήτων δεν αποτελεί κάποιο θεμελιώδες μέγεθος της κινηματικής (ο οριζόντιος άξονας είναι το διανυόμενο μήκος και όχι ο χρόνος), παρόλα αυτά είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και έχει ίδια τάση με την επιτάχυνση, σε όρους μέγιστης ώθησης του οχήματος. Από την στιγμή που ορίζεται η στιγμή διακοπής της μέγιστης ώθησης του οχήματος, υπολογίζεται με την διαδικασία του σταθμισμένου μέσου όρου η επιτάχυνση έως εκείνη την χιλιομετρική θέση. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει μία μέση τιμή επιτάχυνσης  $a_{cal}$  που χρησιμοποίησε ο εκάστοτε οδηγός για να ξεκινήσει την προσπέραση.



Γράφημα 4.8: Διάγραμμα ταχύτητας και επιτάχυνσης ανά χιλιομετρική θέση. Με μπλε χρώμα οι ταχύτητες με πορτοκαλί οι επιταχύνσεις.



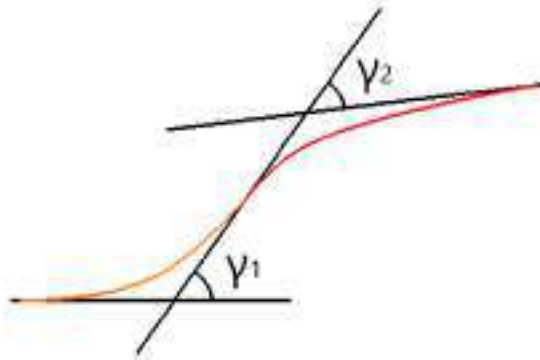
Εικόνα 4.23: Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Calibration”.

Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4.6 με την υπόθεση που έγινε προηγουμένως, ο ελιγμός της 1<sup>ης</sup> και της 2<sup>ης</sup> Φάσης προσομοιάστηκε με δύο αντίρροπες κλωθοειδείς κορυφής καθεμία από τις οποίες διαθέτει δικά της γ, L και R όπως αυτά προέκυψαν στο υπολογιστικό φύλλο “Clothoid Analysis”. Το ίδιο ισχύει και για τον ελιγμό της 4<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> φάσης όπου το όχημα επιστρέφει στην δεξιά λωρίδα. Για το σκοπό επίτευξης συμμετρίας έγινε η υπόθεση, πως η γωνία διεύθυνσης γ είναι ίδια για τις δύο διαδοχικές κορυφές, έτσι προκύπτει ένας συμμετρικός ελιγμός, με πολυγωνική που δημιουργεί παράλληλες εφαπτόμενες εισόδου και εξόδου και ίσες “εντός εκτός και επί τα αυτά” γωνίες γ. Για κάθε εξεταζόμενη προσπέραση υπολογίστηκαν μέσω του τύπου 4.10 η σταθμισμένη μεταβλητή  $\gamma_{1,2calibrated}$  και η  $\gamma_{4,5calibrated}$  χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα δεδομένα από το υπολογιστικό φύλλο “Clothoid Analysis” (Εικόνα 4.14). Μέσω των σταθμισμένων πλέον γωνιών γ και τον τύπο 4.11 υπολογίστηκαν τα μήκη  $L_{1,2cal}$  και  $L_{4,5cal}$ .

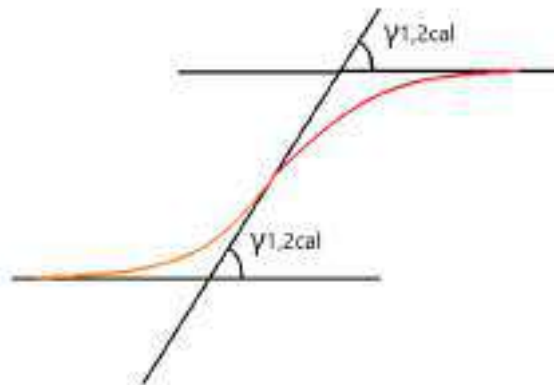
$$\gamma_{1,2cal} \text{ (grad)} = \frac{\gamma_{1L1} + \gamma_{2L2}}{L_{1L1} + L_{2L2}} * \frac{200}{\pi} \quad (4.10), \text{ ομοίως για } \gamma_{4,5cal}$$

$$\gamma_{1,2cal} = \frac{L1}{2R1} = \frac{L2}{2R2} = \frac{L_{1,2cal}}{2R1+2R2} \Rightarrow L_{1,2cal} = 2 * (R1 + R2) * \gamma \quad (4.11),$$

όπου  $L_{1,2cal}$  συνολικό μήκος διαδοχικών κλωθοειδών κορυφής



**Εικόνα 4.24:** Παράδειγμα που δείχνει δύο διαδοχικές κλωθοειδείς κορυφές με  $\gamma_1 \neq \gamma_2$ .



**Εικόνα 4.25:** Παράδειγμα που δείχνει την συμμετρία δύο διαδοχικών κλωθοειδών κορυφής με  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_{1,2cal}$ .

### • Υπολογιστικό Φύλλο Data Output

Στο φύλλο Data output έγινε η καταγραφή των εξαγόμενων δεδομένων, που προέκυψαν από όλα τα φύλλα του αρχείου επεξεργασίας Excel.

Συμπεριλαμβανομένης της διαδοχικής κλωθοειδούς κορυφής															
Phase 1 Approval	Phase 2 L (m)	Phase 2 R	Phase 3 L (m)	Phase 3 R	Phase 4 Approval	Phase 5 L (m)	Phase 5 R	Phase 6 L (m)	Phase 6 R	Phase 7 Approval	Phase 8 L (m)	Phase 8 R	Phase 9 L (m)	Phase 9 R	Phase 10 Approval
1	38.9728462	0.0708173	403.040135	9.22012802	0.9211238	1	0.0708173	0.0708173	403.040135	9.22012802	0.9211238	1	0.0708173	0.0708173	403.040135
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															

**Εικόνα 4.26:** Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Data output”.



	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB
3	Διαστάσεις (mm)						Βασικά Πεδία Δοκιμής (mm)					Μετατόμιση (mm)		Speed (mm/s)		Speed (mm/s)			
4	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
5	10.000000	10.000000	10.000000	10.000000	10.000000	10.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			

Εικόνα 4.27: Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Data output”.

5/13																				
=Calculation:013																				
	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	
1	Speed GPC						LWR		Acceleration Calibration						Kinetics Calibration					
2	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 1	Phase 2	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	Speed (m/s)	
3	7.75	7.45	7.45	5.55	5.75	1.1	1.2	0.02222222	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				

Εικόνα 4.28: Περιβάλλον Υπολογιστικού φύλλου “Data output”.

Η διαδικασία επεξεργασίας μέσω του ειδικά διαμορφωμένου αρχείου Excel υλοποιήθηκε για κάθε εξεταζόμενη προσπέραση των δύο πειραμάτων. Τα εξαγόμενα δεδομένα από το φύλλο “Data Output” κάθε προσπέρασης, συλλέχθηκαν σε μια ενιαία βάση δεδομένων για κάθε πείραμα, ώστε να χρησιμοποιηθούν στην τελική στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 5.1 Εισαγωγή

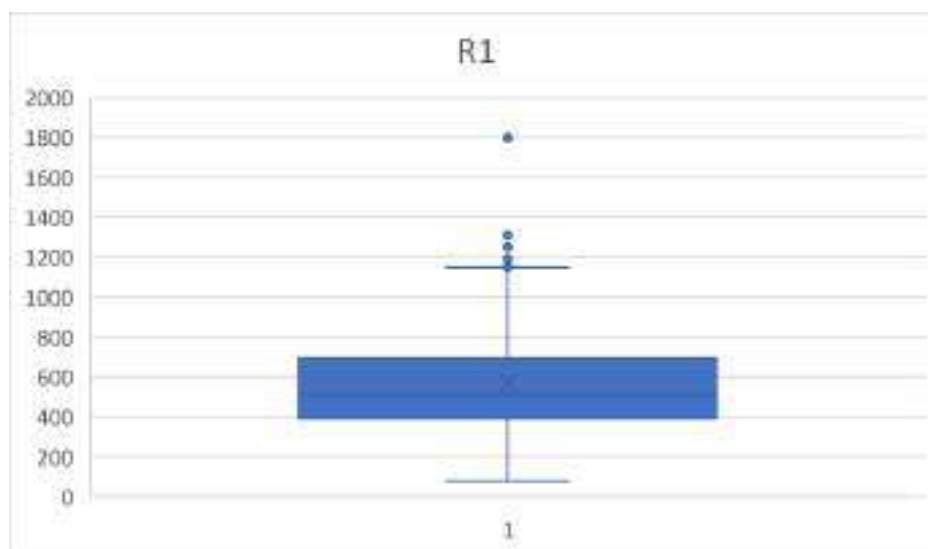
Στην ενότητα 5.2 παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα αποτελέσματα της επεξεργασίας. Αυτή διακρίνεται στην πλήρη στατιστική περιγραφή των αποτελεσμάτων και στην κατασκευή κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης για τις κυριότερες από τις παραμέτρους.

### 5.2 Κατασκευή Θηκογραμμάτων

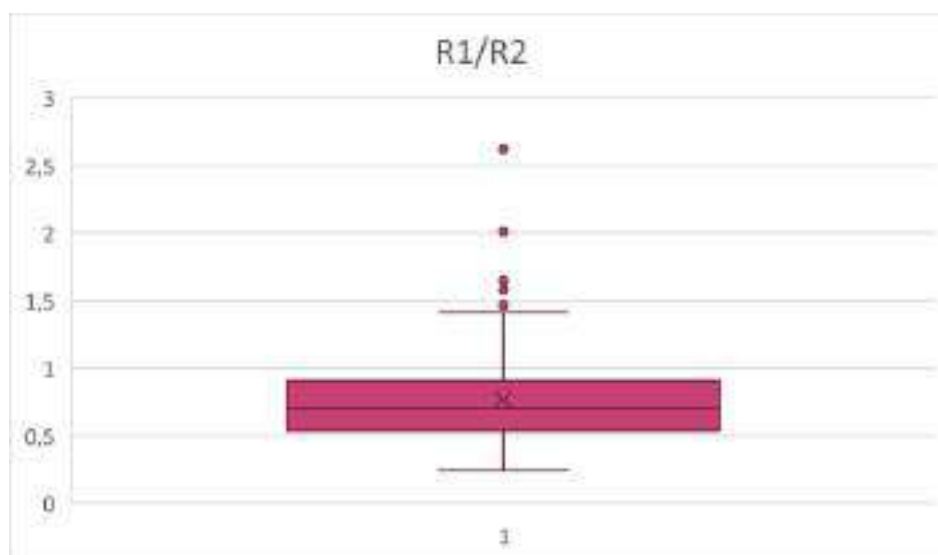
Με σκοπό την επεξηγηματική ανάλυση των δεδομένων που υπολογίστηκαν, κατασκευάστηκαν έξι θηκογράμματα, για τις εξής μεταβλητές που εξηγήθηκαν στο Κεφάλαιο 4:

- Την ακτίνα εξόδου  $R_1$ .
- Τον λόγο των ακτίνων  $R_1 / R_2$  που υπολογίζεται στο φύλλο “Clothoid Analysis”.
- Την αρχική απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων Headway 1.
- Το πλευρικό περιθώριο ασφαλείας LSM1.
- Την αρχική ταχύτητα εξόδου της προσπέρασης  $V_0$ .
- Την σταθμισμένη επιτάχυνση  $a_{cal}$  που υπολογίστηκε στο φύλλο Calibration.

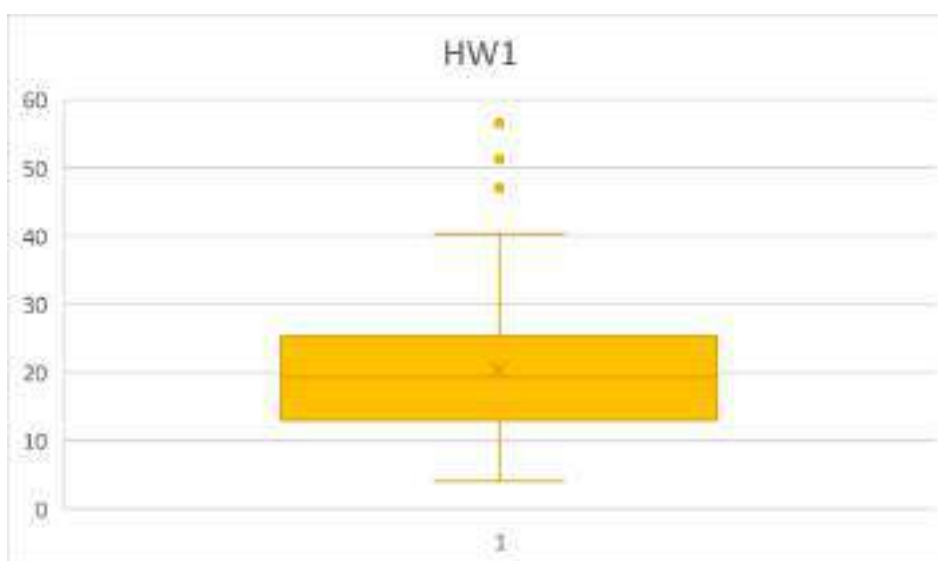
Τα γραφήματα έγιναν συγκεντρωτικά τόσο για τις προσπεράσεις που πραγματοποιήθηκαν στον προσομοιωτή όσο και με το όχημα με το προσαρμοσμένο σύστημα GNSS για όλο το εύρος των εξεταζόμενων ταχυτήτων. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα θηκογράμματα που αναλύθηκαν.



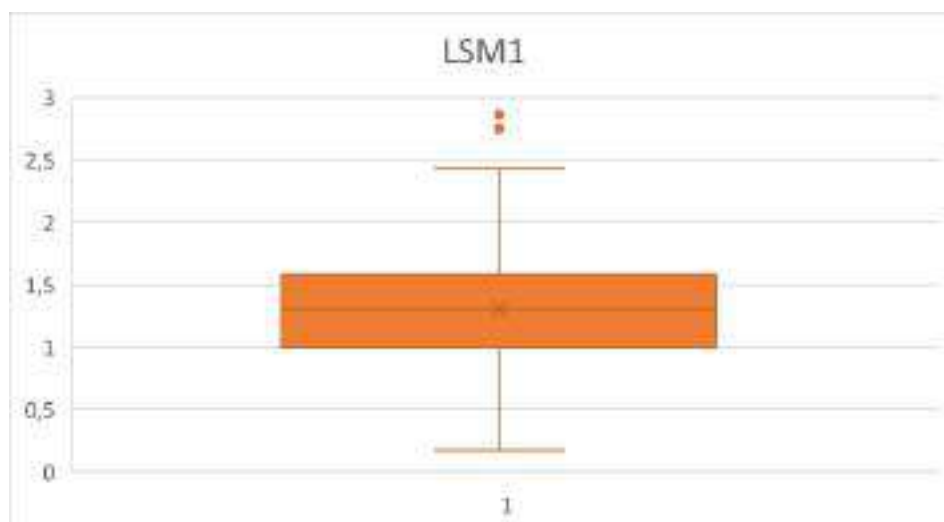
Γράφημα 5.1: Boxplot Ανάλυσης για την ακτίνα εξόδου  $R_1$ .



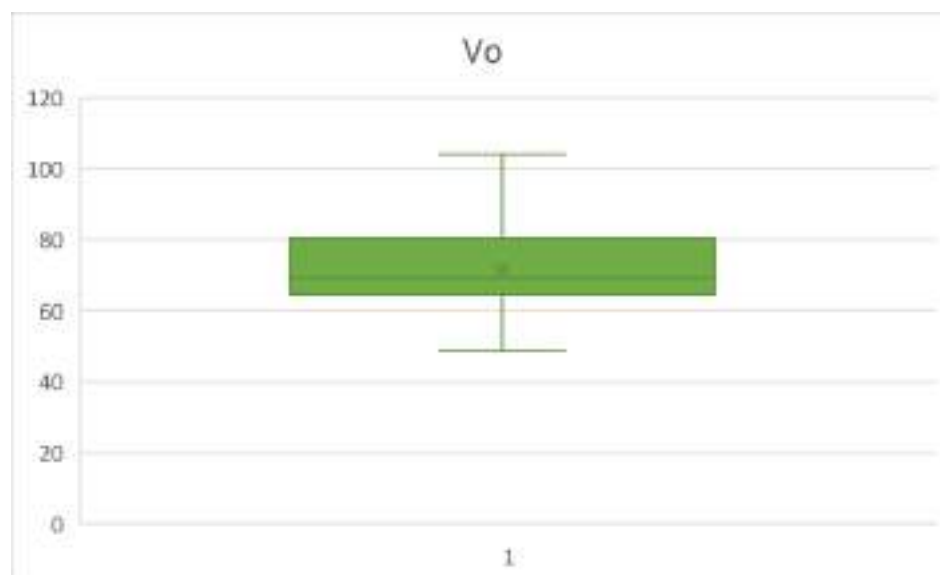
Γράφημα 5.2: Boxplot Ανάλυσης για τον λόγο των ακτινών  $R_1 / R_2$ .



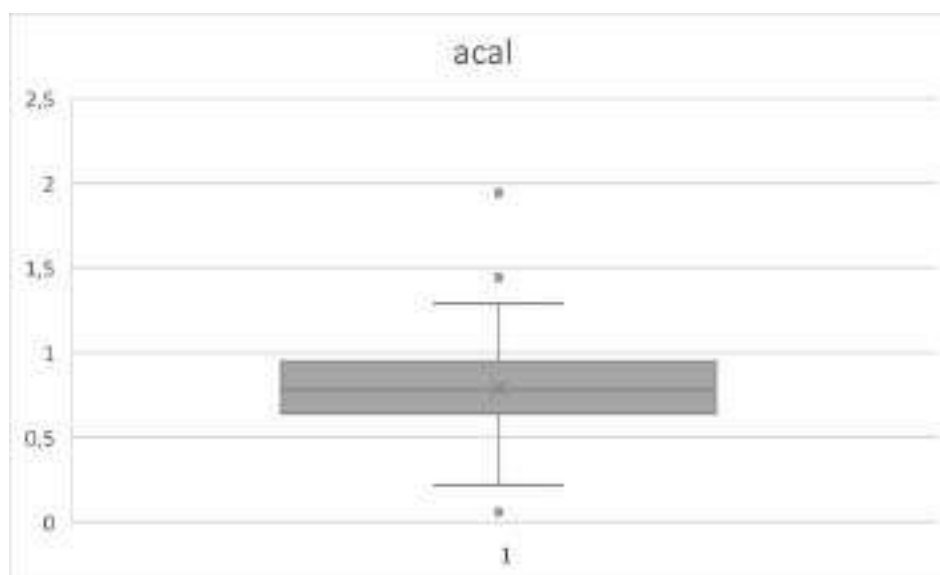
Γράφημα 5.3: Boxplot Ανάλυσης για την αρχική απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων Headway 1.



**Γράφημα 5.4:** Boxplot Ανάλυσης για το πλευρικό περιθώριο ασφαλείας LSM1.



**Γράφημα 5.5:** Boxplot Ανάλυσης για την αρχική ταχύτητα εξόδου της προσπέρασης Vo.



**Γράφημα 5.6:** Boxplot Ανάλυσης για την σταθμισμένη επιτάχυνση  $a_{cal}$ .

## 5.3 Κατασκευή Μοντέλων Γραμμικής Παλινδρόμησης

### 5.3.1 Εισαγωγή στοιχείων στην R

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο Excel, το οποίο περιέχει τα δεδομένα όλων των εξεταζόμενων προσπεράσεων τόσο από το όχημα με προσαρμοσμένο σύστημα RTK όσο και από τον προσομοιωτή. Τα δεδομένα αυτά αφορούν το σύνολο των εξεταζόμενων ταχυτήτων.

Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή του αρχείου Excel στην R-studio. Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση της εντολής `readxl`, η οποία δίνει τη δυνατότητα αναγνώρισης αρχείων τύπου `.xlsx`. Πρώτα γίνεται η εγκατάσταση του πακέτου `read excel` με την εντολή `install.packages(readxl)` και έπειτα με την χρήση της πλέον εγκατεστημένης εντολής `read_excel` και δίνοντας το κατάλληλο path εισάγεται το excel στην πλατφόρμα της R. Το path καθώς και η εγκατάσταση της εντολής φαίνονται στην Εικόνα 5.1.

```
Analyzed_File <- read_excel("C:/Users/USER/Desktop/data_final.xlsx")
attach(Analyzed_File)
```

Εικόνα 5.1: Μορφή κώδικα για εντολή `read_excel`.

Με τον τρόπο αυτό, το αρχείο Excel με τα δεδομένα, το οποίο αποτελείται από 128 γραμμές και 6 στήλες, βρίσκεται πλέον στην πλατφόρμα της R και η ονομασία του για την παρούσα διπλωματική ορίστηκε ως «data\_final». Ένα ενδεικτικό τμήμα του πίνακα φαίνεται στην Εικόνα 5.2.

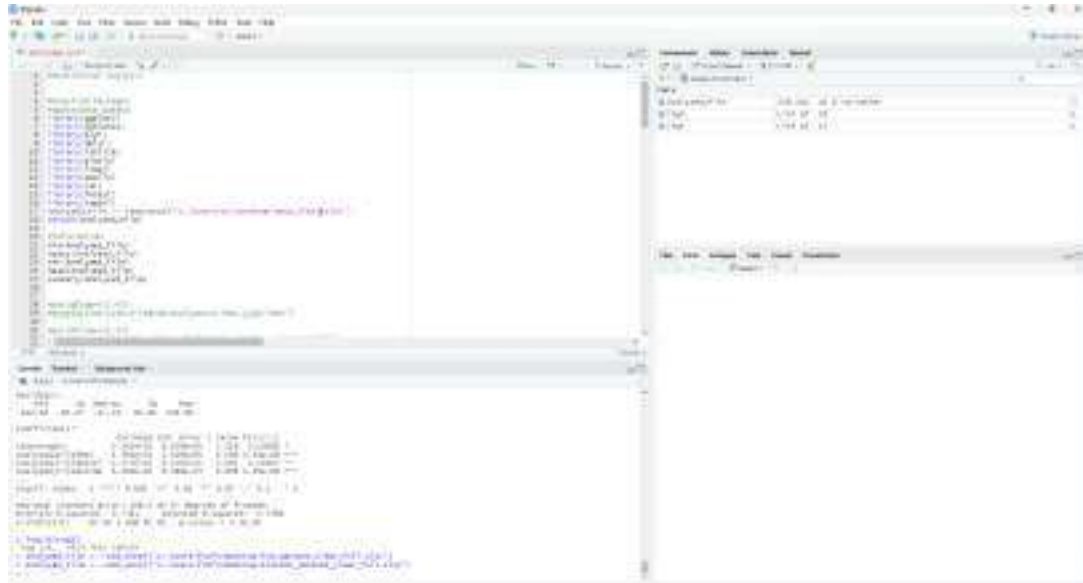
	Α/Α	ΑΡΧΗ	ΤΕΛΟΣ	ΏΡΑ	ΕΠΙΣΤΡ.	ΣΤΙΣΕΙΣ
1	10751546	14.0000	1.317100	60.7000	0.02209640	39.1124
2	13024480	11.0000	0.903800	52.3000	0.0470004	08.8064
3	39591116	8.7000	1.152800	41.8000	1.14404411	40.7191
4	47043888	10.8000	1.225700	51.1000	0.03209084	04.4987
5	5799505	9.8000	1.042100	51.0000	0.07691311	45.7902
6	40295940	11.3000	1.349704	51.8000	0.02009051	01.5217
7	38549802	11.0000	1.471000	43.0000	0.05800401	05.4284
8	38462962	8.7000	1.037800	41.0000	0.03210401	08.0802
9	38433807	8.0000	0.904800	47.0000	0.04970001	07.0188
10	45516518	11.7000	0.881700	64.7000	0.03229001	04.4109
11	38484888	11.0000	1.108700	46.0000	1.07810101	03.9447
12	38012372	9.8000	0.885800	43.8000	0.07470004	04.7878
13	77210475	10.0000	0.568100	50.0000	1.27080001	07.0849
14	55299044	11.0000	1.384000	34.4000	0.04700041	04.0320
15	56000040	0.0000	0.017800	04.0000	0.03140004	01.5007
16	10000040	0.0000	0.015300	41.0000	1.08000001	04.2049
17	64483736	11.0000	1.108800	43.0000	0.03277004	07.1815
18	44051350	8.0000	0.998900	33.4000	0.03000401	03.3065
19	48602740	11.2000	1.000400	34.8000	0.03000401	03.0706

Εικόνα 5.2: Ενδεικτικό τμήμα πίνακα `data_final`.

### 5.3.2 Κώδικας

Με το αρχείο Excel να βρίσκεται πλέον στην πλατφόρμα της R-studio, επόμενο βήμα είναι η σύνταξη του κώδικα με σκοπό τη δημιουργία γραμμικών μοντέλων και

διαφόρων διαγραμμάτων για την καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία των μεταβλητών. Η μορφή του κώδικα φαίνεται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Πλατφόρμα R-studio.

Σε πρώτο στάδιο γίνεται χρήση της εντολής `library()` στο πάνω αριστερά μέρος της Εικόνας 5.3, στο οποίο γράφεται ο κώδικας. Η εντολή `library(όνομα πακέτου)` ανακαλεί ήδη εγκατεστημένα υποπρογράμματα της R τα οποία είναι απαραίτητα για την δημιουργία του τελικού κώδικα. Κάποια από τα σημαντικότερα υποπρογράμματα παρατίθενται παρακάτω:

- `library(readxl)`: Δίνει τη δυνατότητα να μπορούν να εισαχθούν στη πλατφόρμα αρχεία μορφής `xlsx`
- `library(ggplot2)` : Δυνατότητα δημιουργίας διαγραμμάτων για καλύτερη κατανόηση και εξαγωγή συμπερασμάτων για τα δεδομένα
- `library(lmtest)`: Δυνατότητα δημιουργίας και ποιοτικού ελέγχου γραμμικών μοντέλων.

Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκαν καινούριες μεταβλητές με σκοπό να επιτευχθεί καλύτερο ποιοτικά μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τετράγωνα και κύβοι των ήδη υπάρχοντων δεδομένων . Ο κώδικας με τον οποίο επιτεύχθηκε αυτό φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 5.4.

```

Analyzed_File$logP1R <- log10(Analyzed_File$P1R)
Analyzed_File$logL1Fot <- log10(Analyzed_File$L1Fot)
Analyzed_File$logL12cal <- log10(Analyzed_File$L12cal)
Analyzed_File$HW1SEC <- (Analyzed_File$HW1)**-2
Analyzed_File$LSM1SEC <- (Analyzed_File$LSM1)**2
Analyzed_File$BacalSEC <- (Analyzed_File$Bacal)**2
Analyzed_File$VoSEC <- (Analyzed_File$Vo)**2
Analyzed_File$HW1THR <- (Analyzed_File$HW1)**-3
Analyzed_File$LSM1THR <- (Analyzed_File$LSM1)**3
Analyzed_File$BacalTHR <- (Analyzed_File$Bacal)**3
Analyzed_File$VoTHR <- (Analyzed_File$Vo)**3

```

Εικόνα 5.4: Δημιουργία μεταβλητών στην R-studio.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένας τελικός πίνακας

	P1R	HW1	LSM1	Vo	Bacal	L12cal	logP1R	logL12cal	HW1SEC	LSM1SEC	BacalSEC	VoSEC	HW1THR	LSM1THR	BacalTHR
1	857.32380	2450000	1.3071036	80.70000	0.52288948	95.71324	2.817913	3.086119	0.0018859725	1.788525e+00	0.272801232	4448.880	6.759880e-05	2.233212e+03	0.1425834654
2	230.21843	1100000	0.2628280	88.30000	0.91779091	68.80906	2.362196	1.811522	0.0026461638	3.180041e-01	0.888117079	3288.840	7.212188e-04	1.783370e-01	0.8011623662
3	374.97116	970000	1.1733957	51.80000	1.11495423	46.11513	2.573998	1.682291	0.0106281223	1.389825e-00	1.243122593	2689.240	1.095683e-03	1.603239e+00	1.3883251718
4	470.48889	1080000	1.4937440	51.10000	0.71033044	95.45837	2.672549	1.978819	0.004187888	5.899574e+00	0.583283344	2811.210	7.711655e-04	1.458244e+01	0.4589758070
5	82.98535	950000	1.5845188	51.00000	0.716491312	49.19502	1.918897	1.880818	0.0102333425	4.510675e+00	0.572817478	3249.280	1.030813e-03	3.928181e+03	0.4398487583
6	402.96949	3330000	1.3497914	67.80000	0.29634821	81.80257	2.626309	1.918873	0.0008316037	5.521519e-00	0.887834129	4596.840	2.706164e-05	1.287442e+01	0.0280312435
7	580.49822	1100000	1.4113572	59.00000	0.70999439	103.40849	2.588990	2.014336	0.0026944628	1.8924375e-00	0.497726891	3023.080	8.513140e-04	0.812359e+03	0.3911391580
8	386.62942	870000	1.8378795	54.30000	0.46145403	88.08923	2.598585	1.944825	0.0131117849	3.575948e-00	0.195489725	2948.480	1.518990e-00	8.202886e+03	0.0818335729
9	284.28411	910000	0.2658268	67.80000	0.99018738	67.31823	2.584828	1.758612	0.0115623030	9.282881e-00	0.890401084	3045.840	1.343230e-00	3.880662e-02	0.8779795719
10	630.36518	2770000	0.8847563	64.70000	0.71329907	76.41979	2.813157	1.883206	0.0013032682	7.774842e-01	0.523101690	4166.060	4.705812e-05	6.655805e-01	0.3783384806
11	259.49489	1180000	1.7589054	48.60000	1.07812108	101.04487	2.558934	2.073825	0.0071813443	3.091688e-00	1.162545071	2561.940	6.088309e-04	5.436045e+00	1.2511485720
12	583.12870	580000	0.8525227	52.80000	0.76718358	85.78756	2.894836	1.853272	0.0287265181	7.287830e-01	0.588501352	2787.840	5.125261e-03	6.190082e-01	0.4815540885
13	778.05378	1360000	2.1452118	62.50000	1.37886691	117.65488	3.588721	2.070610	0.0054867748	4.810763e-00	1.635486628	2620.260	3.976422e-04	8.875660e+00	0.0731918784
14	352.98364	1230000	1.3848257	54.40000	0.98758845	104.53229	2.547767	2.018250	0.0060386223	1.917742e-00	0.975291442	2958.340	5.373839e-04	2.655739e+00	0.9611670577
15	393.03045	480000	0.3179575	96.30000	0.81118708	71.73071	2.582100	1.867580	0.0229585411	1.010870e-01	0.189871644	5768.880	3.478309e-00	3.214454e-02	0.0383196388
16	320.92340	460000	0.1752300	57.40000	1.26628540	64.35474	2.388747	1.886881	0.0229585411	3.071279e-00	1.692568277	3294.780	3.478309e-00	3.282437e-03	2.1382380272
17	846.65716	2220000	1.2195357	58.50000	0.57371904	127.13572	2.927706	2.104388	0.002295561	7.739511e+00	0.329133540	3422.250	9.139680e-05	2.294409e+00	0.1888416339
18	448.51330	990000	0.6898718	53.40000	0.53084330	93.80881	2.682743	1.872705	0.0219238880	7.323183e-01	0.279777893	2851.540	3.044837e-00	8.259401e-01	0.1478886145
19	489.67045	1120000	1.2893438	54.00000	0.58869921	95.35796	2.680081	1.978557	0.0078719380	1.677138e+00	0.343285823	2916.080	7.117802e-04	2.171983e+00	0.2011385436

Εικόνα 5.5: Ενδεικτικό τμήμα τελικού πίνακα δεδομένων.

Τέλος, ως τελευταίο κομμάτι του κώδικα χρησιμοποιείται η εντολή `lm()` εντός της οποίας δημιουργείται ένα μοντέλο με εξαρτημένη μεταβλητή την ακτίνα  $R_1$  και ένα για το διορθωμένο μήκος  $L_{1,2cal}$ . Η μορφή της εντολής φαίνεται στην Εικόνα 5.6.

```

reg1 <- lm(Analyzed_File$P1R ~ Analyzed_File$HW1 + Analyzed_File$Bacal + Analyzed_File$VoTHR)
names(reg1)
summary(reg1)
logLik(reg1)
lrtest(reg1)

reg1 <- lm(Analyzed_File$L12cal ~ Analyzed_File$HW1 + Analyzed_File$LSM1 + Analyzed_File$Vo)
names(reg1)
summary(reg1)
logLik(reg1)
lrtest(reg1)

```

Εικόνα 5.6: Κώδικας δημιουργίας τελικών μοντέλων.

Αφού γραφτεί η εντολή και τοποθετηθούν οι μεταβλητές, χρησιμοποιώντας την εντολή `summary()`, εμφανίζονται τα αποτελέσματα της Εικόνας 5.7.

ΕΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ								
Στατιστικά παλινδρόμησης								
Πολλαπλό R	0,85923							
R Τετράγωνο	0,738277							
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0,726338							
Τυπικό σφάλμα	148,5373							
Μέγεθος δείγματος	71							
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ								
	Βαθμοί ελευθε	SS	MS	F	αντικρίτητα F			
Παλινδρόμηση	3	4189859	1396619	62,93848	1,79E-19			
Υπόλοιπα	67	1478140	22061,33					
Σύνολο	70	5668000						
	Συντελεστής επί της αρχής	t	τιμή P	πώτερο 95%	λότερο 95%			
Τεταγμένη επί την αρχή	114,0898	96,5548	2,216163	0,030081	21,26576	406,8738	21,26576	406,8738
HW1	12,89177	2,107804	0,496985	1,19E-06	5,484978	17,89857	5,484978	17,89857
a(cal)	-227,334	81,15802	-2,801	0,006652	-389,316	-65,3314	-389,316	-65,3314
Vo <sup>2</sup>	0,00093	9,99E-05	6,918373	1,55E-09	0,000494	0,000892	0,000494	0,000892

Εικόνα 5.7: Αποτελέσματα εντολής `lm`, τελικό μοντέλο για ακτίνα  $R_1$ .

ΕΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ					
Στατιστικά παλινδρόμησης					
Πολλαπλό R	0,753402				
R Τετράγωνο	0,667615				
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0,648254				
Τυπικό σφάλμα	22,54602				
Μέγεθος δείγματος	71				
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ					
	βαθμοί ελευθε	SS	MS	F	αντικτότητα F
Παλινδρόμηση	3	44709,27	14903,09	29,31814	3,19E-12
Υπόλοιπα	67	34057,65	508,3232		
Σύνολο	70	78766,92			
	Συντελεστές επί της αρχής	t	τιμή-P	πώτερο 95%	λότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	-0,82437	19,83801	-0,04156	0,966977	-40,4212
HW1	1,647427	0,316832	5,19969	2,05E-06	1,015028
LSM1	0,304175	0,116649	2,607608	0,01123	0,071342
Vo	1,303209	0,281411	4,63098	1,73E-05	0,74151

Εικόνα 5.8: Αποτελέσματα εντολής `lm`, τελικό μοντέλο για το διορθωμένο μήκος  $L_{1,2cal}$ .

### 5.3.3 Στατιστικά ποιοτικό μοντέλο

Για να κριθεί ένα μοντέλο κατάλληλο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να είναι στατιστικά σημαντικό. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται μέσω βασικών παραμέτρων που πρέπει να ικανοποιούνται. Η πιο βασική παράμετρος είναι αυτή του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$ .

Όπως έχει προαναφερθεί, η τιμή του  $R^2$  προκύπτει από τη χρήση της εντολής `lm()`. Η επιλογή του μοντέλου συνδέεται άμεσα με το πόσο κοντά είναι η τιμή του  $R^2$  στο 1.



Επιπρόσθετα, εξετάζονται και οι τιμές των t-value και p-value όπου η πρώτη πρέπει κατά απόλυτη τιμή να ξεπερνάει το 1,96 (  $|t| > 1,96$ ) ενώ η τελευταία πρέπει να είναι μικρότερη του 0,05.

Με βάση αυτά έγινε η επιλογή των τελικού γραμμικού μοντέλου που παρουσιάζεται παρακάτω.

#### 5.3.4 Αποτελέσματα

Στο υποκεφάλαιο αυτό, παρατίθενται η τελική μορφή των στατιστικών μοντέλων και η επεξήγηση αυτών.

Η επιλογή των μεταβλητών για τη δημιουργία των τελικών μοντέλων έγινε μετά από πλήθος δοκιμών έτσι ώστε να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών.

Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον προσδιορισμό τόσο της ακτίνας  $R_1$  όσο και για το διορθωμένο μήκος  $L_{1,2cal}$ .

##### ▪ Τελική μορφή μοντέλου για $R_1$ :

$$R_1 = 214.07 + 13.69 \cdot HW1 - 227.324 \cdot a_{cal} + 0,000693 \cdot Vo^3$$

$$R^2 = 0.7382$$

$$\text{Προσαρμοσμένο } R^2 = 0.7265$$

- $R_1$ : Ακτίνα εξόδου.
- $HW1$ : Αρχική απόσταση του οχήματος που προσπερνά με το προσπερνούμενο όχημα.
- $a_{cal}$ : Σταθμισμένη επιτάχυνση που προκύπτει από το φύλλο "Calibration".
- $Vo$ : Η αρχική ταχύτητα εξόδου.

##### ▪ Τελική μορφή μοντέλου για $L_{12cal}$ :

$$L_{1,2cal} = 0.82 + 1.65 \cdot HW1 - 0.31 \cdot LSM1 + 1.30 \cdot Vo$$

$$R^2 = 0.6676$$

$$\text{Προσαρμοσμένο } R^2 = 0.6482$$

- $L_{1,2cal}$ : Σταθμισμένο μήκος που προκύπτει μέσω του  $\gamma_{1,2cal}$  στο φύλλο "Calibration".

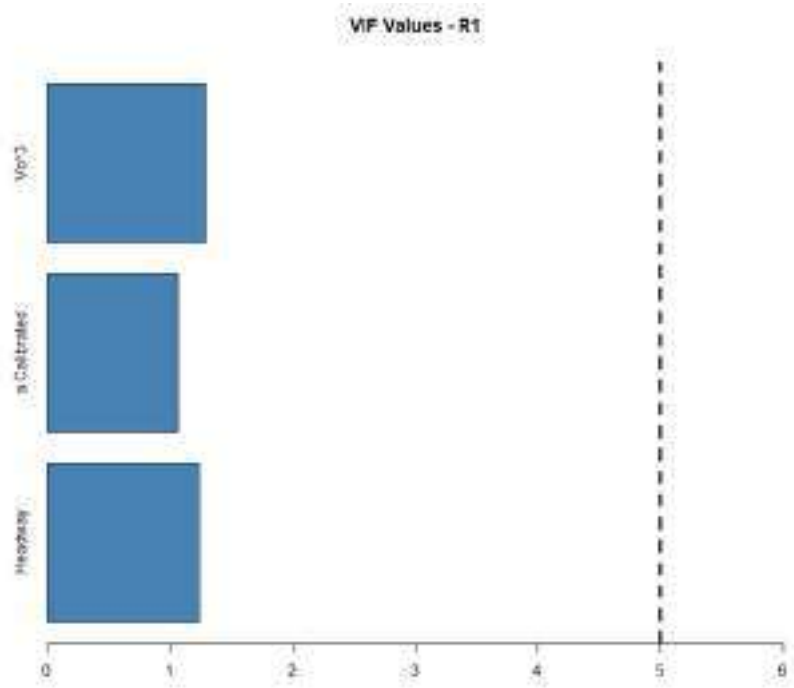
- **HW1:** η απόσταση του οχήματος που προσπερνά με το προσπερνούμενο όχημα
- **LSM1:** το πλευρικό περιθώριο ασφαλείας
- **Vo:** η αρχική ταχύτητα εξόδου

Το βασικότερο συμπέρασμα της στατιστικής ανάλυσης είναι η δημιουργία ενός μοντέλου, το οποίο είναι σε θέση να προβλέπει τόσο την ακτίνα  $R_1$  όσο το διορθωμένο μήκος  $L_{1,2cal}$ . Λόγω της μεγάλης τιμής  $R^2$  (73.82%) το μοντέλο αυτό κρίνεται ικανοποιητικό. Επισημαίνεται ακόμα ότι οι εξαρτημένες μεταβλητές του μοντέλου, καθώς και τα πρόσημα των συντελεστών βί έχουν φυσική σημασία και είναι σε συμφωνία με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, αφού από τα πρόσημα των συντελεστών είναι φανερό πως η αύξηση της απόστασης του οχήματος που προσπερνά με το προσπερνούμενο όχημα όσο και της αρχικής ταχύτητας εξόδου αυξάνει τόσο την ακτίνα  $R_1$  όσο και το μήκος  $L_{1,2cal}$ , ενώ τόσο η  $a_{cal}$  όσο και το πλευρικό περιθώριο ασφαλείας όσο αυξάνονται μειώνεται τόσο η ακτίνα  $R_1$  όσο και το μήκος  $L_{1,2cal}$ .

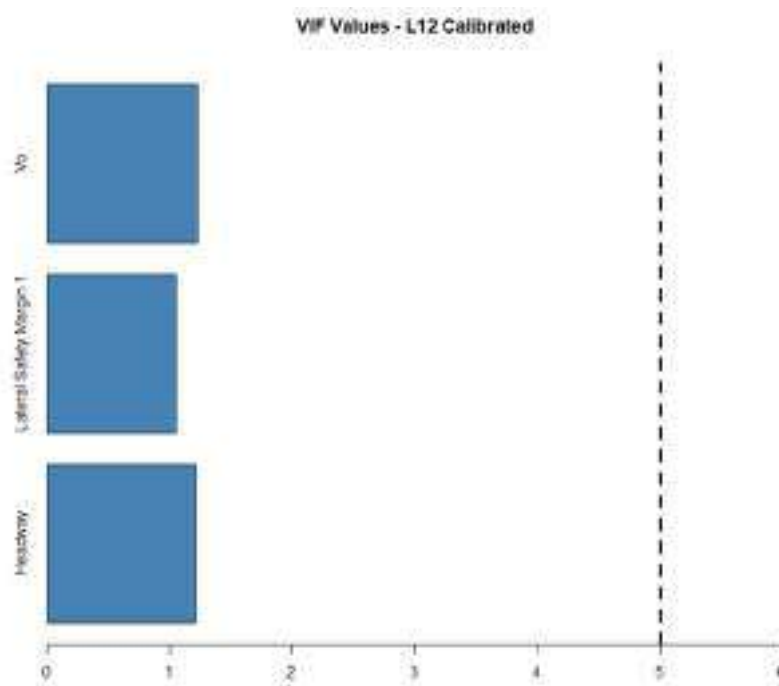
Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι πραγματοποιήθηκε έλεγχος συσχέτισης των επιμέρους ανεξάρτητων μεταβλητών του εκάστοτε μοντέλου (collinearity test) σε όρους τιμών VIF (Variance Inflation Factors). Οι τιμές των παραπάνω συντελεστών για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή και στα δύο μοντέλα υπολογίστηκαν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερες από 2, γεγονός που σημαίνει πως οι μεταβλητές παρουσίασαν αρκετά χαμηλή συσχέτιση μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μεθόδου φαίνονται στον Πίνακα 5.1, καθώς και στα γραφήματα 5.7a και 5.7b. Τα άκρως ικανοποιητικά αποτελέσματα της κάνουν τα πραγματοποιούμενα μοντέλα ακόμα πιο ακριβή.

VIF Values					
Model	Headway <sub>1</sub>	$a_{Calibrated}$	$V_o$	$V_o^3$	$LSM_1$
$R_1$	1.235	1.065		1.291	
$L_{1,2 Calibrated}$	1.212		1.229		1.046

Πίνακας 5.1: Πίνακας τιμών VIF.



Γράφημα 0.1: Γράφημα τιμών VIF για το μοντέλο της ακτίνας εξόδου  $R_1$ .



Γράφημα 0.2: Γράφημα τιμών VIF για το μοντέλο του μήκους  $L_{1,2cal}$ .

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

### 6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται ορισμένα στοιχεία που προέκυψαν κατά τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής και που παρουσιάζουν έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον. Αρχικά, στην ενότητα 6.2 γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και δίνονται ορισμένα γενικά συμπεράσματα. Τέλος, στην ενότητα 6.3 παρουσιάζονται ορισμένες χρήσιμες κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα επί του θέματος, όπως προέκυψαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

### 6.2 Συμπεράσματα

Αναλύοντας τα δεδομένα και δημιουργώντας τα στατιστικά μοντέλα παρατηρήθηκε ότι οι μεταβλητές που υπολογίστηκαν δεν είχαν την ίδια επιρροή στα επιμέρους μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα:

- Από τη παρατήρηση των θηκογραμμάτων που αφορούν την σχέση μεταξύ της πρώτης ακτίνας εξόδου από την λωρίδα της πορείας του οχήματος (Φάση 1) και την ακτίνα ευθυγράμμισης στην αντίθετη λωρίδα (Φάση 2), προκύπτει πως ο λόγος τους, παρουσιάζει μια συγκέντρωση γύρω από την τιμή περίπου του 0,60, δηλαδή  $R_1=0.6R_2$ .
- Οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ των δύο οχημάτων που συμμετείχαν στη διαδικασία της προσπέρασης (Headway), όσο και η αρχική τιμή της ταχύτητας εξόδου του οχήματος που προσπερνά επηρεάζουν θετικά τόσο το μοντέλο που αφορά την ακτίνα εξόδου  $R_1$ , αλλά και το συνολικό μήκος του πρώτου ελιγμού της προτυποποιημένης τροχιάς προσπέρασης. Αυτό συμβαίνει διότι όσο μεγαλώνει η τιμή του Headway, μεγαλώνει και η τιμή του μήκους της καμπύλης, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η αρχική ταχύτητα, σε συνδυασμό με την επιταχυνόμενη κίνηση που πραγματοποιεί το όχημα, σε παρόμοιους χρόνους διανύεται μεγαλύτερο μήκος. Σημειώνεται, πως μετά από την απόπειρα δημιουργίας μοντέλου με τις τιμές Headway και τα μήκη των καμπυλών, προέκυψε πως αυτά δεν σχετίζονται.
- Τόσο οι τιμές της επιτάχυνσης όσο και οι τιμές της κάθετης απόστασης μεταξύ του οχήματος που προσπερνά και του προσπερνούμενου οχήματος, επηρεάζουν αρνητικά τα μοντέλα της ακτίνας εξόδου  $R_1$ , και του συνολικού μήκους του πρώτου ελιγμού της προτυποποιημένης τροχιάς προσπέρασης κατά αντιστοιχία. Αυτό έχει

λογική ερμηνεία καθώς και οι δύο παράμετροι με την αύξησή τους οδηγούν τον ελιγμό της προσπέρασης σε πιο απότομη μορφή.

- Είναι γεγονός, πως με τη χρήση κλωθοειδών διασφαλίζεται η συνέχεια του διαγράμματος καμπυλότητας κατά την κίνηση του οχήματος. Επιπλέον, οι επιταχύνσεις που νιώθουν οι επιβάτες και το ίδιο το όχημα είναι τέτοιες, που δεν εγείρεται ζήτημα άνεσης ή οδικής ασφάλειας.
- Από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων και την μετέπειτα δημιουργία των στατιστικών μοντέλων παρατηρήθηκε ότι οι μεταβλητές που λήφθηκαν υπόψη είχαν την υψηλή επιρροή στα επιμέρους μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα:
  - ✓ Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τροχιά προσπέρασης σχεδόν ταυτίζεται με συγκεκριμένη αλληλουχία γεωμετρικών στοιχείων που εφαρμόζονται ευρέως στο σχεδιασμό οδών, η παρούσα έρευνα έδειξε ότι τα προτεινόμενα μοντέλα παλινδρόμησης επεξηγούν πολύ ικανοποιητικά τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαδικασία προσπέρασης.
  - ✓ Τα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης που δημιουργήθηκαν είναι αποδεκτά καθώς όλα τα κριτήρια αποδοχής μοντέλων καλύπτονται. Για λόγους πληρότητας διερευνήθηκε η προσθήκη όρων μεγαλύτερων τάξεων και συσχέτισης.
  - ✓ Τα μοντέλα δημιουργήθηκαν ενιαία για όλο το δείγμα (για όλες τις ταχύτητες μελέτης) καθώς, από τη μελέτη που έγινε διαπιστώθηκε ότι μπορεί να εισέλθει σε αυτά και ο παράγοντας της ταχύτητας ως ανεξάρτητη μεταβλητή ώστε να προκύψει ένα ενιαίο μοντέλο.

Συμπερασματικά, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, η μέθοδος των κλωθοειδών συστήνεται έντονα για χρήση ως μαθηματικό προσομοίωμα για την περιγραφή της τροχιάς ενός οχήματος που εκτελεί ελιγμό προσπέρασης.

### 6.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στη Διπλωματική αυτή εργασία γίνεται μία προσπάθεια προτυποποίησης της τροχιάς προσπέρασης. Είναι ένα αρχικό και σημαντικό στάδιο το οποίο έχει πολλά περιθώρια για περαιτέρω μελέτη, όπως τα παρακάτω:

- Δημιουργία σεναρίου στον προσομοιωτή οδήγησης, όπου θα υπάρχει επερχόμενη κυκλοφορία με σκοπό να συλλεχθούν καινούριες μεταβλητές όπως η ταχύτητα του επερχόμενου οχήματος, το μήκος ορατότητας κ.α. Με τον τρόπο αυτό θα υπάρχει

μία πιο ρεαλιστική οπτική σε ότι αφορά τις προσπεράσεις, αφού συνήθως στην πραγματικότητα υπάρχει επερχόμενο όχημα.

- Μεγαλύτερο δείγμα συμμετεχόντων αλλά και μεγαλύτερη ηλικιακή κατανομή, για να υπάρχει πιο σαφής εικόνα της συμπεριφοράς των οδηγών κατά την εκτέλεση της προσπέρασης
- Δημιουργία σεναρίων, στα οποία το υπό προσπέραση όχημα δεν θα έχει συνεχώς σταθερή ταχύτητα.
- Επέκταση της μελέτης ώστε να συμπεριληφθούν και άλλοι τύποι οχημάτων, όπου ενδεχομένως θα προκύψουν πρόσθετοι περιορισμοί (πχ. ορατότητα κατά την προσπέραση φορτηγών)
- Διενέργεια όμοιων πειραμάτων, αλλά με την εγκατάσταση μιας αισθητήριας διάταξης στο όχημα που προσπερνάει, η οποία θα καταγράφει για κάθε χρονική στιγμή τη γωνία στροφής του τιμονιού. Η γνώση αυτής της παραμέτρου αναμένεται να εξασφαλίσει την ανάπτυξη ολοκληρωμένου αλγόριθμου για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των παραμέτρων που υπεισέρχονται στις επιμέρους φάσεις της προσπέρασης. Έτσι, τα σφάλματα που σχετίζονται με την επιλογή των σημείων θα εξαλειφθούν.

---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>
- [2]. A. Furda, L. Vlacic, [2010], “*Real-Time Decision Making for Autonomous City Vehicles*”, Journal of Robotics and Mechatronics.
- [3]. <https://paperpile.com/g/thesis-structure/>
- [4]. Perez-Zuriaga Ana Maria PhD, Camacho-Torregrosa Francisco Javier PhD Candidate, Garcia Alfredo Professor, Llorca-Garcia Carlos PhD Candidate, Moreno-Chou Ana Tsui PhD Candidate, [2013], “Analyzing Speeding Behavior in Two-Lane Rural Roads”, Universitat Politècnica de Valencia.
- [5]. Plamen Petrov and Fawzi Nashasibi, [2014], “*Modeling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking*”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
- [6]. 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.
- [7]. Haneen Farah, [2013], “*Modeling Drivers Passing Duration and distance in a virtual environment*”, Department of Transport Sciences, Stockholm Sweden.
- [8]. Carlos Llorca PhD Highway Engineering Research Group Universitat Politècnica de Valencia, Haneen Farah PhD Department of Transport and Planning Faculty of Civil Engineering and Geosciences Delft University of Technology [2016], “*Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment*”.
- [9]. A. Khodayari, A. Ghaffari, R. Kazemi, R. Braunstingl, [2011], “*Modify car following model by human effects based on Locally Linear Neuro Fuzzy*”, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV).
- [10]. A. Karamanou\* , K. Papazissi, D. Paradissis, B. Psarianos, [2009], “*Precise Estimation Of Road Horizontal And Vertical Geometric Features Using Mobile Mapping Techniques*”, National Technical University of Athens.

- [11]. V. Matragos, K. Apostoleris, A. Alvertis, G. Chatzieleftheriou, S. Mavromatis, [2022], "Overtaking trajectory assessment utilizing data from driving simulator", National Technical University of Athens.
- [12]. Ψαριανός Β., "Οδοποιία Ι - Σημειώσεις", Τομέας Συγκοινωνιακών Έργων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ.
- [13]. Κανελλαΐδης, Γ., Μερτζάνης, Φ., Γλαρός, Γ., & Βαρδάκη, Σ. (2017). Σημειώσεις Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [14]. Kasper, H., Schürba, W., & Lorenz, H. (1956). Die Klothoide als Trassierungselement. Bonn, Germany.
- [15]. Μαυρομάτης, Σ. (2018). Σημειώσεις για το μάθημα Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [16]. Βασιλάς, Α. (2013). Ανάπτυξη Λογισμικού για Ψηφιακή Απόδοση της Χάραξης Υφιστάμενης Οδού. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [17]. <https://www.simplypsychology.org/boxplots.html>
- [18]. Matragos, V., Trantas, N., Zacharis, V., & Mavromatis, S. "Passing Path Assessment based on Field Driving Experiment". Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers Part A: Systems, forthcoming.
- [19]. Clynnh, J. (2001). "GPS Accuracy Levels". Retrieved 2021, from <https://www.oc.nps.edu/oc2902w/gps/gpsacc.html>
- [20]. Matias, B., Oliveira, H., Almeida, J., Dias, A., Ferreira, H., Martins, A., & Silva, E. (2015, May). "High-accuracy low-cost RTK-GPS for an unmanned surface vehicle". OCEANS 2015-Genova (pp. 1-4), pp. 1-4.





