



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διερεύνηση τροχιάς οχημάτων με την χρήση προσομοιωτή οδήγησης



Καλλιώρα Ευσταθία-Χρυσοβαλάντω

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Ευχαριστίες

Με την περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας και συνεπώς των προπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της αλλά και όλους όσους συντρόφευσαν και στήριξαν τη φοιτητική μου πορεία.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και επιβλέποντα Καθηγητή στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια εκπόνησής της. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τη σωστή καθοδήγηση αλλά και τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Ματράγκο, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ ο οποίος συνέβαλε καθοριστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας και κάθε φορά που χρειάστηκε ήταν έτοιμος να απαντήσει στις απορίες μου και να με καθοδηγήσει.

Και φυσικά τίποτα δεν θα ήταν εφικτό χωρίς την οικογένεια και τους φίλους μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου προσφέροντας την πολύτιμη βοήθεια τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην αδερφή μου, Ηλιάνα, για την αμέριστη συμπαράσταση της.

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Καλλιώρα Ευσταθία-Χρυσοβαλάντω

Στον αγαπημένο μου παππού, Κωνσταντίνο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καλλιώρα Ευσταθία- Χρυσοβαλάντω

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος καθηγητής ΕΜΠ

Η παρούσα διπλωματική έχει ως στόχο την προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης αυτόνομων οχημάτων κινούμενα με αυξανόμενη και σταθερή ταχύτητα με χρήση προσομοιωτή οδήγησης. Η τροχιά της προσπέρασης μελετήθηκε μέσω δοκιμών σε προσομοιωτή οδήγησης για τρία όρια ταχυτήτων (70km/h, 80km/h, 90km/h) με το αρχικά προπορευόμενο όχημα να κινείται με σταθερή ταχύτητα και μειωμένη κατά 20 km/h από το εκάστοτε όριο ταχύτητας. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε υπεραστικό δρόμο δύο λωρίδων με αντίθετη κατεύθυνση μηδενική. Οι συμμετέχοντες στις δοκιμές κατείχαν δίπλωμα κατηγορίας Β και κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τα χαρακτηριστικά τους (γένος, ηλικία, οδηγική εμπειρία, διάρκεια κατοχής διπλώματος) από ερωτηματολόγιο που συμπλήρωσε ο καθένας τους. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός των προσπεράσεων σταθερής και αυξανόμενης ταχύτητας από το συνολικό δείγμα. 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 κλωθειδούς 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. Επίσης, η μέθοδος του θηκογράμματος χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική ανάλυση των παραμέτρων με ιδιαίτερη έμφαση στις πλευρικές αποστάσεις και στις αποστάσεις που είχαν τα οχήματα ανάμεσα τους.

Λέξεις κλειδιά: **Προτυποποίηση, Τροχιά προσπέρασης, Γωνιακό διάγραμμα, Προσομοιωτής οδήγησης, πλευρικές αποστάσεις, Θηκόγραμμα**

Abstract

Kalliora Efstathia-Chrysovalanto

Supervisor: Mavromatis Stergios, Professor NTUA

The purpose of this diploma thesis is to model the overtaking trajectory of autonomous vehicles moving at constant and increasing speed using driving simulator. The overtaking trajectory of overtaking was determined by tests through driving simulator for about three speed by limits (70km/h, 80km/h, 90km/h) where the impending (passed) vehicle was assumed to travel under steady state, conditions by 20km/h below the respective speed limited. The experimental condition was taken place in intercity road which has two lanes with zero opposite direction. The participants, participating in the tests, held a category B driving license and were categorized based on their characteristics (gender, age, driving experience, duration of holding driving license) from a questionnaire completed by each of them. their complement of a relevant questionnaire. After that, the overtaking maneuvers with constant and increasing speed were separated from the total sample. The resulting data, at first, were analysed and processed by the angular diagram method, in order to determine the geometry of the opposite arcs from the vehicle which performs the overtaking maneuver. Then, the clotheyd method was applied, as well as th calculation of its necessary parameters. The feasibility of the overtaking maneuvers was investigated with parameters related to the lateral distances between the vehicles at the points of possible collision. Also, the boxplot method was used for the statistical analysis of the parameters, emphasized on the lateral distance at the distances that the vehicles had between them.

Key words: **Modeling, Overtaking trajectory, Angular diagram, Driving Simulator, lateral distance, Boxplot.**

1 Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	10
1.1 Γενική Ανασκόπηση	10
1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας.....	13
1.3 Μεθοδολογία	14
1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας.....	15
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	17
2.2 Συναφείς έρευνες.....	17
2.3 Modelling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking (2014)	17
2.4. Passing Sight Distance Assessment through the Interaction of Road-Vehicle Parameters, 2019	19
2.5. Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment, 2016	21
2.6. Modeling and Intelligent Control System Design for Overtaking Maneuver in Autonomous Vehicles(2011).....	24
2.7. Functional and Acceptance of Overtaking Assistant Design Tested in Driving Simulator Experiment (2006).....	25
3.Θεωρητικό υπόβαθρο	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Προσομοιωτής Οδήγησης.....	27
3.3 Γωνιακό Διάγραμμα	29
3.3.1 Προσδιορισμός γεωμετρικών στοιχείων αγνώστου άξονα	31
3.4 Κλωθοειδείς καμπύλες	36
3.4.1 Τόξο Συναρμογής.....	36
3.4.2 Τύποι Οριζοντιογραφικών Καμπύλων Με Κλωθοειδείς.....	40
3.5 Διάγραμμα Αζιμούθιων	45
3.6 Θηκόγραμμα (Boxplots).....	48
4. Συλλογή Δεδομένων	50
4.1 Εισαγωγή.....	50
4.2 Μέθοδος Συλλογής Στοιχείων.....	50
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και επεξεργασίας δεδομένων	59
5.1 Εισαγωγή.....	59
5.2 Προσδιορισμός τροχιάς προσπέρασης με προσομοιωτή οδήγησης	59
5.2.1 Τρόπος καταγραφής των δεδομένων	60
5.3 Επεξεργασία μέσω γωνιακού διαγράμματος	61
5.4 Διαχωρισμός ελιγμών προσπεράσεων	74

5.5 Κατασκευή Θηκογραμμάτων	74
6. Αποτελέσματα.....	75
7. Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	106
7.1 Βασικά Συμπεράσματα.....	106
7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	107
8.Βιβλιογραφικές αναφορές.....	108
ΕΙΚΟΝΕΣ	
Εικόνα 1. 1- Επίπεδα Αυτοματοποιημένης Κινητικότητας	10
Εικόνα 1. 2 – Τα Οφέλη της Αυτοματοποιημένης Κινητικότητας	12
Εικόνα 1. 3 - Η τροχιά ενός ελιγμού προσπέρασης και οι τρεις φάσεις από τις οποίες αποτελείται.....	13
Εικόνα 2. 1 - Οι τρεις φάσεις προσπέρασης ελιγμού δύο οχημάτων	17
Εικόνα 2. 2 - Σχέδιο του ελιγμού προσπέρασης, (2014)	18
Εικόνα 2. 3 - Κριτήρια απόστασης κατά τη διαδικασία της προσπέρασης.....	20
Εικόνα 2. 4 - Στατική και δυναμική μέθοδος παρατήρησης προσπεράσεων	22
Εικόνα 2. 5 - Παράγοντες που περιλαμβάνονται στον πειραματικό σχεδιασμό	23
Εικόνα 2. 6 -- Περιβάλλον του προσομοιωτή και απεικόνιση της λειτουργίας του	26
Εικόνα 3. 1 - Προσομοιωτής Οδήγησης.....	27
Εικόνα 3. 2 - Προσομοιωτής οδήγησης Dr. Forest F12PF-3A88-NR.....	28
Εικόνα 3. 3 - Το διάγραμμα αζιμούθιων που αντιστοιχεί σε ένα υφιστάμενο οδικό τμήμα	47
Εικόνα 3. 4 - Το διάγραμμα του αζιμούθιου στο περιβάλλον του Excel.....	48
Εικόνα 3. 5 - Οι βασικές τιμές στο διάγραμμα πλαισίου.....	49
Εικόνα 4. 1 - Κατανομή Φύλου	52
Εικόνα 4. 2 - Κατανομή Ηλικίας	52
Εικόνα 4. 3 - Διάρκεια Κατοχής Διπλώματος.....	53
Εικόνα 4. 4 - Εμπειρία Οδήγησης σε Έτη	53
Εικόνα 4. 5 - Διάρκεια οδήγησης μετρημένη σε μέρες ανά εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον	54
Εικόνα 4. 6 - Διανυόμενα εβδομαδιαία χιλιόμετρα σε αστικό περιβάλλον	54
Εικόνα 4. 7 - Διάρκεια οδήγησης σε ημέρες, ανά μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον.....	55
Εικόνα 4. 8 - Διανυθέντα χιλιόμετρα ανά μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον	55
Εικόνα 4. 9 - Διάρκεια οδήγησης σε ημέρες ανά έτος σε υπεραστικό περιβάλλον	56
Εικόνα 4. 10 - Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε αστικό περιβάλλον	56
Εικόνα 4. 11 - Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον	57
Εικόνα 4. 12 - Αξιολόγηση ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον	57
Εικόνα 4. 13 - Ποσοστά υπέρβασης ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον.....	57
Εικόνα 4. 14 - Ποσοστά προστίμων για υπέρβαση ορίων ταχύτητας.....	58
Εικόνα 4. 15 - Εμπλοκή σε ατυχήματα με υλικές ζημιές ή παθόντες.....	58
Εικόνα 5. 1 -- Οι συντεταγμένες που κατέγραψε ο προσομοιωτής τη στιγμή της κίνησης.....	63
Εικόνα 5. 2 - Συντεταγμένες κάθε προσπέρασης	63
Εικόνα 5. 3 - Διάγραμμα αζιμούθιου στο φύλλο Data input.....	65
Εικόνα 5. 4 - Πέντε φάσεις της προσπέρασης στο διάγραμμα αζιμούθιων	67
Εικόνα 5. 5 - Τα δεδομένα μετά τη δευτερογενή μείωση.....	67
Εικόνα 5. 6 - Οι απαραίτητοι παράμετροι που καταγράφονται τη στιγμή της προσπέρασης.....	69

Εικόνα 5. 7 - Διαχωρισμός των βασικών φάσεων της προσπέρασης σε υπο-φάσεις (Πηγή [], N.Τραντάς)	70
Εικόνα 5. 8 - Υπολογιστικό περιβάλλον του Clothoid Analysis.....	73
Εικόνα 5. 9 - Μέρος των αποτελεσμάτων από το υπολογιστικό φύλλο για κάθε προσπέραση	73

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1. 1 - Βήματα της διπλωματικής εργασίας	15
---	----

Σχήμα 2. 1 - Κατανομή ηλικίας και φύλου στη μελέτη οδικού πεδίου σε σύγκριση με τη μελέτη προσομοιωτή οδήγησης.....	23
---	----

Σχήμα 3. 1 - Γωνιακό διάγραμμα καμπύλης αναφοράς.....	29
---	----

Σχήμα 3. 2 - Γωνιακό διάγραμμα γεωμετρικών στοιχείων οδών	30
---	----

Σχήμα 3. 3 - Γωνιακό διάγραμμα σύνθετης καμπύλης οδού.....	31
--	----

Σχήμα 3. 4 - Προσδιορισμός διακριτού γωνιακού διαγράμματος άξονα από συντεταγμένες σημείων πύκνωσης του	32
---	----

Σχήμα 3. 5 - Γεωμετρικά μεγέθη κύκλου διερχόμενου από τρία διαδοχικά σημεία πύκνωσης του άξονα	34
--	----

Σχήμα 3. 6 - Γραφική προσαρμογή κλασικών τόξων σε διακριτό γωνιακό διάγραμμα	35
--	----

Σχήμα 3. 7 - Πλήρες ανάπτυγμα της κλωθοειδούς καμπύλης	36
--	----

Σχήμα 3. 8 - Τμήμα μιας κλωθοειδούς καμπύλης και ένα τυχόν σημείο Σ πάνω σε αυτή	38
--	----

Σχήμα 3. 9 - Τμήμα κλωθοειδούς καμπύλης με επισημασμένα κάποια βοηθητικά μεγέθη	39
---	----

Σχήμα 3. 10 - Μια τυπική καμπύλη με ασύμμετρες κλωθοειδείς εισόδους και εξόδους στο σημείο πέρατος και στην περιοχή του σημείου K.....	41
--	----

Σχήμα 3. 11 - Μια τυπική διάταξη μιας S-καμπύλης σε ένα οδικό τμήμα.....	42
--	----

Σχήμα 3. 12 - Παράδειγμα S-καμπύλης.....	43
--	----

Σχήμα 3. 13 - Η τυπική διάταξη μιας κλωθοειδούς κορυφής	44
---	----

Σχήμα 3. 14 - Η γωνία διεύθυνσης ενός ευθύγραμμου τμήματος (αριστερά) και η κλίση του (δεξιά)	45
---	----

Σχήμα 3. 15 - Το διάγραμμα αζιμούθιων μιας ευθυγραμμίας είναι μια οριζόντια γραμμή	46
--	----

Σχήμα 3. 16 - Το διάγραμμα αζιμούθιων ενός κυκλικού τόξου είναι μια κεκλιμένη γραμμή.....	46
---	----

Σχήμα 3. 17 - Το διάγραμμα αζιμούθιων μιας κλωθοειδούς είναι μια παραβολή.....	47
--	----

Σχήμα 5. 1 - Διάγραμμα αζιμούθιων (πάνω) και η αντίστοιχη οριζοντιογραφία (κάτω) μιας τυπικής προσπέρασης (Πηγή: [, N.Τραντάς)	65
--	----

Σχήμα 5. 2 - Επιμερισμός της προσπέρασης σε διαφορετικές φάσεις με βάση το διάγραμμα αζιμούθιων (Πηγή: [, N.Τραντάς).....	66
---	----

Σχήμα 6. 1 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h)	75
---	----

Σχήμα 6. 2 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος(60-80 km/h)	75
--	----

Σχήμα 6. 3 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος(70-90 km/h)	76
--	----

Σχήμα 6. 4 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h).....	77
--	----

Σχήμα 6. 5 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος (60-80 km/h).....	77
--	----

Σχήμα 6. 6 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος (70-90 km/h).....	78
Σχήμα 6. 7 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο πρώτο σενάριο (5-70 km/h)	79
Σχήμα 6. 8 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο πρώτο σενάριο	79
Σχήμα 6. 9 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο τρίτο σενάριο	80
Σχήμα 6. 10 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος	80
Σχήμα 6. 11 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος.....	81
Σχήμα 6. 12 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος.....	81
Σχήμα 6. 13 - Το συνολικό μήκος προσπέρασης που προέκυψε για τα τρία σενάρια του οδικού πειράματος	82
Σχήμα 6. 14 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος	83
Σχήμα 6. 15 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος.....	83
Σχήμα 6. 16 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος.....	84
Σχήμα 6. 17 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το πρώτο σενάριο	84
Σχήμα 6. 18 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το δεύτερο σενάριο	85
Σχήμα 6. 19 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το τρίτο σενάριο	85
Σχήμα 6. 20 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος.....	90
Σχήμα 6. 21 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος	91
Σχήμα 6. 22 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος	91
Σχήμα 6. 23 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος	92
Σχήμα 6. 24 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος	93
Σχήμα 6. 25 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος	94
Σχήμα 6. 26 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο πρώτο σενάριο	95
Σχήμα 6. 27 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο δεύτερο σενάριο	95
Σχήμα 6. 28 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο τρίτο σενάριο	96
Σχήμα 6. 29 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος	96
Σχήμα 6. 30 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος.....	97
Σχήμα 6. 31 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος.....	98
Σχήμα 6. 32 - Το συνολικό μήκος προσπέρασης που προέκυψε για τα τρία σενάρια του οδικού πειράματος	99
Σχήμα 6. 33 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος	99

Σχήμα 6. 34 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος.....	100
Σχήμα 6. 35 – Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος.....	100
Σχήμα 6. 36 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το πρώτο σενάριο	101
Σχήμα 6. 37 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το δεύτερο σενάριο	102
Σχήμα 6. 38 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το τρίτο σενάριο	102

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 5. 1 - Δεδομένα του προσομοιωτή.....	60
Πίνακας 5. 2 – Περιβάλλον του Log-Raw	62
Πίνακας 5. 3 - Περιβάλλον του Log-Raw	62
Πίνακας 5. 4 - Τα δεδομένα του γωνιακού διαγράμματος.....	64
Πίνακας 5. 5 - Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου Dynamics.....	68
Πίνακας 6. 1 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 50-70 km/h.....	87
Πίνακας 6. 2 - - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 60-80 km/h.....	88
Πίνακας 6. 3 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 70-90 km/h.....	89
Πίνακας 6. 4 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 50-70 km/h.....	103
Πίνακας 6. 5 - - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 60-80 km/h.....	104
Πίνακας 6. 6 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 70-90 km/h.....	105

1. Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Η εποχή της αυτοματοποίησης που διανύουμε όχι μόνο ευνοεί αλλά επιτάσσει την αναγκαιότητα αλλαγής των παραδοσιακών τρόπων μετακίνησης, με την εισαγωγή των αυτόνομων πια οχημάτων. Η αυτοκινητοβιομηχανία αποτελεί έναν κλάδο συνεχώς εξελισσόμενο που επιχειρεί τη δοκιμή και παρουσίαση στην αγορά τεχνολογικών επιτευγμάτων που κάποτε περιείχαν μόνο οι ταινίες επιστημονικής φαντασίας. Ένα παράδειγμα επαναστατικής τεχνολογίας είναι τα αυτόνομα οχήματα. Χάρη στην τεχνολογία τους, τα αυτόνομα οχήματα κινούνται χωρίς την παρέμβαση οδηγού. Μάλιστα, όπως υποστηρίζεται και από έρευνες που παρουσιάζει το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, τα οφέλη που συνοδεύουν την αξιοποίηση της αυτοματοποιημένης κινητικότητας είναι αρκετά και βαρύνουσας σημασίας.



Εικόνα 1. 1- Επίπεδα Αυτοματοποιημένης Κινητικότητας

Πηγή: europarl.europa.eu

Αναλυτικότερα τα επίπεδα αυτοματοποιημένης κινητικότητας σε συνδυασμό με τη τεχνολογική ανάπτυξη είναι:

- Επίπεδο 0 - Μη αυτοματοποιημένη οδήγηση:
Ο οδηγός έχει τον απόλυτο έλεγχο του οχήματος, ακόμη και όταν υπάρχουν συστήματα προειδοποίησης ή παρέμβασης.
- Επίπεδο 1 - Συστήματα υποβοήθησης της οδήγησης:
Το όχημα έχει τη δυνατότητα να αλλάζει αυτόματα κατεύθυνση ή να επιταχύνει και να επιβραδύνει, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το οδικό περιβάλλον, προσδοκώντας ο οδηγός να έχει τον έλεγχο για όλες τις υπόλοιπες λειτουργίες οδήγησης.
- Επίπεδο 2 - Συνδυασμός λειτουργιών αυτοματισμού:
Το όχημα έχει τη δυνατότητα με περισσότερα από ένα συστήματα υποβοήθησης της οδήγησης, να αλλάζει κατεύθυνση ή να επιταχύνει/επιβραδύνει χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το οδικό περιβάλλον, προσδοκώντας ο οδηγός να έχει τον έλεγχο για όλες τις υπόλοιπες λειτουργίες οδήγησης.
- Επίπεδο 3 - Περιορισμένη αυτοματοποιημένη οδήγηση:
Το όχημα λειτουργεί με ένα αυτόματο σύστημα οδήγησης για όλες τις λειτουργίες, με την προσδοκία ότι ο οδηγός θα λάβει τον έλεγχο καταλλήλως όποτε χρειαστεί.
- Επίπεδο 4 - Πλήρως αυτοματοποιημένη οδήγηση, εκτός ειδικών συνθηκών:
Το όχημα λειτουργεί με ένα αυτόματο σύστημα οδήγησης για όλες τις λειτουργίες, ακόμη και αν ο οδηγός δε λάβει τον έλεγχο καταλλήλως όποτε χρειαστεί.
- Επίπεδο 5 - Πλήρως αυτοματοποιημένη οδήγηση:
Το όχημα λειτουργεί πλήρως με ένα αυτόματο σύστημα οδήγησης για όλες τις λειτουργίες, κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες οδού και περιβάλλοντος που μπορεί να ελέγξει ένας οδηγός.

Το βασικότερο όφελος αλλά συνάμα και το μεγαλύτερο κίνητρο για την εφαρμογή της αυτοματοποιημένης κινητικότητας είναι η μείωση των ατυχημάτων. Σύμφωνα με τα δεδομένα του 2021 που παρουσιάζει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας¹, περίπου 1,3 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο εξαιτίας της εμπλοκής τους σε αυτοκινητιστικό δυστύχημα. Επιπροσθέτως, όπως αναφέρει έκθεση του 2016 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή², ο κύριος λόγος πρόκλησης των ατυχημάτων είναι τα ανθρώπινα σφάλματα. Χαρακτηριστικά υπογραμμίζεται: « στο 95 % περίπου των τροχαίων ατυχημάτων υπεισέρχεται σε κάποιο επίπεδο ανθρώπινο σφάλμα, ενώ εκτιμάται ότι το 75 % των οδικών ατυχημάτων οφείλεται αποκλειστικά σε ανθρώπινο σφάλμα». Έτσι, λοιπόν, η κυκλοφορία μη επανδρωμένων με οδηγούς οχημάτων μειώνει τον κίνδυνο πρόκλησης ατυχημάτων εξ αιτίας ανθρώπινου λάθους και παράλληλα ενισχύει την οδική ασφάλεια .

Τα προτερήματα των ψηφιακών τεχνολογιών αφορούν, ακόμη, και στη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος εφόσον τα ομαλότερα χαρακτηριστικά επιτάχυνσης/επιβάρυνσης και τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε όρους ροής κυκλοφορίας που

¹ <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/economy/20190110STO23102/autonoma-autokinita-stin-ee-apo-epistimoniki-fantasia-se-apti-pragmatikotita> , τελευταία ανάκτηση 31/10/2021

² <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/economy/20190110STO23102/autonoma-autokinita-stin-ee-apo-epistimoniki-fantasia-se-apti-pragmatikotita> , τελευταία ανάκτηση 31/10/2021

διαθέτουν οι συγκεκριμένοι τύποι οχημάτων οδηγούν σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και εντέλει στην εκπομπή λιγότερων ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.

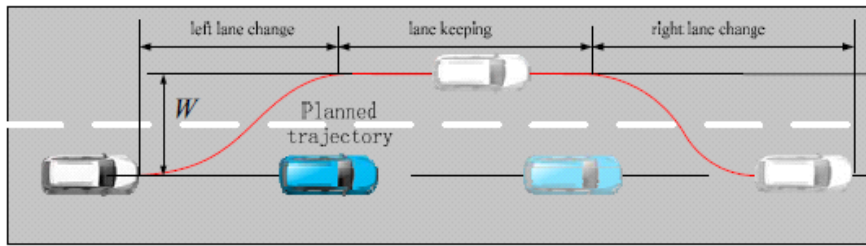
Επιπλέον, τα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη των αυτόνομων οχημάτων εντοπίζονται στην ενίσχυση της προσβασιμότητας και την παροχή ευκαιριών για μετακίνηση σε άτομα με κινητικές δυσκολίες και στους ηλικιωμένους. Το άνοιγμα νέων θέσεων εργασίας στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας εξ αίτιας της αυξημένης πώλησης των οχημάτων αυτών που υπολογίζεται ότι θα προκύψει προσμετράται επίσης ως σημαντικό όφελος.



Εικόνα 1. 2 – Τα Οφέλη της Αυτοματοποιημένης Κινητικότητας

Πηγή: europarl.europa.eu

Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι για να μπορέσουν τα παραπάνω οφέλη να ισχύσουν πρέπει να εξασφαλιστεί πλήρως ότι το όχημα είναι απολύτως ικανό να αντιληφθεί τις δράσεις και ενέργειες που συμβαίνουν στο περιβάλλον όπως θα το έκανε ένας πραγματικός οδηγός. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η **πραγματοποίηση του ελιγμού προσπέρασης**, της επίτευξης δηλαδή των τριών φάσεων προσπέρασης. Η πρώτη φάση λαμβάνει χώρα όταν το όχημα θα πρέπει να εισέλθει στην αντίθετη λωρίδα κατεύθυνσης, η δεύτερη, όταν κινείται παράλληλα με το όχημα που προσπερνά και η τρίτη, όταν επανέρχεται στην αρχική λωρίδα.



Εικόνα 1. 3 - Η τροχιά ενός ελιγμού προσπέρασης και οι τρεις φάσεις από τις οποίες αποτελείται

(πηγή: Zhang et al., 2013, October)

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε η διερεύνηση των φάσεων προσπέρασης μέσω μετρήσεων σε προσομοιωτή οδήγησης. Οι μετρήσεις προέκυψαν από οδηγούς που συμμετείχαν στο πείραμα, εκτελώντας τις προσπεράσεις σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Η ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων έχει ως στόχο την ασφάλεια των χρηστών του οδικού δικτύου αλλά και τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν αναγκαία τη περαιτέρω διερεύνηση της εισαγωγής των αυτόνομων οχημάτων στα οδικά δίκτυα ώστε να επιτευχθεί αυτή μέσα στα επόμενα χρόνια. **Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επισκόπηση της τροχιάς προσπέρασης ενός αυτόνομου οχήματος.** Συγκεκριμένα, μελετήθηκε ο τρόπος που οι οδηγοί που συμμετείχαν στο πείραμα, ξεκινούσαν την προσπέραση αλλάζοντας λωρίδα και την ολοκλήρωναν όταν επανέρχονταν στην αρχική λωρίδα. Οι μετρήσεις καταγράφηκαν μέσω **προσομοιωτή οδήγησης** λαμβάνοντας υπ' όψιν 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 διερευνήσει και να ανακαλύψει νέες παραμέτρους που επιδρούν πάνω στην τροχιά του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια του ελιγμού 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

Στο σημείο αυτό περιγράφεται σε αδρές γραμμές η μέθοδος που ακολουθήθηκε ώστε να διαμορφωθεί τόσο ο στόχος της παρούσας μελέτης όσο και ο τρόπος επίτευξης του.

Το πρώτο βήμα ήταν η βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος των αυτόνομων οχημάτων. Έγινε σχετική έρευνα που βασίστηκε σε διαδικτυακή αναζήτηση άρθρων που επεξεργάζονται το ζητούμενο θέμα αλλά και προηγούμενων διπλωματικών 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, καθώς και για τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία που μελετήθηκε.

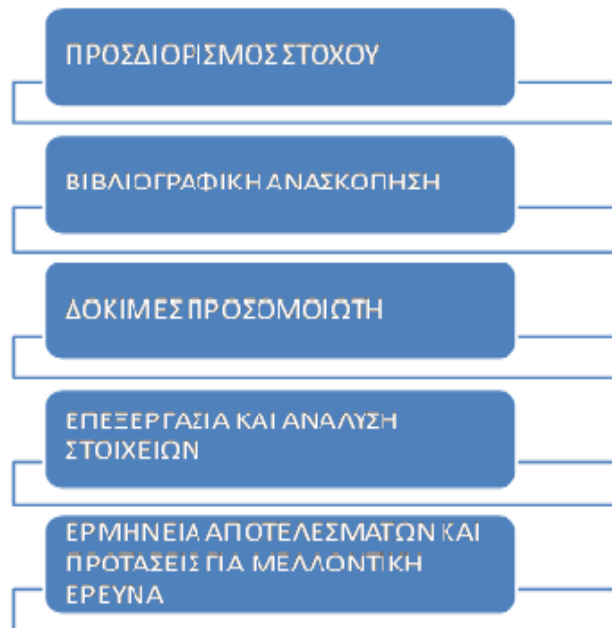
Αναφορικά με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την παρούσα διπλωματική, αποφασίστηκε πως θα χρησιμοποιηθεί **προσομοιωτής οδήγησης** για τη συλλογή στοιχείων προσπέλασης. Οι οδηγοί- συμμετέχοντες στο πείραμα ήταν άτομα νεαρής ηλικίας μεταξύ 20 και 27 ετών με 4,5 έτη εμπειρίας κατά μέσο όρο. Ο αριθμός των χρηστών που συμμετείχαν ήταν 31, δείγμα που ικανοποιεί τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Η συμπλήρωση ερωτηματολογίου από τους οδηγούς προηγήθηκε της διαδικασίας οδήγησης στον προσομοιωτή. Πιο συγκεκριμένα, τα ερωτηματολόγια αφορούσαν τα δημογραφικά στοιχεία των συμμετεχόντων, την οδηγική τους συμπεριφορά και τις συνήθειες τους καθώς και την εμπειρία τους.

Υστερα, όλοι οι οδηγοί πραγματοποίησαν συνολικά από τέσσερις δοκιμές στον προσομοιωτή οδήγησης. Η πρώτη δοκιμή έγινε χάριν εξοικείωσης των συμμετεχόντων χωρίς να προσμετρώνται τα δεδομένα. Οι υπόλοιπες τρεις δοκιμασίες, από τις οποίες συλλέχθηκαν τα δεδομένα, ακολουθούσαν το ίδιο σενάριο οδήγησης με μόνη διαφορά την μεταβολή των ορίων ταχύτητας που μπορούσαν να αναπτύξουν οι συμμετέχοντες. Μετά το πέρας κάθε δοκιμασίας, το λογισμικό του προσομοιωτή οδήγησης κατέγραφε τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε αρχείο μορφής txt. Μεταξύ άλλων τα καταγεγραμμένα δεδομένα αφορούσαν στη χιλιομετρική απόσταση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση, την απόσταση από το πορευμένο όχημα και το χρόνο.

Προκείμενου να προσδιοριστεί η γεωμετρία του οχήματος που προσπερνά, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των δεδομένων με τη χρήση του γωνιακού διαγράμματος. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τις συντεταγμένες της τροχιάς του οχήματος που προσπερνά ώστε να υπολογιστούν οι ακτίνες καμπυλότητας. Με τον τρόπο αυτόν υπολογίστηκαν τα στοιχεία των αντίρροπων τόξων που προκύπτουν κατά τον ελιγμό προσπέρασης.

Στο σύνολο αναλύθηκαν 211 ελιγμοί προσπέρασης. Από αυτούς, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια που αναφέρονται παρακάτω, αποκλείστηκαν ορισμένα από τα δεδομένα της μελέτης. Τα υπόλοιπα δεδομένα καταγράφηκαν σε πίνακα με τη χρήση υπολογιστικού φύλλου.

1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας



Σχήμα 1. 1 - Βήματα της διπλωματικής εργασίας

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της Διπλωματικής εργασίας, η οποία θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια. Αρχικά, επιχειρείται η γενική ανασκόπηση του αντικείμενου που πραγματεύεται η παρούσα έρευνα. Έπειτα, δηλώνεται ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας που αφορά τη διερεύνηση της τροχιάς προσπέρασης αυτόνομων οχημάτων. Καταληκτικά, αναφέρεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε η οποία περιλαμβάνει τις δοκιμές του προσομοιωτή οδήγησης και την επεξεργασία των δεδομένων με χρήση του γωνιακού διαγράμματος και των κλωθοειδών τόξων.

Κεφαλαίο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναφορικά με έρευνες που αντικείμενο τους έχουν τη μελέτη των προσπεράσεων αυτόνομων οχημάτων και το μήκος ορατότητας. Οι μελέτες αυτές παρουσιάζουν συνάφεια με το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Για το λόγο αυτό, επισημαίνεται και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κάθε φορά. Εν ολίγοις, στο σημείο αυτό της εργασίας απαριθμούνται συνοπτικά τα αποτελέσματα της προτυποποίησης του ελιγμού της προσπέρασης.

Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό υπόβαθρο

Στο τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο που αποτελεί τη βάση για τη συγκεκριμένη Διπλωματική εργασία. Αναλυτικότερα, περιέχει πληροφορίες που αφορούν στα βασικά στοιχεία του προσομοιωτή που χρησιμοποιήθηκε στο πειραματικό κομμάτι της εργασίας οι οποίες προέρχονται από τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία. Επίσης, αναφέρονται θεωρητικά στοιχεία του γωνιακού διαγράμματος ,των κλωθειδών καμπυλών και των θηκογραμμάτων μέσω των οποίων έγινε η επεξεργασία των δεδομένων που προήλθαν από τον προσομοιωτή.

Κεφάλαιο 4: Συλλογή στοιχείων

Στο σημείο αυτό γίνεται η παρουσίαση της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να πραγματοποιηθεί η εν λόγω έρευνα. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε προσομοιωτής οδήγησης από πραγματικούς οδηγούς. Το επιλεγμένο δείγμα αφορά σε άτομα νεαρής ηλικίας, που είναι κάτοχοι διπλώματος κατηγορίας Β. Πριν τη δοκιμασία, οι υποψήφιοι που συμμετείχαν στο οδικό πείραμα απάντησαν σε ερωτηματολόγιο αναφορικά με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά και τις οδηγικές τους συνήθειες.

Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή Μεθοδολογίας και Επεξεργασίας δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται όλη η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφηκαν. Αναφέρεται όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε στα υπολογιστικά φύλλα του Excel με βάση τα δεδομένα του προσομοιωτή, συγκεντρώνοντας στο τελευταίο φύλλο όλες τις απαραίτητες παραμέτρους και αφού έγινε ο διαχωρισμός ανάλογα με τις ταχύτητες που εκτελούσαν τις προσπεράσεις, αναλύθηκαν αυτές γραφικά με τη μέθοδο των διαγραμμάτων πλαισίου.

Κεφάλαιο 6 : Αποτελέσματα

Στο σημείο αυτό παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της επεξεργασίας των παραμέτρων με τη μέθοδο των θηκογραμμάτων και αναφέρονται οι αντίστοιχες παρατηρήσεις πάνω σε αυτά.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Μέσω του κεφαλαίου αυτού, σταχυολογούνται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας . Παράλληλα, τονίζεται η χρησιμότητα των συμπερασμάτων που ενισχύουν τις υπάρχουσες γνώσεις για την αυτόνομη οδήγηση. Επιπλέον, μελλοντικές έρευνες μπορούν να αξιοποιήσουν τα ευρήματα της παρούσας έρευνας καθώς και τις προτάσεις που δίνονται.

Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφικές αναφορές

Κλείνοντας παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική εργασία για τη διευκόλυνση του αναγνώστη που επιθυμεί να αναζητήσει τις συνημμένες πηγές.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιλαμβάνονται έρευνες που αφορούν στην προτυποποίηση της διαδικασίας προσπέρασης των αυτόνομων οχημάτων με τη χρήση διάφορων μεθοδολογιών. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθεται μια σειρά ερευνών για τις οποίες επισημαίνεται ο στόχος, τα βήματα, η μεθοδολογία που ακολούθησαν και τα αποτελέσματα τους με μεγαλύτερη έμφαση σε εκείνα που παρουσιάζουν συσχέτιση με την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Σημαντικός σκοπός της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η αξιολόγηση των συγκεκριμένων εργασιών και ο προσδιορισμός των χρήσιμων στοιχείων που θα συντελέσουν στην επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας, η οποία θα επιτύχει τον στόχο της Διπλωματικής Εργασίας.

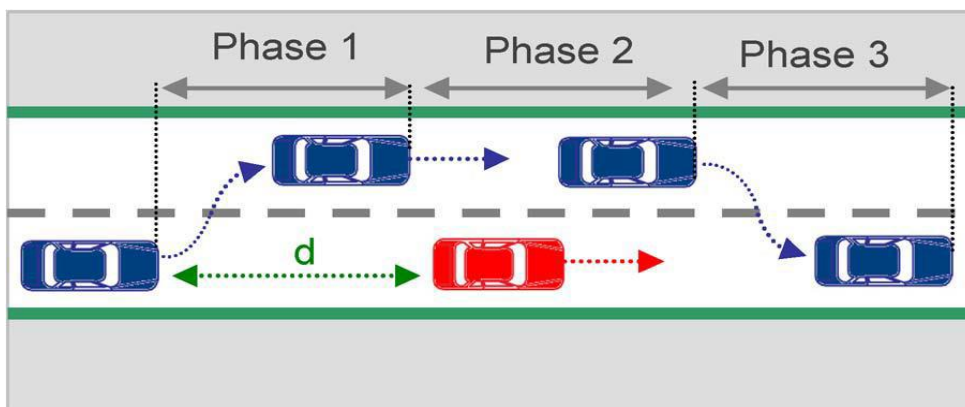
2.2 Συναφείς έρευνες

Στο υποκεφάλαιο αυτό υπογραμμίζονται τα βασικά σημεία των ερευνών που σχετίζονται με την τροχιά προσπέρασης, το μήκος ορατότητας, την ταχύτητα και την απόσταση από το όχημα που προπορεύεται τόσο στην αρχή όσο και στο τέλος της προσπέρασης. Βάση των ερευνών αυτών είναι οι πειραματικές εκτιμήσεις και υπολογιστικές μέθοδοι σε πραγματικό περιβάλλον και σε περιβάλλον προσομοιωτή. Βασικός σκοπός της παράθεσης των παρεμφερών ερευνών είναι η σύγκριση τους με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

2.3 Modelling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking (2014)³

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.

Στα πλαίσια 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

³ Plamen Petrov and Fawzi Nashasibi (2014) "Modeling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems

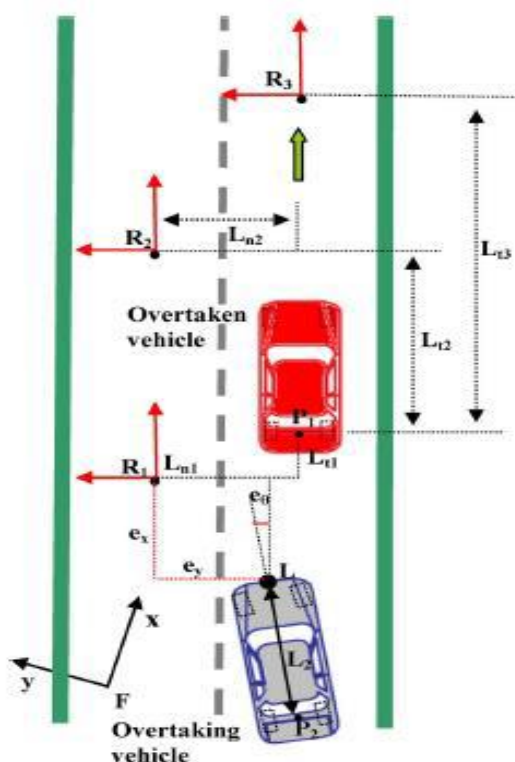
Αναλυτικότερα, η πρώτη φάση αποτελείται από τον ελιγμό για την αλλαγή λωρίδας. Ξεκινώντας από κάποιες αρχικές συνθήκες το όχημα που προσπερνάει αποκλίνει από την λωρίδα κυκλοφορίας και ακολουθεί μια δεδομένη τροχιά αναφοράς για μια δεδομένη χρονική περίοδο και πρέπει να φτάσει σε μια προεπιλεγμένη θέση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

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την οδήγηση παράλληλα με το προσπερασμένο 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 ορίζονται με βάση τους κανόνες λειτουργίας και οδικής ασφάλειας που ισχύουν για τις προσπεράσεις.

Για τον σχεδιασμό της τροχιάς κάθε φάσης θεωρείται 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 - Σχέδιο του ελιγμού προσπέρασης, (2014)⁴

⁴ Plamen Petrov and Fawzi Nashasibi (2014) "Modeling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems

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.

2.4. Passing Sight Distance Assessment through the Interaction of Road-Vehicle Parameters, 2019 ⁵

Οι ρυθμοί της τεχνολογίας επιτάσσουν την ανάγκη να εξελιχθούν τα συνδεδεμένα οχήματα (CV) σε αυτόνομα οχήματα (AV). 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

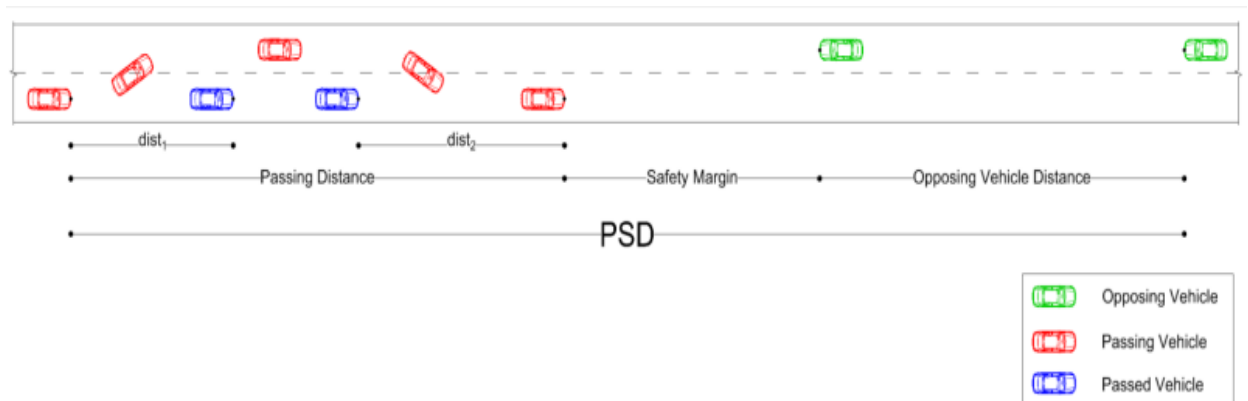
Ειδικότερα, στοχεύει στην παροχή ενός εργαλείου για την τυποποίηση της διαδικασίας διέλευσης ενόψει του συνεχώς εξελισσόμενου ADAS στα οχήματα. Η ανάλυση της διαδικασίας διέλευσης των οχημάτων, υποθέτοντας συνθήκες ελεύθερης ροής, περιλαμβάνει τη συμβολή τριών οχημάτων διαφορετικών χαρακτηριστικών κίνησης: Το όχημα που προσπερνάει, το όχημα που προσπερνάται και το όχημα της αντίθετης κατεύθυνσης.

Βάση σχετικής έρευνας εφαρμόστηκαν τα ακόλουθα κριτήρια:

- Η ταχύτητα και των τριών οχημάτων δεν υπερβαίνει ποτέ το όριο ταχύτητας.
- Η ταχύτητα κίνησης του οχήματος που προσπερνάται είναι σταθερή με τιμή ΔV 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 (dist1) μεταξύ του οχήματος που προσπερνά και προσπερνάται στην φάση εκκίνησης του ελιγμού εκτιμήθηκε 15m.
- Η απόσταση (dist2) 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.

⁵ Stergios Mavromatis, Vassilios Matragos, Rania Liza, Konstantinos Apostoleris, Lazaros Grammatikopoulos and George Yannis (2019) "Passing sight distance assessment through the interaction of road – vehicle parameters" , National Technical University of Athens

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

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 (ΔV) μεταξύ του οχήματος που προσπερνάται και του ορίου ταχύτητας, βρέθηκε να επηρεάζει υπερβολικά το PSD, ειδικά για $\Delta V < 20\text{km}/\text{ώρα}$.
- 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.

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 $\Delta V = 10\text{km}/\text{h}$ που είναι ένας πιθανός αντίκτυπος στο λειτουργικό επίπεδο της οδού.

2.5. Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment, 2016⁶

Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να συγκριθεί η 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 επι 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.

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.

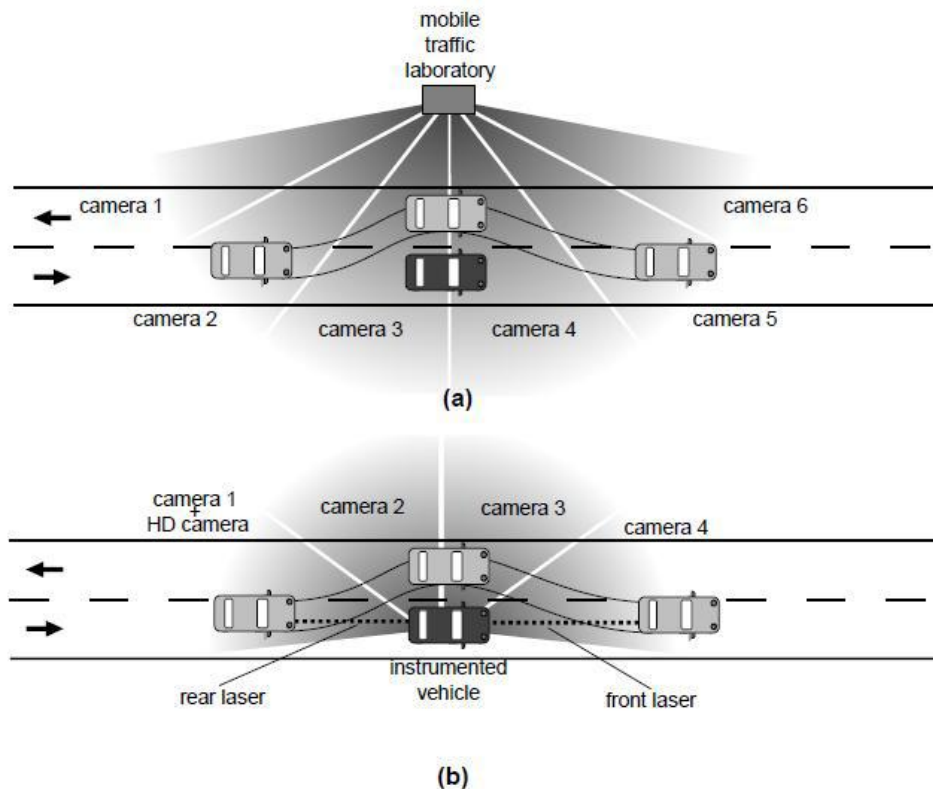
~ Μελέτη σε οδικό περιβάλλον

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

⁶ Carlos Llorca PhD Highway Engineering Research Group Universitat Politecnica 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"

βιντεοκάμερες ήταν εγκατεστημένες στην κορυφή μιας αρθρωτής πλατφόρμας (mobile traffic laboratory (MTL)) ανέλκυστήρα 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 2.4 απεικονίζει τη διαδικασία της συλλογή δεδομένων.



Εικόνα 2. 4 - Στατική και δυναμική μέθοδος παρατήρησης προσπεράσεων

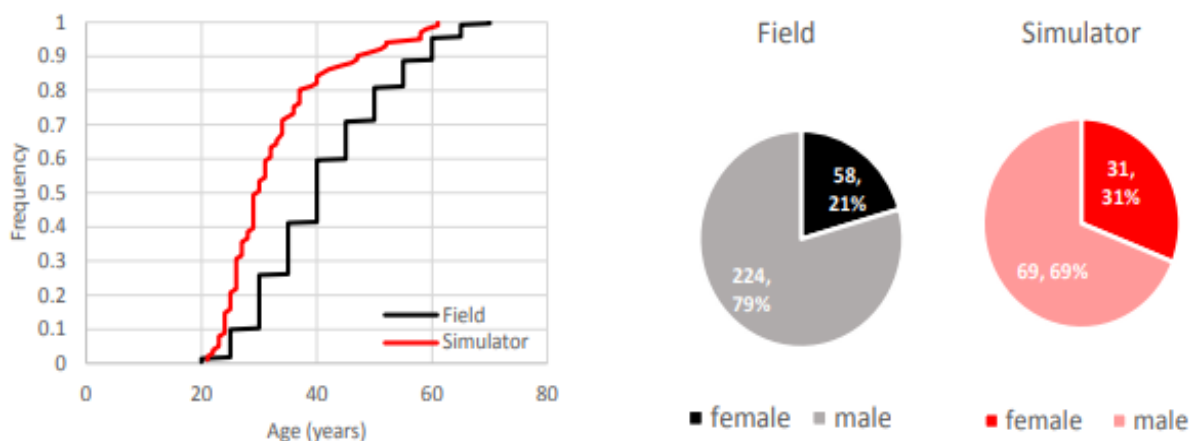
~ Μελέτη σε περιβάλλον προσομοιωτή

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 στην παρακάτω Εικόνα 2.5.

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 Min: 5.0 s, Max: 25.0 s	Mean: 18.0 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 40 and 80 km/h	33% between 80 and 120 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 40 and 80 km/h	33% between 80 and 120 km/h 67% between 40 and 80 km/h

Εικόνα 2. 5 - Παράγοντες που περιλαμβάνονται στον πειραματικό σχεδιασμό

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 Σχήμα 2.1 παρουσιάζει μια σύγκριση της ηλικίας και του φύλου των συμμετεχόντων στη μελέτη πεδίου και τη μελέτη σε περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης.



Σχήμα 2. 1 - Κατανομή ηλικίας και φύλου στη μελέτη οδικού πεδίου σε σύγκριση με τη μελέτη προσομοιωτή οδήγησης

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.

2.6. Modeling and Intelligent Control System Design for Overtaking Maneuver in Autonomous Vehicles(2011)⁷

Η μελέτη αυτή ερευνά την δημιουργία ενός έξυπνου συστήματος ελέγχου με σκοπό να καθοδηγεί τον ελιγμό της προσπέρασης σε ασφαλή και ομαλή τροχιά, με απόδοση καλύτερη από αυτή των υπάρχοντων συστημάτων.

Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα μοντέλα τα οποία θεωρούν σταθερές τιμές σε κάποιες από τις παραμέτρους που σχετίζονται με την ανθρώπινη συμπεριφορά κατά της διαδικασία της προσπέρασης, στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται ένα μοντέλο νευρικού δικτύου (neural network NN) το οποίο βασίζεται σε δεδομένα πραγματικών προσπεράσεων και σε στιγμιαίες τιμές για τις μεταβλητές αυτές.

Τα δεδομένα αυτά, που χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση του μοντέλου neural network, λήφθηκαν από κυκλοφοριακή βάση δεδομένων και αφορούν τροχιές προσπεράσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά την πρωινή αιχμή σε οδικό τμήμα αυτοκινητόδρομου στην California. Στο τμήμα αυτό, συνολικού μήκους 640 μέτρων, καταγράφηκαν συνολικά 6100 προσπεράσεις σε τρεις συνεχόμενες δεκαπεντάλεπτες περιόδους.

Το μοντέλο που αναπτύσσεται στα πλαίσια της μελέτης χρησιμοποιεί την γωνία διεύθυνσης και την επιτάχυνση του οχήματος που λαμβάνονται από τα δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω και σαν αποτέλεσμα δίνει την εγκάρσια και διαμήκη μετατόπιση του. Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του, το μοντέλο προσομοιώνεται στα λογισμικά Simulink και MATLAB.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επιβεβαίωσαν ότι το μοντέλο που δημιουργήθηκε βρίσκεται πολύ κοντά με τα πραγματικά δεδομένα των προσπεράσεων. Επίσης, το μοντέλο αυτό φαίνεται να παρουσιάζει βελτίωση συγκριτικά με τα υπάρχοντα μοντέλα λόγω της χρήσης στιγμιαίων τιμών για τις μεταβλητές που παρέχουν ακριβέστερα αποτελέσματα.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της έρευνας δεν λαμβάνει υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και των οχημάτων καθώς ην παρουσία του προπορευόμενου οχήματος για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητα να επέλθουν βελτιώσεις στα σενάρια

⁷ A. Ghaffari, A.R. Khodayari, F. Alimardani, H. Sadati (2011) "Modeling and Intelligent Control System Design for Overtaking Maneuver in Autonomous Vehicles", K.N Toosi University of Technology, Mechanical Engineering Department

οδήγησης στο περιβάλλον του προσομοιωτή. Οι βελτιώσεις αυτές αφορούν την χρήση διαφορετικών οδών και κυκλοφοριακών συνθηκών ώστε τα δεδομένα του προσομοιωτή οδήγησης να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύγκριση με τα δεδομένα που λαμβάνονται από την παραδοσιακή παρατήρηση των ελιγμών προσπέρασης

2.7. Functional and Acceptance of Overtaking Assistant Design Tested in Driving Simulator Experiment (2006)⁸

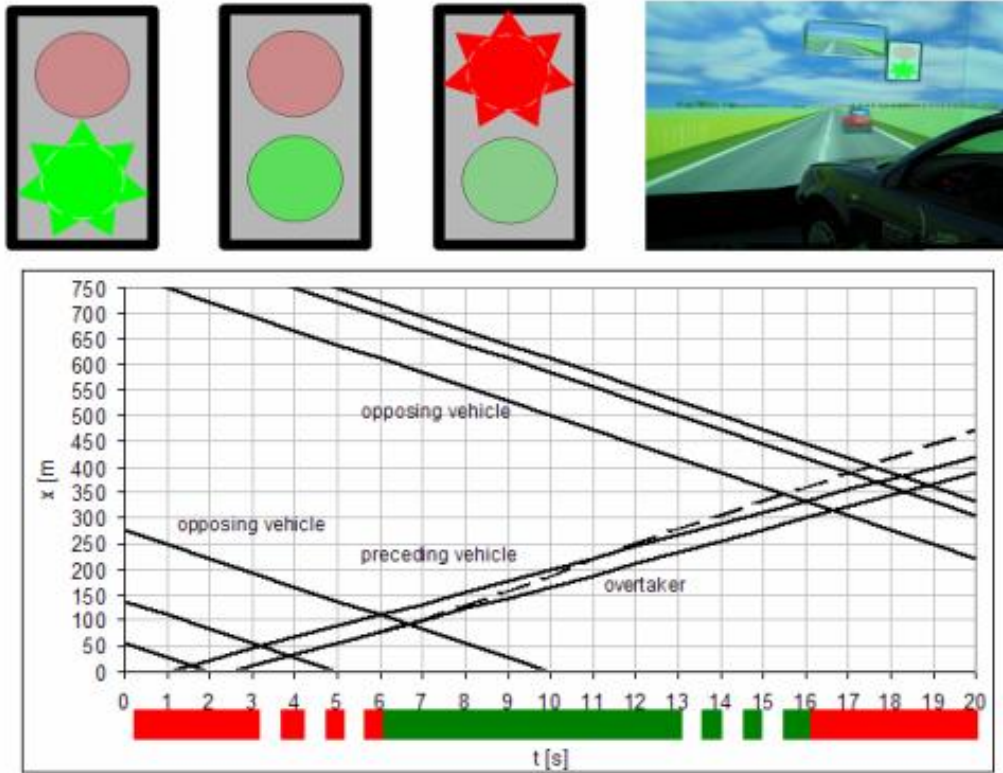
Στόχος της μελέτης αυτής είναι η δημιουργία ενός βοηθητικού συστήματος οδήγησης για τον ελιγμό της προσπέρασης. Το σύστημα αυτό ενημερώνει τον οδηγό τότε είναι ασφαλές να πραγματοποιήσει προσπέραση ανάλογα με τον χρόνο που έχει στην διάθεση του έως ότου το όχημα από την αντίθετη κατεύθυνση να πλησιάσει.

Προκειμένου να εξετασθούν διαφορετικά σενάρια προσπέρασης και να ληφθούν τα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιήθηκε προσομοιωτής οδήγησης. Στο πείραμα συμμετείχαν 24 έμπειροι οδηγοί, 12 άντρες και 12 γυναίκες, οι οποίοι διέθετε εμπειρία με τον συγκεκριμένο προσομοιωτή οδήγησης που χρησιμοποιήθηκε. Η ηλικία κυμαινόταν κατά μέσο όρο στα 45 έτη. Κάθε οδηγός είχε κατά μέσο όρο, άδεια οδήγησης 26 έτη και είχε οδηγήσει τουλάχιστον 17000 χιλιόμετρα το τελευταίο έτος. Κάθε οδηγός, σε ένα χρονικό πλαίσιο τριών ωρών, συμπλήρωσε ερωτηματολόγια και πέρασε μια σύντομη εκπαίδευση στον προσομοιωτή καθώς παρόλη την εμπειρία που διέθεταν χρειάστηκε λίγος χρόνος για να εξοικειωθούν με τον χειρισμό του.

Οι οδηγοί οδήγησαν 15 λεπτά με ή και χωρίς το βοηθητικό σύστημα προσπέρασης το οποίο αναπτύχθηκε με βάση παλαιότερες έρευνες αναφορικά με την τροχιά προσπέρασης. Το σύστημα αυτό υπολογίζει τον διαθέσιμο χρόνο για την πραγματοποίηση της προσπέρασης λαμβάνοντας υπόψη το προπορευόμενο όχημα καθώς και την αντίθετη κίνηση. Προβλέπει τον χρόνο που απομένει μεταξύ της άφιξης του πρώτου οχήματος από την αντίθετη κατεύθυνση λαμβάνοντα υπόψη την ταχύτητα του, την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος καθώς και την επιτάχυνση του. Με βάση τον χρόνο αυτό το βοηθητικό σύστημα δείχνει στον οδηγό τότε είναι ασφαλές να εκτελεστεί η προσπέραση. Κατά την διάρκεια του πειράματος το βοηθητικό σύστημα προβάλλεται στην μπροστινή οθόνη δίπλα στον πίσω καθρέπτη. Όσον αφορά την λειτουργία του, μια κόκκινη ένδειξη εμφανίζεται όταν δεν είναι ασφαλές το όχημα να προσπεράσει ενώ πράσινη ένδειξη εμφανίζεται όταν μπορεί μια προσπέραση να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια. Αυτό συμβαίνει, όταν όλα τα οχήματα από την αντίθετη κατεύθυνση έχουν περάσει. Κάθε προσπέραση διήρκεσε 8 δευτερόλεπτα.

Μια απεικόνιση της λειτουργίας του βοηθητικού συστήματος προσπέρασης εμφανίζεται στην Εικόνα 2.6.

⁸ Geertje Hegerman, Karel A Brookhuis, Richard van der Horst and Serge Hoogendoorn (2006) "Functional and Acceptance of Overtaking Assistant Design Tested in Driving Simulator Experiment", Article in Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board



Εικόνα 2. 6 - Περιβάλλον του προσομοιωτή και απεικόνιση της λειτουργίας του

Το οδικό περιβάλλον ήταν παρόμοιο με το Ολλανδικό μιας και τα οχήματα που συναντούσαν οι οδηγοί μπροστά τους προγραμματίστηκαν σε 3 ταχύτητες. Το πρώτο με σταθερή ταχύτητα 75 χλμ/ώρα, το δεύτερο με 85 χλμ/ώρα και το τρίτο άλλαζε ταχύτητα κάθε 8 δευτερόλεπτα μεταξύ 76 και 91 χλμ/ώρα. Τα οχήματα που ερχόντουσαν από την αντίθετη κατεύθυνση προγραμματίστηκαν να πηγαίνουν με 100 χμ/ώρα η οποία ήταν το όριο ταχύτητας της οδού.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι το βοηθητικό σύστημα ήταν σε λειτουργία οι οδηγοί πραγματοποιούν προσπεράσεις μικρότερο μηκών από ότι χωρίς αυτό. Επίσης από ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν οι συμμετέχοντες μετά την λήξη του πειράματος πρόέκυψε ότι 23 από τους 24 συμμετέχοντες προτιμούν το βοηθητικό σύστημα να ενεργοποιείται χειροκίνητα ενώ μισοί από τους συμμετέχοντες συμφώνησαν ότι η προσπέραση με το βοηθητικό σύστημα ήταν λίγο πιο δύσκολη παρά χωρίς αυτό.

Ενδιαφέρον σημείο επίσης είναι ότι οι γυναίκες είχαν υψηλότερο ποσοστό προσπεράσεων με τη χρήση του βοηθητικού συστήματος από τους άνδρες που προτιμούσαν την πραγματοποίηση προσπέρασης χωρίς αυτό.

3.Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό βασίζεται στην επεξήγηση και την παρουσίαση των θεωρητικών εννοιών και μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία των δεδομένων. Η συλλογή των δεδομένων έγινε από **προσομοιωτή οδήγησης** για υπεραστική οδό δύο λωρίδων. Ακολούθησε η επεξεργασία μέσω του **γωνιακού διαγράμματος**, της **κλωθοειδούς καμπύλης** και του **διαγράμματος αζιμούθιων**. Ο ορισμός της κάθε έννοιας και οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται παρακάτω.

3.2 Προσομοιωτής Οδήγησης

Η συλλογή δεδομένων προέκυψε από δείγματα προσπεράσεων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Κυκλοφοριακής Τεχνικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Οι προσπεράσεις μετρήθηκαν με προσομοιωτή οδήγησης **Dr.Foerst F12PF-2A88-NR**.

Ο προσομοιωτής αποτελείται:

- ❖ Από μία καμπίνα οδηγού οχήματος μοντέλου Ford Focus η οποία περιλαμβάνει :
 1. Κάθισμα οδήγησης, ρυθμιζόμενο
 2. Τιμόνι διαμέτρου 27cm
 3. Καντράν με ταχύμετρο και στροφόμετρο
 4. Τρία ποδόπληκτρα (επιτάχυνσης, επιβράδυνσης, συμπλέκτης)
 5. Ζώνη ασφαλείας
 6. Λεβιέ χειροκίνητο 5 ταχυτήτων και μία όπισθεν
 7. Χειρόφρενο
 8. Διακόπτες (φλας, υαλοκαθαριστήρων ,φώτα ,κόρνα ,θέση καθρεφτών)



Εικόνα 3. 1 - Προσομοιωτής Οδήγησης

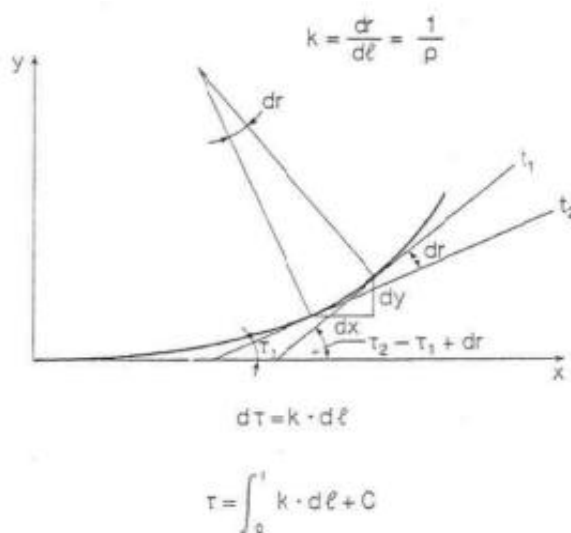
- ❖ Από 3 τραπεζοειδείς οθόνες LCD40", διαστάσεων 230 X 180 cm και πλάτος βάσης 78 cm. Το οπτικό τους πεδίο είναι 170 μοίρες. Οι οθόνες ήταν τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη, με την μεσαία να είναι μπροστά στη θέση του οδηγού και να απεικονίζει την εικόνα που έχει ο δρόμος όπως την βλέπει ο ίδιος κατά την διάρκεια της διαδρομής. Ενώ 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. Forest F12PF-3A88-NR

3.3 Γωνιακό Διάγραμμα

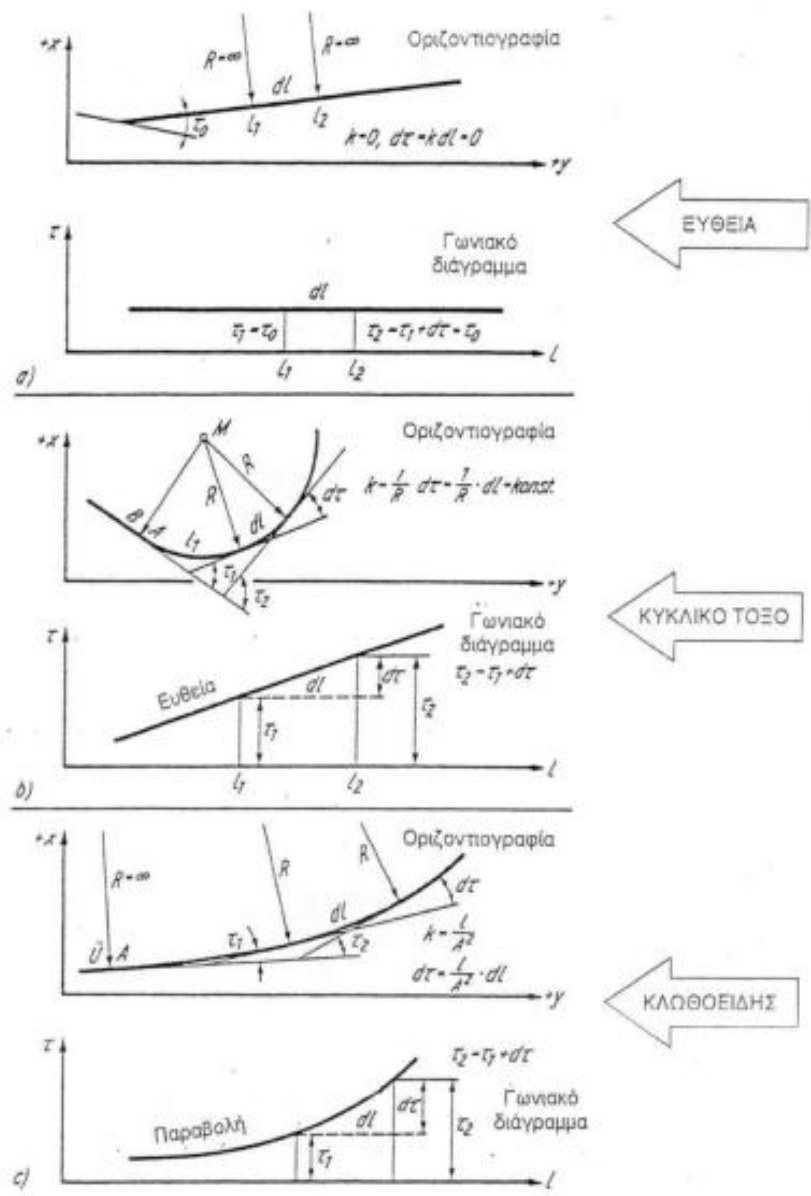
Ως **γωνιακό διάγραμμα** ορίζεται το διάγραμμα, που δίνει τη γωνία διεύθυνσης της καμπύλης αναφοράς της οδού συναρτήσει της χιλιομετρικής θέσης. Μαθηματικά προκύπτει ως το ολοκλήρωμα της συνάρτησης καμπυλότητας (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 -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 προσπέρασης με την έννοια ότι δύναται να προσδιοριστούν τα επιμέρους γεωμετρικά στοιχεία αυτής.

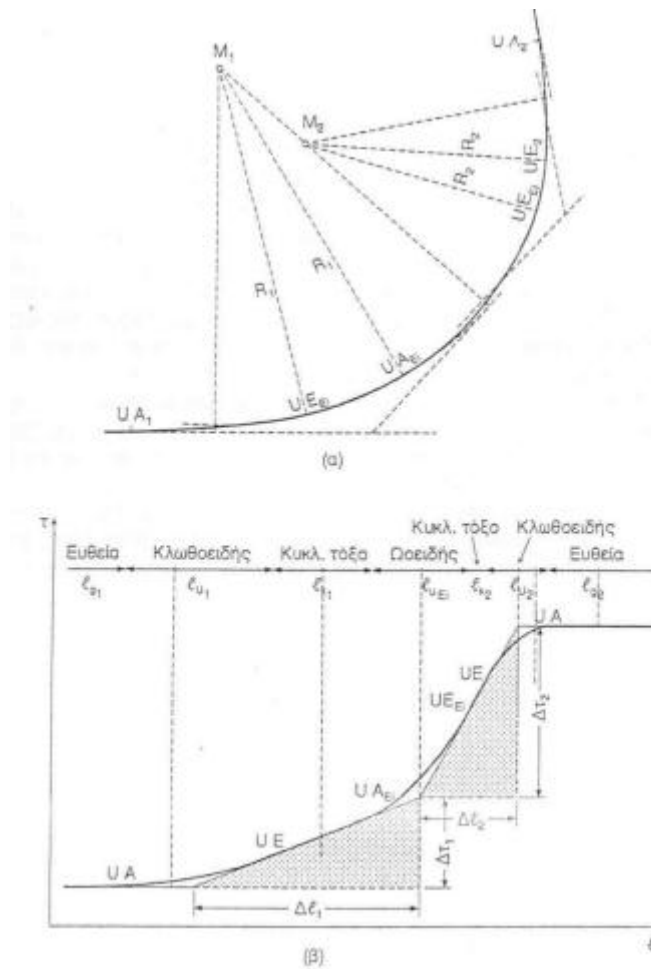
Στο παρακάτω Σχήμα 3.2 παρουσιάζονται η οριζοντιογραφία και το αντίστοιχο γωνιακό διάγραμμα μιας ευθείας, της κλωθοειδούς και του κυκλικού τόξου.



Σχήμα 3.2 - Γωνιακό διάγραμμα γεωμετρικών στοιχείων οδών

Παρατίθεται ένα παράδειγμα, από τις σημειώσεις του μαθήματος Οδοποιίας 1 του κ. Βασιλείου Ψαριανού⁹, οριζοντιογραφίας από αλληλουχία γεωμετρικών στοιχείων και το αντίστοιχο γωνιακό διάγραμμα του άξονα.

⁹ Ψαριανός Β., "Οδοποιία Ι - Σημειώσεις", Τομέας Συγκοινωνιακών Έργων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ



Σχήμα 3.3 - Γωνιακό διάγραμμα σύνθετης καμπύλης οδού

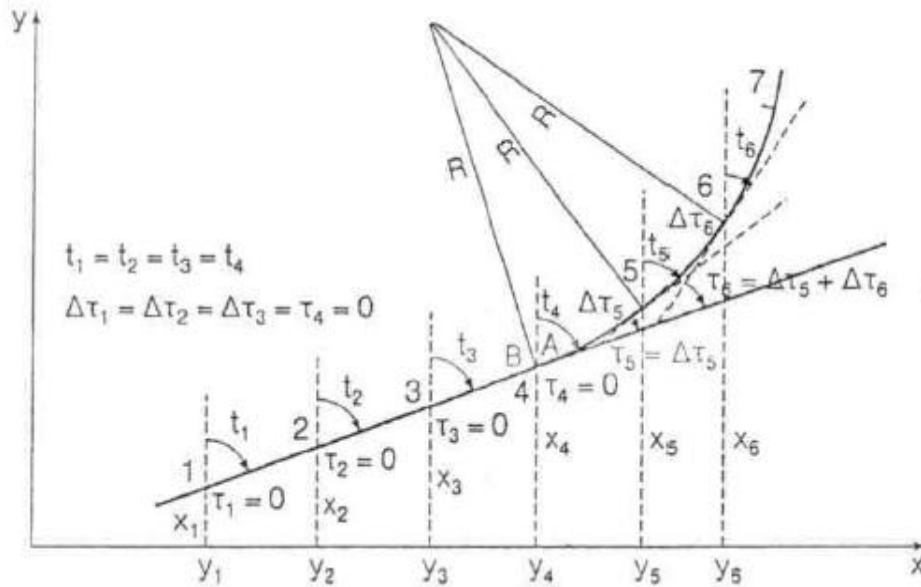
3.3.1 Προσδιορισμός γεωμετρικών στοιχείων αγνώστου άξονα

Στα εδάφια που ακολουθούν παρατίθεται εφαρμογή προσδιορισμού των γεωμετρικών στοιχείων ενός άξονα, του οποίου δεν υπάρχουν τα σχέδια εφαρμογής (από σημειώσεις Ψαριανού¹⁰).

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 ακρίβειας(π.χ. αρχικά στάδια μελέτης). Η ακτίνα καμπυλότητας καθορίζει την απαιτούμενη πύκνωση στις περιπτώσεις υψηλής ακρίβειας (μικρότερη του $R/10$).

¹⁰ Ψαριανός Β., "Οδοποιία Ι - Σημειώσεις", Τομέας Συγκοινωνιακών Έργων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ

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



Σχήμα 3. 4 - Προσδιορισμός διακριτού γωνιακού διαγράμματος άξονα από συντεταγμένες σημείων πύκνωσης του

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 (σχήμα 3.4). 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:

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

(γεωδαιτικό αριστερόστροφο σύστημα αναφοράς)

$$t_i^{i+1} = \text{arc tan} \frac{y_{i+1} - y_i}{y_{i+1} - y_i} \quad (3.2)$$

$$t_{i-1}^{i+1} = \text{atc tan} \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{y_{i+1} - y_{i-1}} \quad (3.3)$$

2. Η επίκεντρη γωνία α:

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

3. Το μήκος των χορδών s:

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

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

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 μεταβολής Δτ της γωνίας διεύθυνσης :

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

6. Η γωνία διεύθυνσης στο ενδιάμεσο σημείο :

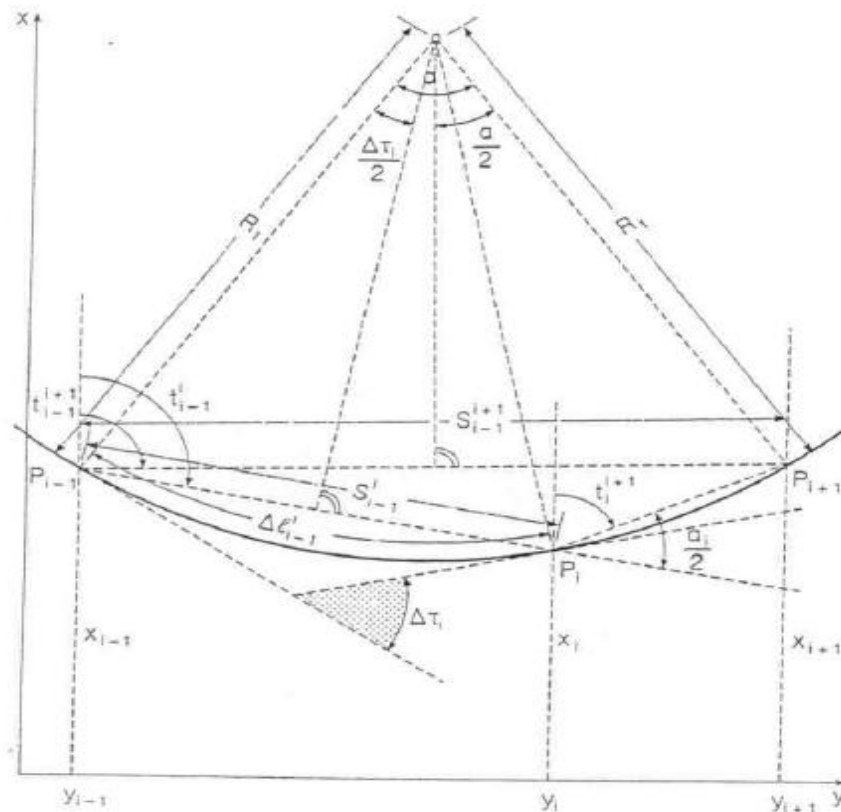
$$\tau_i = \sum_{i=0}^i \Delta \tau_i \quad (3.9)$$

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:

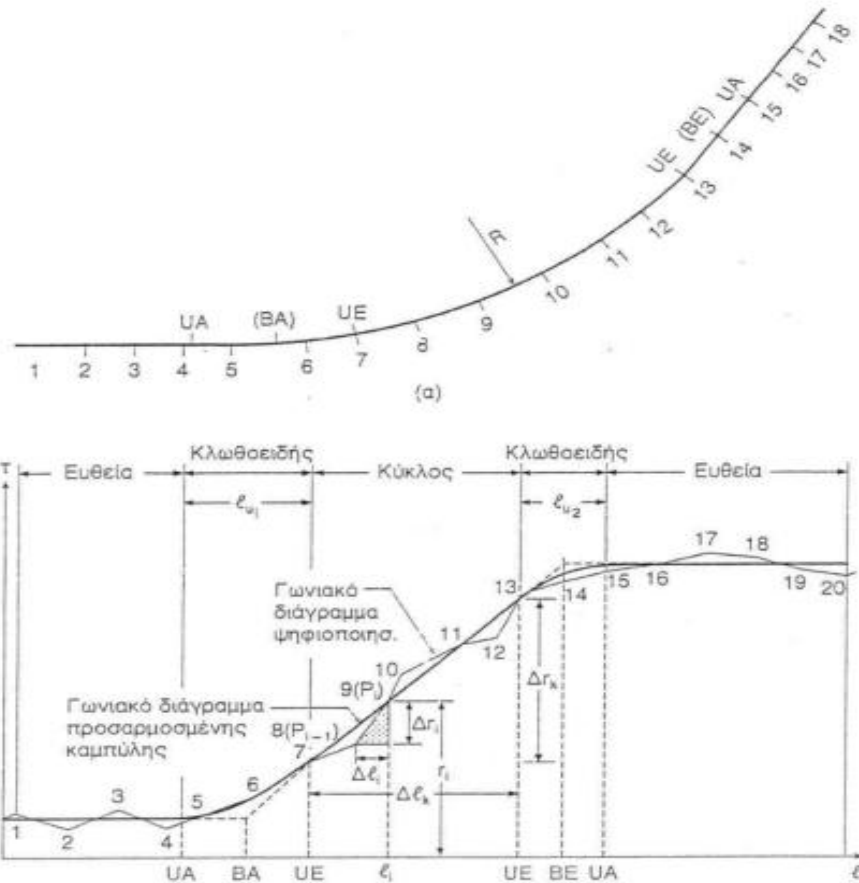
$$l_i = \sum_{i=0}^i \Delta l_{i-1}^i \quad (3.11)$$



Σχήμα 3.5 - 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 ευθύγραμμίας (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 3.6, απ' όπου μπορεί να προκύψουν οι καθοριστικοί παράμετροι του κάθε γεωμετρικού στοιχείου.



Σχήμα 3. 6 - Γραφική προσαρμογή κλασικών 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 l της (σημεία 4-7 και 13-15 στο σχήμα 8). Με το μήκος l και την ακτίνα R του κυκλικού τόξου υπολογίζουμε τη παράμετρο A της κλωθοειδούς:

$$A = \sqrt{Rl_u} \quad (3.13)$$

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

3.4 Κλωθοειδείς καμπύλες

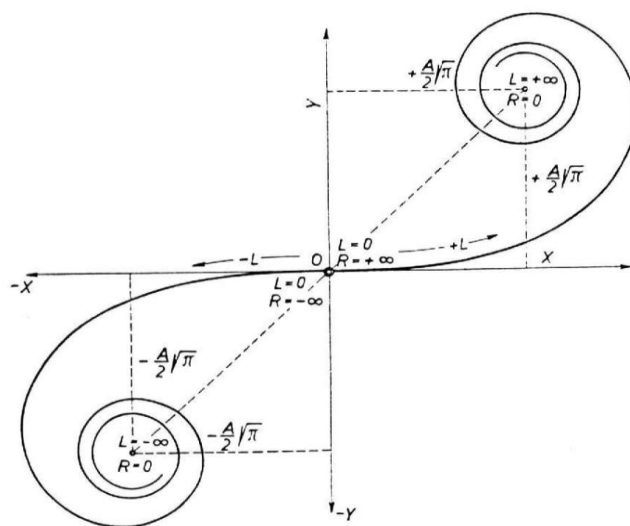
Τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία που συνιστούν την οριζοντιογραφία μιας οδού είναι η ευθυγραμμία και το κυκλικό τόξο, ανάμεσα στα οποία παρεμβάλλεται συνήθως ένα τόξο συναρμογής. Για να είναι άνετη η οδήγηση, καθώς το όχημα διανύει το τόξο συναρμογής, η εφαπτομενική του ταχύτητα πρέπει να παραμένει σταθερή και η γωνιακή του ταχύτητα να μεταβάλλεται ομαλά με το χρόνο (Κανελλαΐδης και συν., 2017)¹¹.

3.4.1 Τόξο Συναρμογής

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 Σχήμα 3.7 και στην εφαρμογή της χρησιμοποιείται και ένα μόνο τμήμα της. Η μαθηματική της έκφραση ορίζεται ως:

$$A^2 = R L \quad (3.14)$$



Σχήμα 3.7 - Πλήρες ανάπτυγμα της κλωθοειδούς καμπύλης

(Kasper et al., 1956)¹²

¹¹ 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

¹² Kasper, H., Schürba, W., & Lorenz, H. (1956). *Die Klothoide als Trassierungselement*. Bonn, Germany

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 Σχήμα 3.8 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:

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

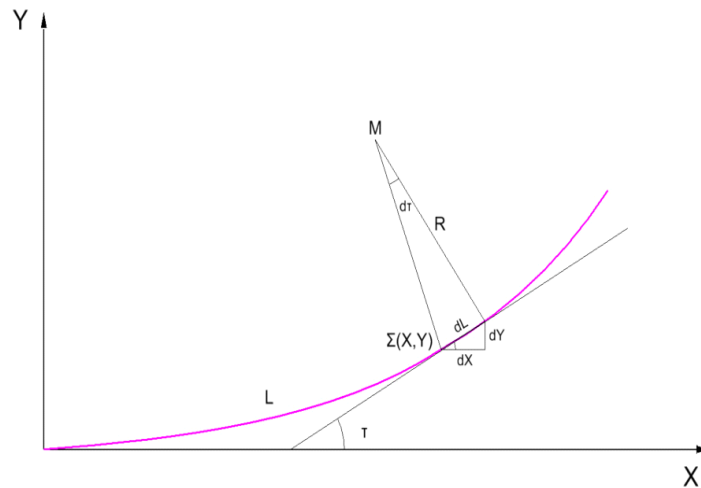
Όπου,

τ : 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)



Σχήμα 3. 8 - Τμήμα μιας κλωθοειδούς καμπύλης και ένα τυχόν σημείο Σ πάνω σε αυτή

(πηγή Κανελλαΐδης και συν., 2017).

Σύμφωνα με το παραπάνω Σχήμα 10, 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:

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

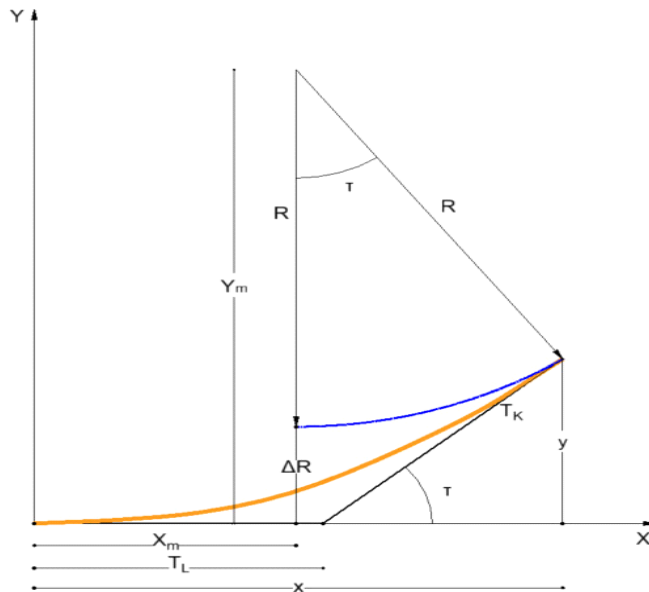
$$\sin\alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \frac{\alpha^7}{7!} + \dots \quad (3.21)$$

μας δίνει :

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

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

Προκύπτουν σχέσεις υπολογισμού βοηθητικών μεγεθών από ένα τμήμα κλωθοειδούς καμπύλη, όπως εμφανίζεται και στο παρακάτω Σχήμα 3.9:



Σχήμα 3.9 - Τμήμα κλωθοειδούς καμπύλης με επισημασμένα κάποια βοηθητικά μεγέθη

(Μαυρομάτης, 2018)¹³.

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

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

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

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

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

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

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

13 Μαυρομάτης, Σ. (2018). Σημειώσεις για το μάθημα Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

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

3.4.2 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 Σχήμα 3.10 απεικονίζεται ένα παράδειγμα μιας τυπικής καμπύλης με επισήμανση στα κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και γωνία στροφής γ 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 3.10 καθώς και των εξής σχέσεων:

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

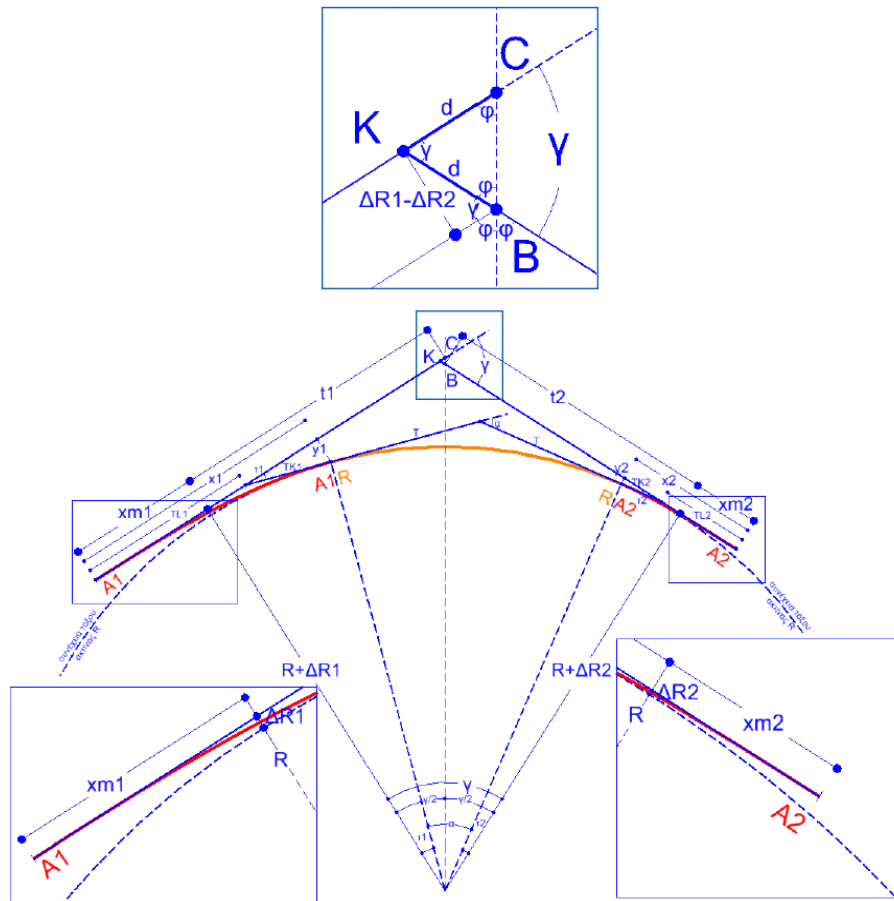
$$t_1 = (R + \Delta R_1) \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (3.31)$$

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

Τελικά ισχύει:

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

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



Σχήμα 3. 10 - Μια τυπική καμπύλη με ασύμμετρες κλωθοειδείς εισόδους και εξόδους στο σημείο πέρατος και στην περιοχή του σημείου K

(Kasper et al., 1956)¹⁴

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

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

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 $200-\gamma$.

¹⁴ Kasper, H., Schürba, W., & Lorenz, H. (1956). *Die Klothoide als Trassierungselement*. Bonn, Germany

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

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

Καμπύλη Τύπου S

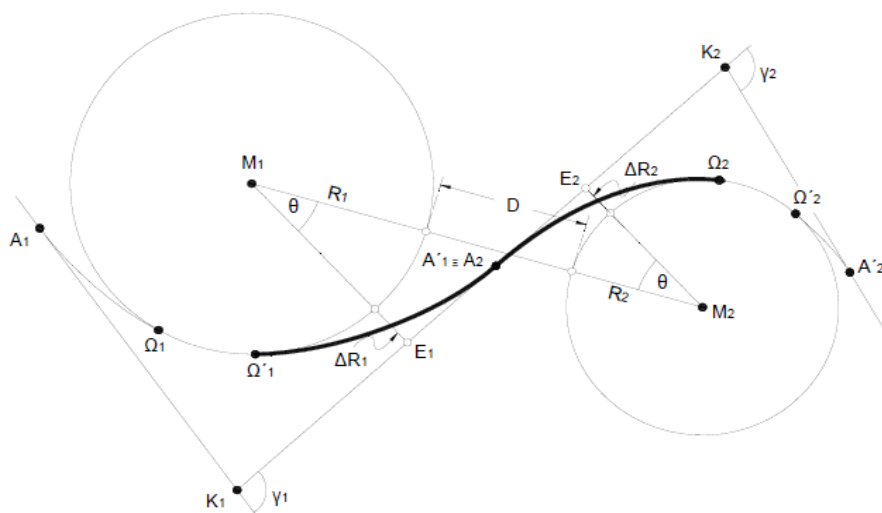
Η καμπύλη τύπου 'S', γνωστή και ως σιγμοειδής καμπύλη, αποτελείται από δύο διαδοχικές αντίρροπες κλωθοειδείς, οι οποίες εφάπτονται μεταξύ τους στο κοινό σημείο αρχής. Ειδικότερα, ορίζεται ως μια αλληλουχία κλωθοειδούς εξόδου-κλωθοειδούς εισόδου, ενώ μπορεί να συναντάται με μια μικρή ευθυγραμμία ανάμεσα 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)



Σχήμα 3. 11 - Μια τυπική διάταξη μιας S-καμπύλης σε ένα οδικό τμήμα

(Κανελλαΐδης και συν., 2017)¹⁵

Στο παραπάνω Σχήμα 3.11 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.

¹⁵ 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

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:

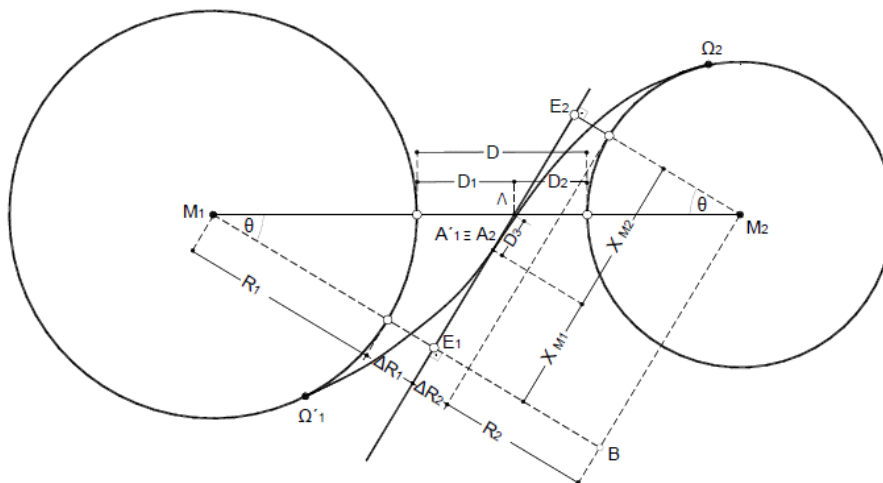
$$L_z \leq 0.08 (A_1 + A_2) \quad (3.39)$$

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 σύννηθες πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων A_1 και A_2 των δύο κλωθοειδών. Η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση τους είναι ο εξής:



Σχήμα 3. 12 - Παράδειγμα S-καμπύλης

(Κανελλαΐδης και συν., 2017)¹⁶

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,

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

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

¹⁶ 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

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

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

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

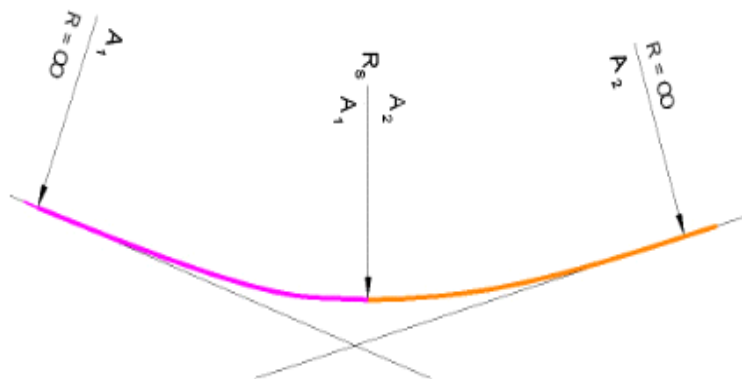
$$x_i = \frac{A_i^2}{R_i} - \frac{(A_i^2)^5}{40 A_i^4} + \frac{(A_i^2)^9}{3456 A_i^8} \quad (3.41)$$

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

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 Κορυφής

Η κλωθοειδής κορυφής 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 στο Σχήμα 3.13. Τα δύο τόξα συναρμογής διακρίνονται με έντονα χρώματα για να είναι ευδιάκριτο το σημείο τομής τους.



Σχήμα 3. 13 - Η τυπική διάταξη μιας κλωθοειδούς κορυφής

(Κανελλαΐδης και συν., 2017)

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 $R_{S, \min} = 500\text{m}$ (ΟΜΟΕ – Χ, 2001).

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

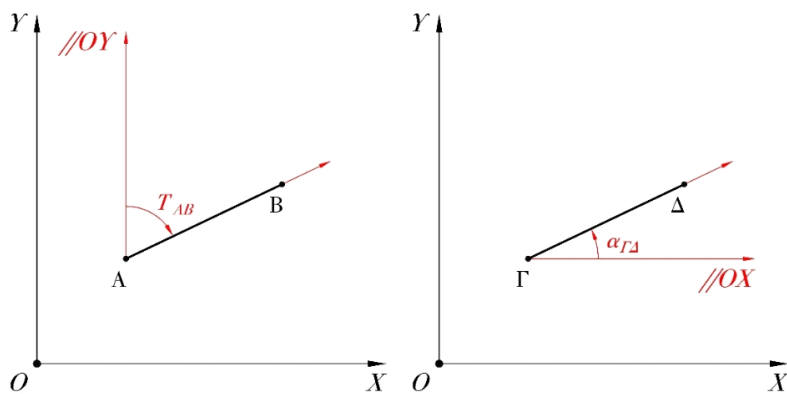
3.5 Διάγραμμα Αζιμούθιων

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

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 g).

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 $\alpha_{\Gamma\Delta}$.



Σχήμα 3. 14 - Η γωνία διεύθυνσης ενός ευθύγραμμου τμήματος (αριστερά) και η κλίση του (δεξιά)

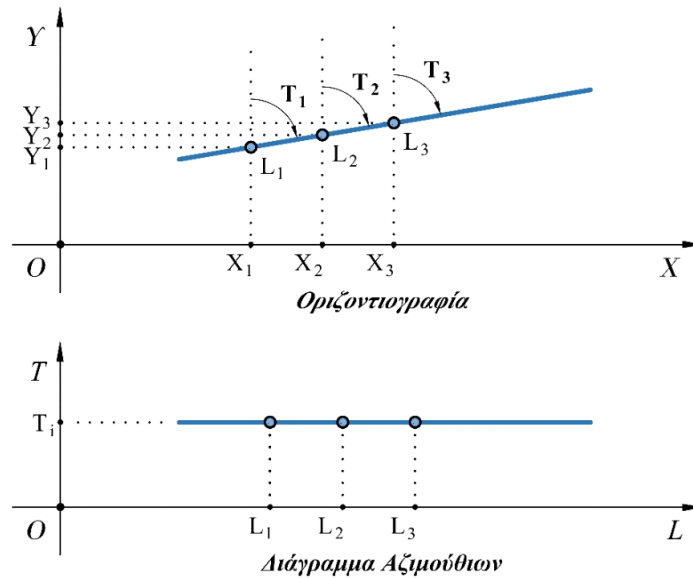
Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος αναφοράς συνήθως εξαρτάται από την πιο εύκολη και βολική επιλογή που αυτό παρουσιάζει και είναι προφανές πως οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται κάθε φορά διαφέρουν.

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 αζιμούθιων για τα αντίστοιχα στοιχεία μιας οριζοντιογραφίας παρουσιάζονται παρακάτω:

- Για την ευθυγραμμία

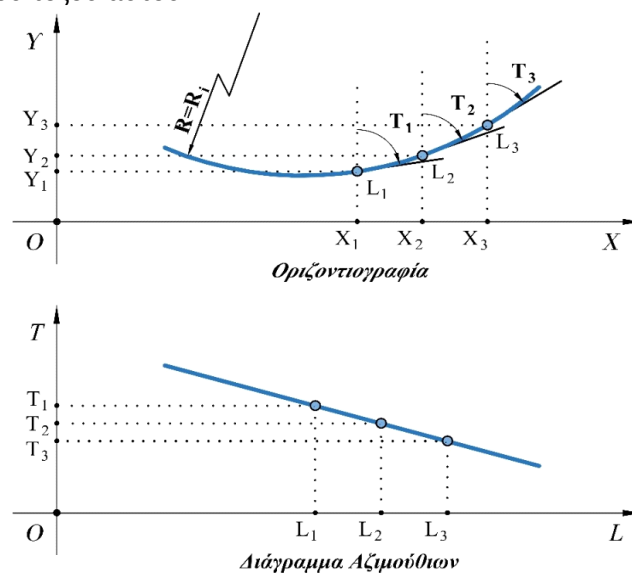
Το διάγραμμα αζιμούθιων ενός οδικού τμήματος που αποτελείται από ευθυγραμμία είναι μια οριζόντια ευθεία.



Σχήμα 3. 15 - Το διάγραμμα αζιμούθιων μιας ευθυγραμμίας είναι μια οριζόντια γραμμή

- Για το κυκλικό τόξο

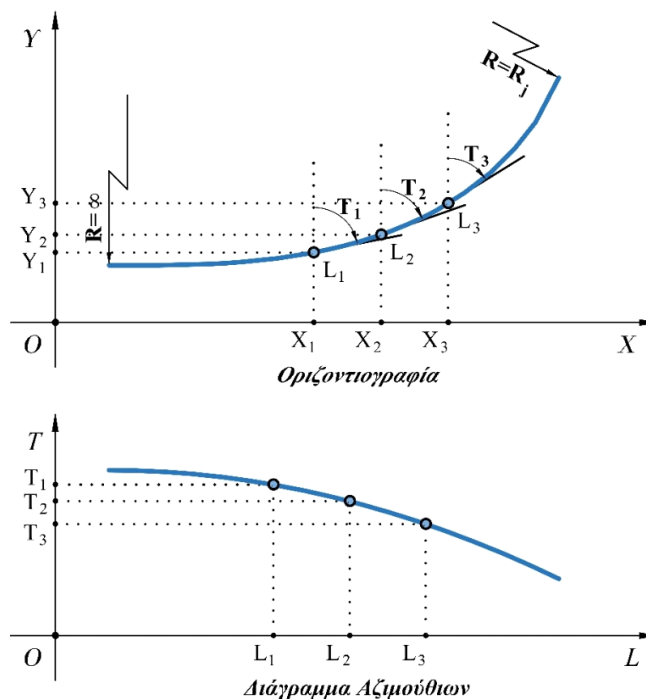
Το διάγραμμα αζιμούθιων ενός οδικού τμήματος που αποτελείται από κυκλικό τόξο είναι μια κεκλιμένη ευθεία, η οποία έχει συντελεστή διεύθυνσης το αντίστροφο της ακτίνας του κυκλικού τόξου αυτού.



Σχήμα 3. 16 - Το διάγραμμα αζιμούθιων ενός κυκλικού τόξου είναι μια κεκλιμένη γραμμή

- Για την κλωθοειδή

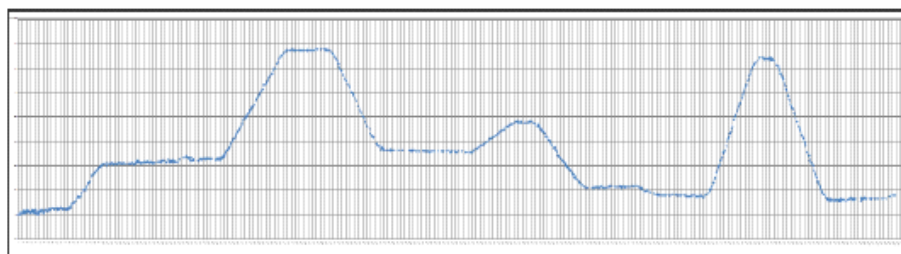
Το διάγραμμα αζιμούθων ενός οδικού τμήματος που αποτελείται από κλωθοειδή είναι μια παραβολή.



Σχήμα 3.17 - 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 αζιμούθων κατέρχεται. Αντίστοιχα, όταν υπάρχει μια δεξιόστροφη καμπύλη, η γραφική παράσταση του διαγράμματος αζιμούθων ανέρχεται.

Στο Σχήμα 3.3 απεικονίζεται το διάγραμμα αζιμούθων 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.

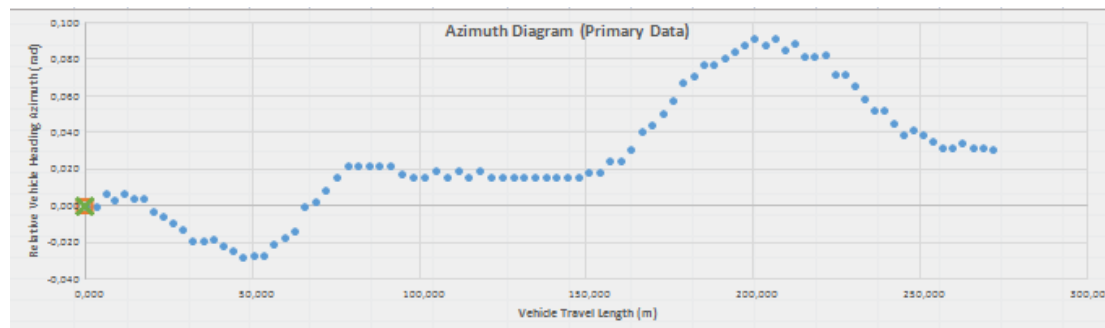


Εικόνα 3.3 - Το διάγραμμα αζιμούθων που αντιστοιχεί σε ένα υφιστάμενο οδικό τμήμα

(Βασιλάς, 2013)¹⁷

¹⁷ Βασιλάς, Α. (2013). Ανάπτυξη Λογισμικού για Ψηφιακή Απόδοση της Χάραξης Υφιστάμενης Οδού. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Στο πείραμα που εκτελέστηκε στο πλαίσιο της μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, οι συντεταγμένες προέκυψαν από τα δεδομένα που κατέγραψε ο προσομοιωτής οδήγησης. 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.



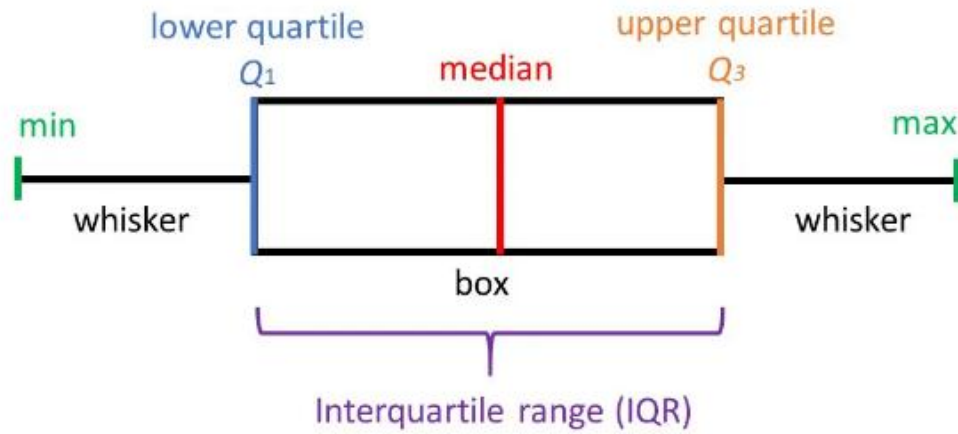
Εικόνα 3. 4 - Το διάγραμμα του αζιμούθιου στο περιβάλλον του Excel

3.6 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 Εικόνα 3.5 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. 5 - Οι βασικές τιμές στο διάγραμμα πλαισίου

Πηγή : <https://www.simplypsychology.org/boxplots.html>

Μία ακόμα τιμή πάνω στο διάγραμμα πλαισίου είναι το IQR(Interquartile Range) και μπορεί να υπολογιστεί αφαιρώντας το Q_3 από το Q_1 . Επίσης, σε κάποιες κατανομές θα παρατηρηθούν κάποιες κουκίδες εκτός του πλαισίου. Αυτές ονομάζονται Outliers και δείχνουν τι τιμές που είναι αρκετά μεγαλύτερες ή μικρότερες σε σχέση με το εύρος στο οποίο εμφανίζεται στο υπόλοιπο δείγμα.

4. Συλλογή Δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να γίνει η συλλογή των δεδομένων για την επεξεργασία και την ανάλυση που οδήγησαν στην ολοκλήρωση της μελέτης.

4.2 Μέθοδος Συλλογής Στοιχείων

Για τη διενέργεια της συγκεκριμένης μελέτης, έγινε χρήση προσομοιωτή οδήγησης στον οποίο πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσπέλασης.

Πρώτιστα, διαμορφώθηκε το σενάριο προσπέρασης αναφορικά με υπεραστική οδό δύο λωρίδων από τις οποίες δεν διέρχονται οχήματα αντίθετης κατεύθυνσης. Ύστερα από τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του σεναρίου, προχώρησε το βήμα της αναζήτησης των συμμετεχόντων.

Το επιλεγμένο δείγμα των οδηγών ήταν νεαρής ηλικίας και έλαβαν ενημέρωση για το σενάριο και τους περιορισμούς σε σχέση με τα όρια ταχύτητας. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ένα σενάριο εξοικείωσης των οδηγών με τον προσομοιωτή, προτού πραγματοποιηθεί η καταγραφή δεδομένων.

Το συνολικό δείγμα των συμμετεχόντων ήταν 31 άτομα, τα οποία αντιστοιχούν σε 15 άντρες και 16 γυναίκες.

Το εύρος των ηλικιών κυμάνθηκε μεταξύ των 20-27 ετών, με μέσο όρο την ηλικία των 24 ετών. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος ηλικίας των αντρών ήταν τα 24 έτη, ενώ των γυναικών τα 23 έτη. Όσον αφορά την εμπειρία οδήγησης, αυτή αντιστοιχεί κατά μέσο όρο στα 5 έτη. Η εμπειρία των αντρών φάνηκε να είναι μεγαλύτερη καθώς ο μέσος οδήγησης τους ήταν 6 έτη, εν συγκρίσει με τις γυναίκες που είναι τα 3 έτη.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως η ανάλυση των δεδομένων δεν βασίστηκε στα παραπάνω χαρακτηριστικά, αλλά έγινε ενιαία για όλο το δείγμα.

Προτού αρχίσει η διαδικασία των δοκιμών, δόθηκαν στους συμμετέχοντες κάποιες ερωτήσεις σε μορφή ερωτηματολογίου, στις οποίες κλήθηκαν να απαντήσουν προκειμένου να διαμορφωθεί το προφίλ οδήγησης του καθενός.

Οι ερωτήσεις αφορούν στα:

1. Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα

1α) Φύλο

1β) Ηλικία

2. Οδηγική εμπειρία συμμετέχοντα

2α) Πόσα έτη κατέχει δίπλωμα οδήγησης

2β) Πόσα χρόνια οδηγεί

2γ) Πόσες φορές οδηγεί την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον

2δ) Πόσα χιλιόμετρα διανύει την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον

2ε) Πόσες ημέρες οδηγεί το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον

2στ) Πόσα χιλιόμετρα διανύει το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον

3. Οδηγική συμπεριφορά συμμετέχοντα

3α) Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε αστικό περιβάλλον;

3β) Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε υπεραστικό περιβάλλον;

3γ) Θεωρείτε ότι τα όρια ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον είναι σωστά;

3δ) Κατά την διαδικασία της προσπέρασης άλλου οχήματος σε υπεραστικό περιβάλλον οδού υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες υπερβαίνεται το όριο ταχύτητας;

4. Ιστορικό οδηγικών συμβάντων συμμετέχοντα

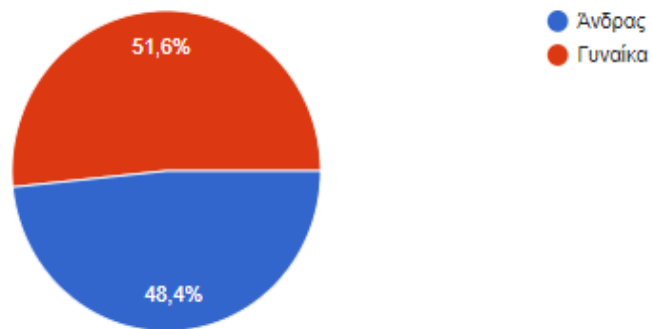
4α) Πόσες φορές έχει λάβει πρότιμο για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας;

4β) Σε πόσα ατυχήματα έχει εμπλακεί ως οδηγός i) με υλικές ζημιές, ii) με παθόντες

Παρακάτω παρατίθεται το σύνολο των απαντήσεων στα δοθέντα ερωτηματολόγια με τη μορφή διαγραμμάτων:

Φύλο

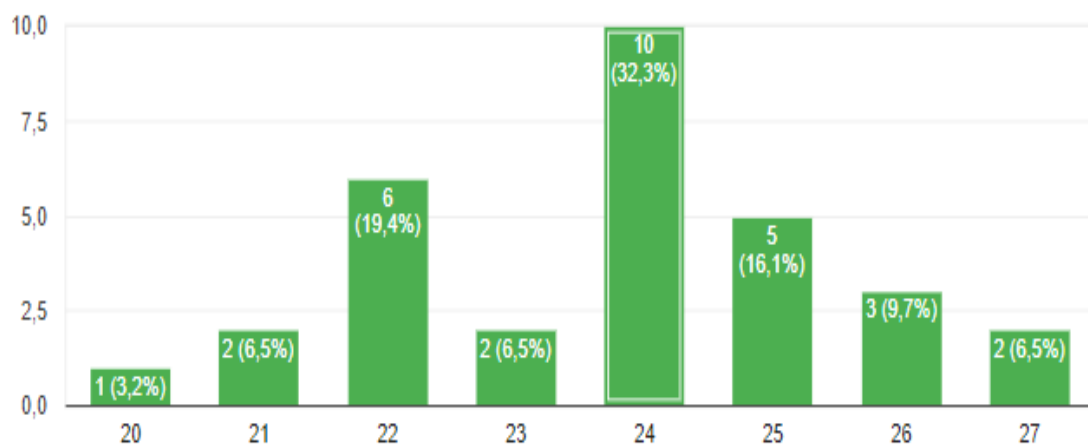
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 1 - Κατανομή Φύλου

Ηλικία

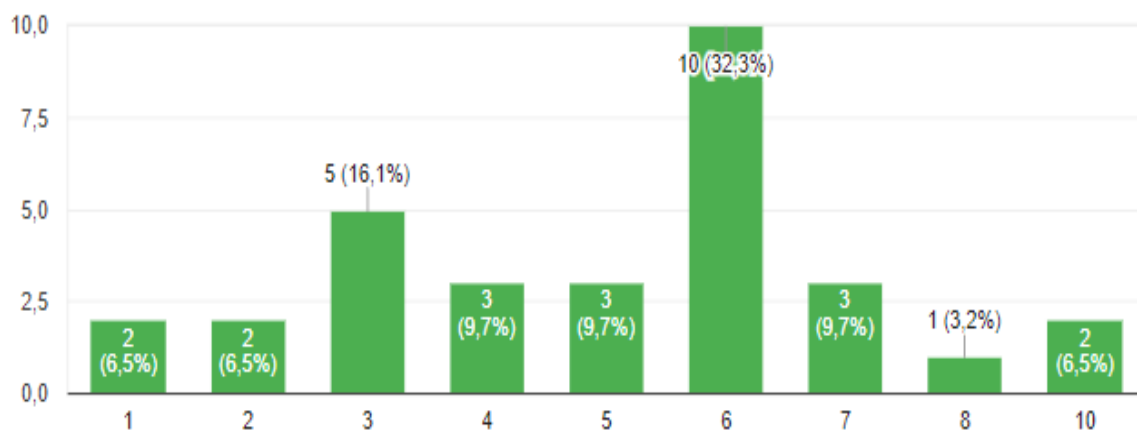
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 2 - Κατανομή Ηλικίας

Πόσα έτη έχετε δίπλωμα οδήγησης;

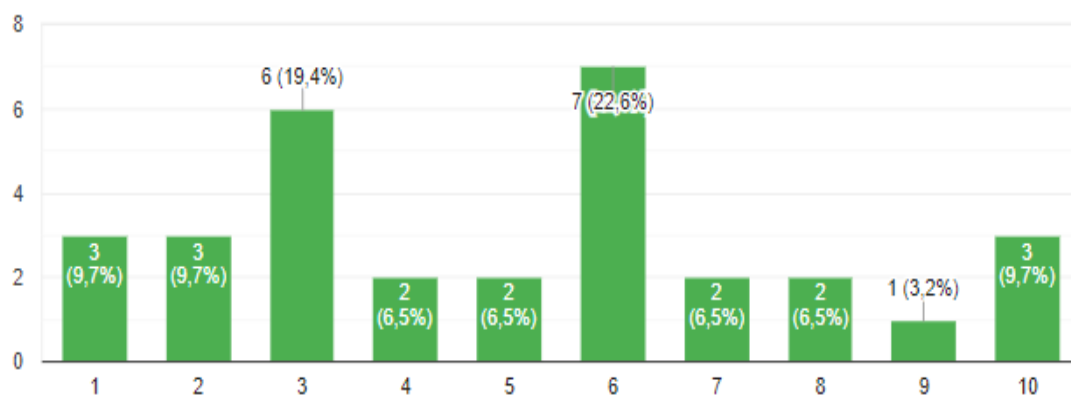
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 3 - Διάρκεια Κατοχής Διπλώματος

Πόσα χρόνια οδηγείτε;

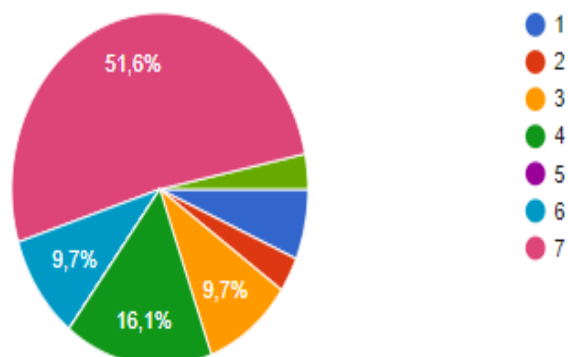
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 4 - Εμπειρία Οδήγησης σε Έτη

Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον;

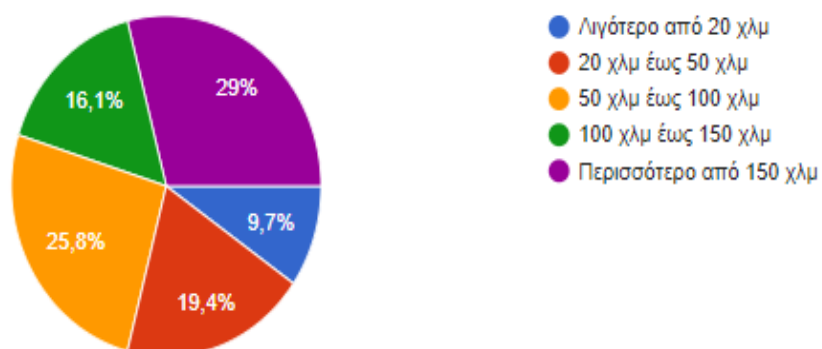
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 5 - Διάρκεια οδήγησης μετρημένη σε μέρες ανά εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον;

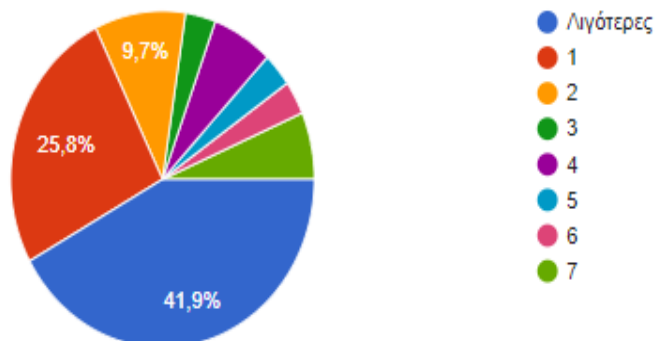
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 6 - Διανυόμενα εβδομαδιαία χιλιόμετρα σε αστικό περιβάλλον

Πόσες ημέρες οδηγείτε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον;

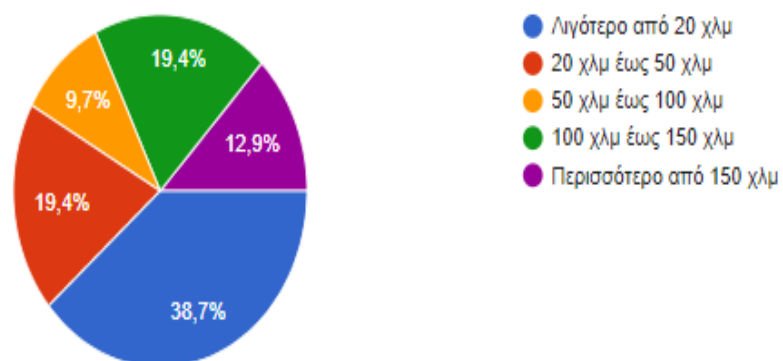
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 7 - Διάρκεια οδήγησης σε ημέρες, ανά μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον;

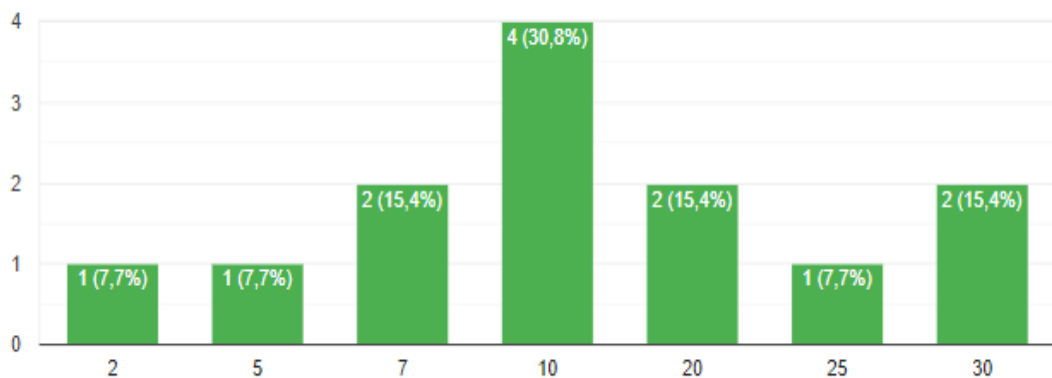
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 8 - Διανυθέντα χιλιόμετρα ανά μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον

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

13 απαντήσεις

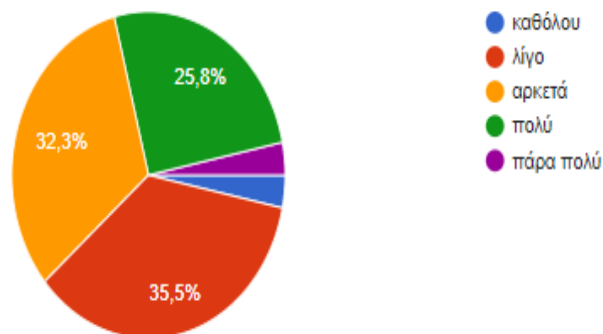


Εικόνα 4. 9 - Διάρκεια οδήγησης σε ημέρες ανά έτος σε υπεραστικό περιβάλλον

Μόνο οι συμμετέχοντες που απάντησαν «Λιγότερες» στην ερώτηση «Πόσες μέρες οδηγείτε τον μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον, έλαβαν την παραπάνω ερώτηση.

Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε αστικό περιβάλλον;

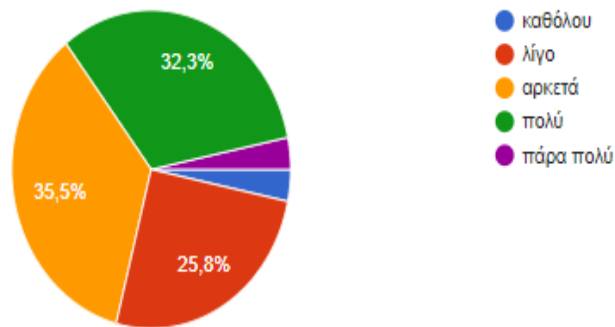
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 10 - Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε αστικό περιβάλλον

Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε υπεραστικό περιβάλλον;

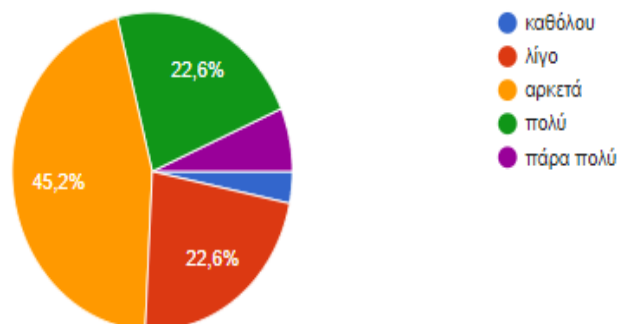
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 11 - Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον

Θεωρείτε ότι τα όρια ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον είναι σωστά;

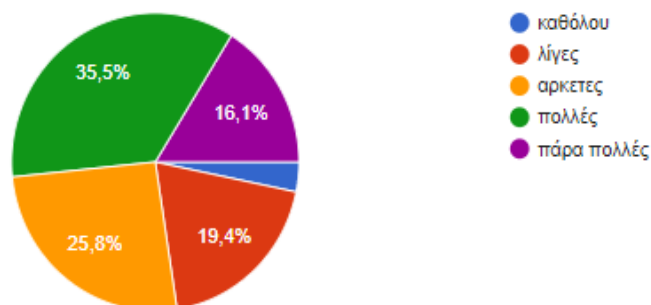
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 12 - Αξιολόγηση ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον

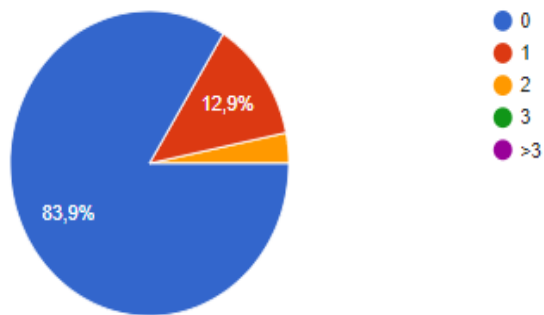
Κατά τη διαδικασία της προσπέρασης άλλου οχήματος σε υπεραστικό περιβάλλον οδού υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες υπερβαίνετε το όριο ταχύτητας;

31 απαντήσεις



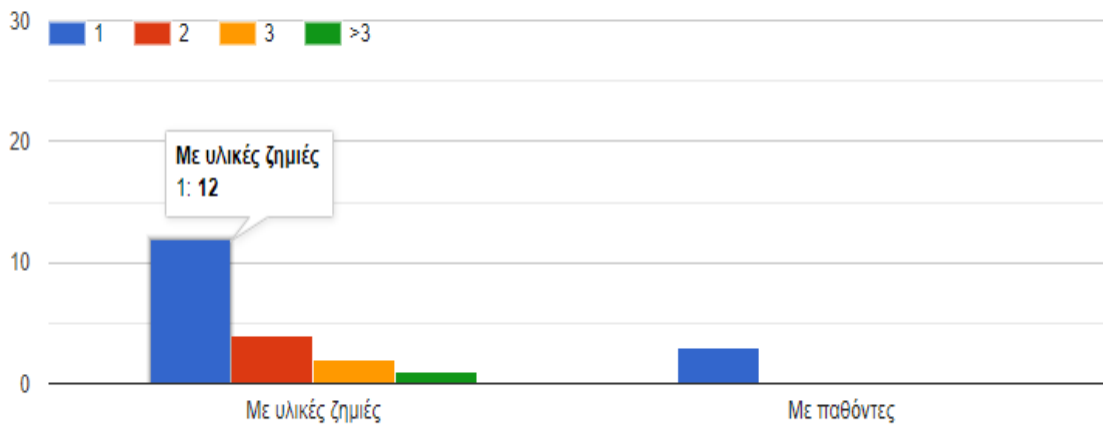
Εικόνα 4. 13 - Ποσοστά υπέρβασης ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον

Πόσες φορές έχετε λάβει πρόστιμο για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας;
31 απαντήσεις



Εικόνα 4. 14 - Ποσοστά προστίμων για υπέρβαση ορίων ταχύτητας

Σε πόσα ατυχήματα έχετε εμπλακεί ως οδηγός;



Εικόνα 4. 15 - Εμπλοκή σε ατυχήματα με υλικές ζημιές ή παθόντες

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και επεξεργασίας δεδομένων

5.1 Εισαγωγή

Στο σημείο αυτό της εργασίας αναλύεται η μεθοδολογία σύμφωνα με την οποία αρχικώς καταγράφηκαν τα δεδομένα και δευτερευόντως επεξεργάστηκαν καταλλήλως για την πραγματοποίηση του παρόντος πονήματος.

5.2 Προσδιορισμός τροχιάς προσπέρασης με προσομοιωτή οδήγησης

Ως πρώτο βήμα, έπρεπε να προσδιοριστεί η τροχιά προσπέρασης προκειμένου να μελετηθεί. Για να επιτευχθεί ο προσδιορισμός, επιλέχθηκε η μέθοδος της χρήσης προσομοιωτή οδήγησης για την καταγραφή των δεδομένων.

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.

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 περιελάμβανε 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.

5.2.1 Τρόπος καταγραφής των δεδομένων

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 Logfile και αποτελούνται από 33 στήλες δεδομένων. Το σύνολο των παραμέτρων που καταγράφει ο προσομοιωτής παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1.

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 5. 1 - Δεδομένα του προσομοιωτή

Από τα παραπάνω στοιχεία επιλέχθηκαν μόνο αυτά που κριθήκαν απαραίτητα για τη περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε:

- **X-pos** : χιλιομετρική θέση του οχήματος του χρήστη (m)
- **Z-pos** : εγκάρσια θέση του οχήματος του χρήστη σε σύγκριση με ένα σημείο που ορίστηκε στο σενάριο (m)
- **Dleft** : εγκάρσια απόσταση το οχήματος του χρήστη από το αριστερό άκρο του δρόμου (m)
- **Time** : χρονική στιγμή πραγματοποίησης πειράματος (s)
- **Speed**: ταχύτητα οχήματος του χρήστη (km/h)
- **Acceleration** : επιτάχυνση του οχήματος του χρήστη (km/h^2)
- **Headway** : απόσταση οχήματος του χρήστη από το προπορευόμενο όχημα (m)

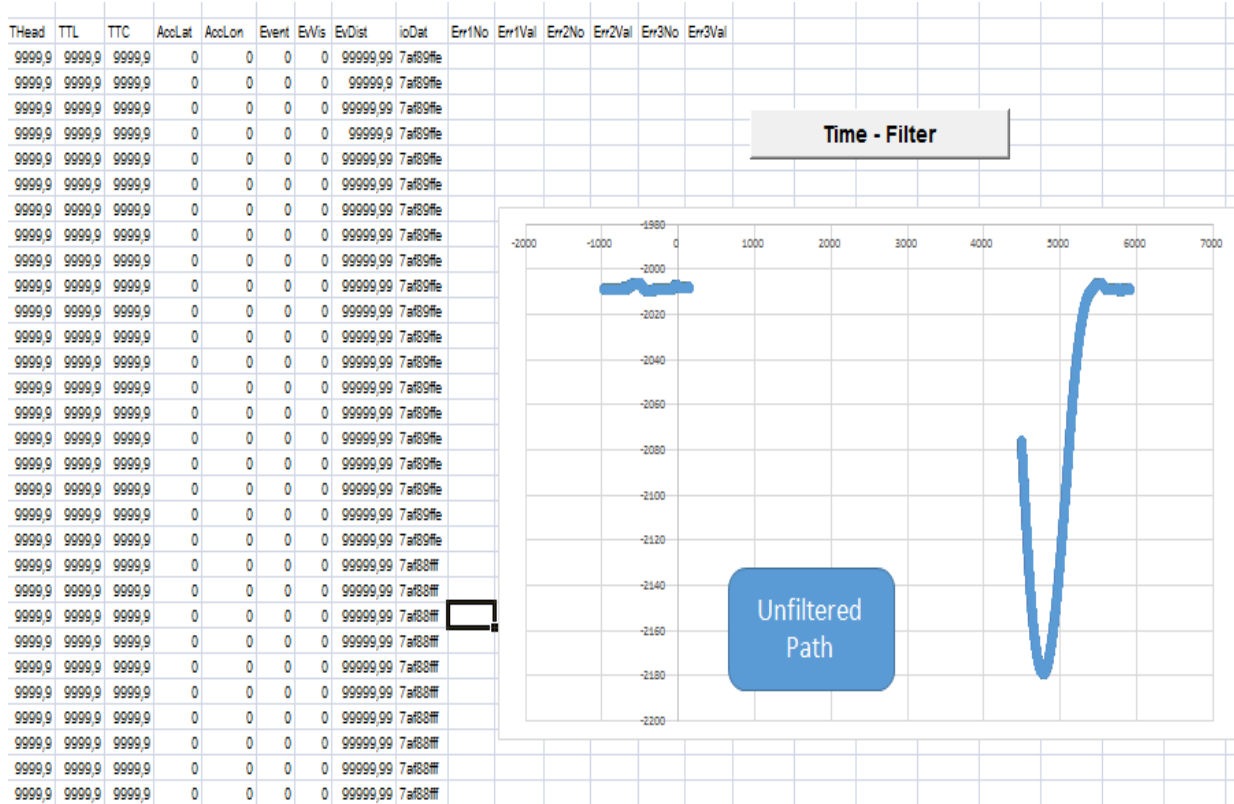
5.3 Επεξεργασία μέσω γωνιακού διαγράμματος

Σύμφωνα με τα καταγεγραμμένα δεδομένα που αποκομίσαμε από τον προσομοιωτή οδήγησης, αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο Microsoft Excel . Το αρχείο αυτό αποτέλεσε το βασικό πρωτόκολλο επεξεργασίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς σε αυτό συντελέστηκε η συνολική επεξεργασία. Το αρχείο “Simulator_NewMethod_3.2-v10.xlsm” όπως και ονομάστηκε, δομήθηκε να κάνει χρήση της γλώσσας Visual Basic for Applications (VBA) για τη βέλτιστη χρονικά προσπέραση. Η συνολική διαδικασία που ακολουθήθηκε παρατίθεται αναλυτικά παρακάτω.

Αρχικά, στο πρώτο υπολογιστικό φύλλο (*Log-Raw*) εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο Logfile. Η καταγραφή των δεδομένων από τον προσομοιωτή γίνεται 60 φορές το δευτερόλεπτο, αρκετά πυκνές μετρήσεις της τάξης των 14 δευτερόλεπτων. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να φιλτράρονται τα δεδομένα μέσω του κώδικα VBA έτσι ώστε να γίνεται η καταγραφή τους κάθε 0,15 δευτερόλεπτα. Η χρονική αυτή διαφορά τελέστηκε μέσω της μακροεντολής «Time Filter». Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται τα δεδομένα εισαγωγής από το Loglife και το “κουμπί” TIME-FILTER.

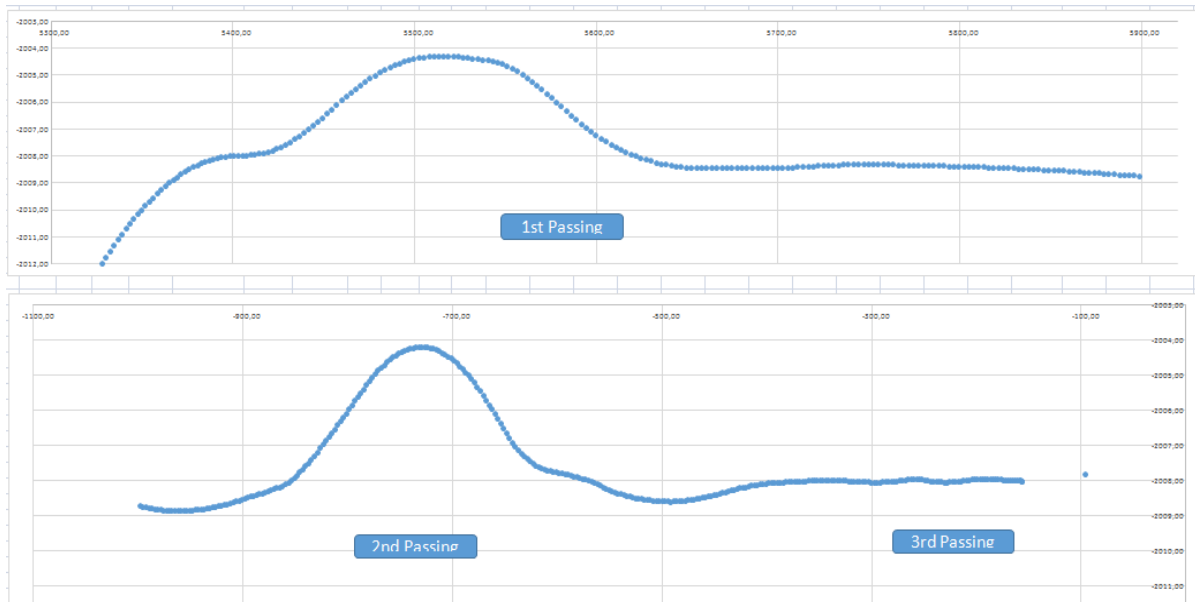
Time	x-pos	y-pos	z-pos	road	richt	rdist	rspur	ralpha	Dist	Speed	Brk	Acc	Clutch	Gear	RPM	HWay	DLeft	DRight	Wheel
33	202	0	-2300	6	1	100	2	6,2832	0	0	0	0	100	0	0	9999,9	1,2	1,2	2
50	202	0	-2300	6	1	100	2	6,2832	0	0	0	0	100	0	0	9999,9	1,2	1,2	2
67	202	0	-2300	6	1	100	2	6,2832	0	0	0	0	100	0	0	9999,9	1,2	1,2	2
83	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	1	100	0	0	9999,9	7,3	4,1	2
100	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	1	100	0	0	9999,9	7,3	4,1	2
117	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	4	100	0	0	9999,9	7,3	4,1	2
133	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	2	4	100	0	0	9999,9	7,3	4,1	2
233	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	14	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
250	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	12	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
267	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	11	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
283	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	14	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
300	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	14	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
317	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	31	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
333	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	31	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
350	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	29	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
367	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	18	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
383	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
400	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
417	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
433	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
450	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	0	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
467	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	100	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
483	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	100	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
500	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	100	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
517	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	100	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
533	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	100	100	0	0	20,6	7,3	4,1	2
550	4474,37	0	-2075,42	10	0	500	8,1	0	0	0	0	100	100	0	815	20,6	7,3	4,1	2

Πίνακας 5. 2 – Περιβάλλον του Log-Raw



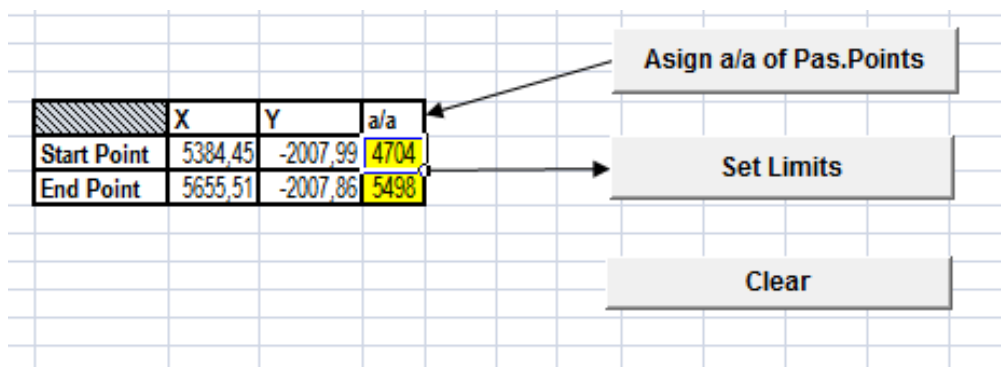
Πίνακας 5. 3 - Περιβάλλον του Log-Raw

Στο δεύτερο υπολογιστικό φύλλο(Log-Filtered) δίνονται οι τιμές μετά το φιλτράρισμα, μειωμένες κατά τη χρονική διαφορά. Για κάθε σενάριο θα εμφανίζονται μία έως και τρεις προσπέρασεις και τα διαγράμματα τους θα αποτελούνται από 30 έως 50 σημεία όπως διακρίνονται και στη παρακάτω Εικόνα 5.1.



Εικόνα 5. 1 - Οι συντεταγμένες που κατέγραψε ο προσομοιωτής τη στιγμή της κίνησης

Για κάθε προσπέραση εντοπίζονται οι συντεταγμένες των επί μέρους σημείων που συνθέτουν τον υπόψη ελιγμό, μέσω του ορισμού δύο σημείων, ένα λίγο πριν την αρχή και ένα λίγο μετά το πέρας της διαδικασίας προσπέρασης. Απώτερος στόχος είναι η απομόνωση της περιοχής ενδιαφέροντος και η επεξεργασία μόνο των απαραίτητων δεδομένων. Τα σημεία αυτά εισάγονται στις γραμμές του πίνακα “Start Point” και “End Point” και μέσω της μακροεντολής “Set Limits” προσδιορίζονται οι συντεταγμένες τους.



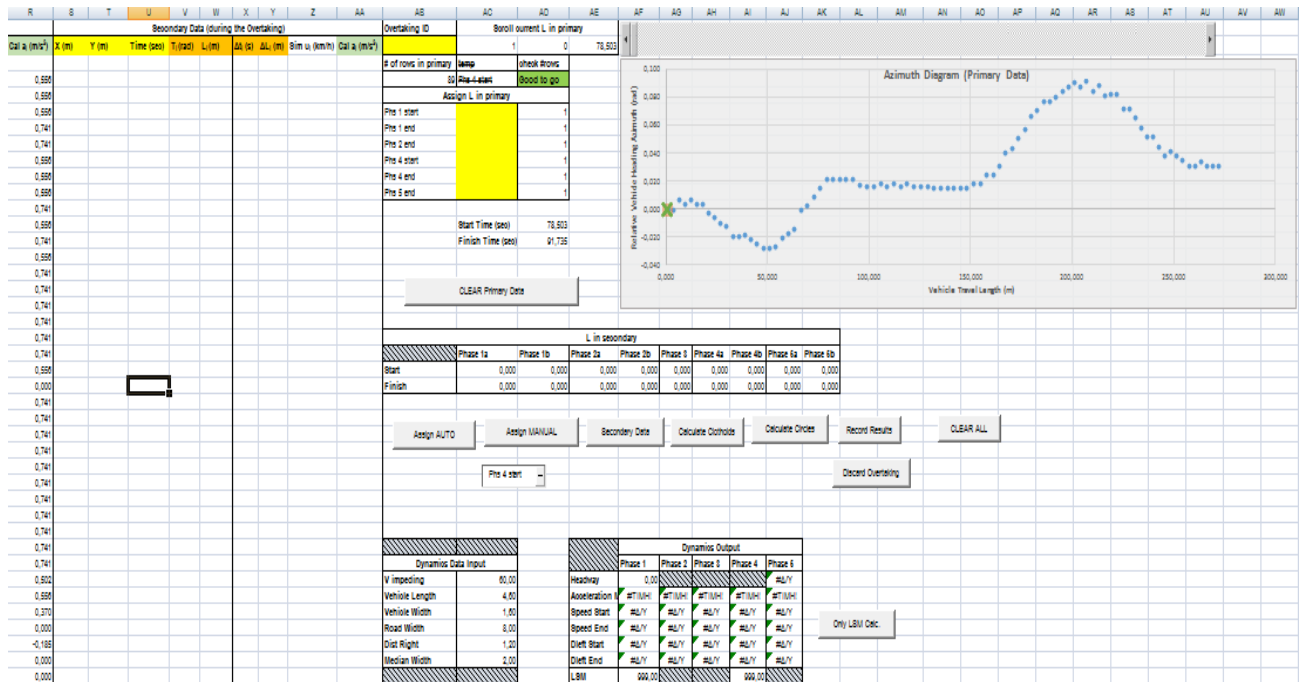
Εικόνα 5. 2 - Συντεταγμένες κάθε προσπέρασης

Στο τρίτο υπολογιστικό φύλλο (*Data input*) τα δεδομένα που απομονώθηκαν προηγουμένως, επεξεργάζονται μέσω του γωνιακού διαγράμματος με τη διαδικασία που αναφέρθηκε στη παράγραφο 3.3.1 και οι τιμές του εμφανίζονται στα κελιά A-R. Τα κελιά Q και R είναι η ταχύτητα και η επιτάχυνση τη δεδομένη χρονική στιγμή t. Η ταχύτητα δίνεται από τον προσομοιωτή ενώ η επιτάχυνση υπολογίζεται.

Primary Data (in the region of the Overtaking)																	Secondary Data (du						
X (m)	Y (m)	Time (sec)	az _{i-1} (deg)	az _{i+1} (deg)	az _{i+1} (deg)	a/2 (deg)	S _{i-1} (m)	S _{i+1} (m)	R _i (m)	ΔT _i (rad)	T _i (rad)	ΔL _i (m)	L _i (m)	Δt (s)	ΔL _i (m)	Sim u _i (km/h)	Cal a _i (m/s ²)	X (m)	Y (m)	Time (sec)	T _i (rad)	L _i (m)	
5384,450	-2007,990	78,503		88,375						0,000	0,000	0,000	0,000			67,600							
5387,270	-2007,910	78,653	88,375	88,381	88,378	0,006	2,821	5,652	28215,401	0,000	0,000	2,821	2,821	0,150	2,821	67,900	0,556						
5390,100	-2007,830	78,803	88,381	88,794	88,588	0,413	2,831	5,682	393,938	0,007	0,007	2,831	5,652	0,150	2,831	68,200	0,556						
5392,950	-2007,770	78,953	88,794	88,598	88,896	-0,196	2,851	5,711	-834,741	-0,003	0,004	2,851	8,503	0,150	2,851	68,500	0,556						
5395,810	-2007,700	79,103	88,598	88,807	88,703	0,209	2,861	5,741	788,596	0,004	0,007	2,861	11,364	0,150	2,861	68,900	0,741						
5398,690	-2007,640	79,253	88,807	88,612	88,709	-0,194	2,881	5,771	-852,155	-0,003	0,004	2,881	14,244	0,150	2,881	69,300	0,741						
5401,580	-2007,570	79,403	88,612	88,622	88,617	0,010	2,891	5,802	17435,735	0,000	0,004	2,891	17,135	0,150	2,891	69,600	0,556						
5404,490	-2007,500	79,553	88,622	88,229	88,425	-0,393	2,911	5,822	-423,890	-0,007	-0,003	2,911	20,046	0,150	2,911	69,900	0,556						
5407,400	-2007,410	79,703	88,229	88,052	88,140	-0,177	2,911	5,853	-949,401	-0,003	-0,006	2,911	22,957	0,150	2,911	70,200	0,556						
5410,340	-2007,310	79,853	88,052	87,857	87,955	-0,195	2,942	5,884	-866,017	-0,003	-0,009	2,942	25,899	0,150	2,942	70,600	0,741						
5413,280	-2007,200	80,003	87,857	87,686	87,771	-0,171	2,942	5,914	-990,849	-0,003	-0,012	2,942	28,841	0,150	2,942	70,900	0,556						
5416,250	-2007,080	80,153	87,686	87,301	87,494	-0,385	2,972	5,946	-442,318	-0,007	-0,019	2,972	31,814	0,150	2,972	71,300	0,741						
5419,220	-2006,940	80,303	87,301	87,319	87,310	0,018	2,973	5,967	9482,484	0,000	-0,018	2,973	34,787	0,150	2,973	71,600	0,556						
5422,210	-2006,800	80,453	87,319	87,337	87,328	0,018	2,993	6,007	9674,267	0,000	-0,018	2,993	37,780	0,150	2,993	72,000	0,741						
5425,220	-2006,660	80,603	87,337	87,157	87,247	-0,180	3,013	6,037	-953,263	-0,003	-0,021	3,013	40,793	0,150	3,013	72,400	0,741						
5428,240	-2006,510	80,753	87,157	86,987	87,072	-0,169	3,024	6,068	-1026,733	-0,003	-0,024	3,024	43,817	0,150	3,024	72,800	0,741						
5431,280	-2006,350	80,903	86,987	86,810	86,898	-0,177	3,044	6,099	-984,644	-0,003	-0,027	3,044	46,861	0,150	3,044	73,200	0,741						
5434,330	-2006,180	81,053	86,810	86,831	86,820	0,021	3,055	6,129	8466,196	0,000	-0,027	3,055	49,916	0,150	3,055	73,600	0,741						
5437,400	-2006,010	81,203	86,831	86,851	86,841	0,020	3,075	6,169	8632,772	0,000	-0,027	3,075	52,991	0,150	3,075	74,000	0,741						
5440,490	-2005,840	81,353	86,851	87,221	87,036	0,370	3,095	6,188	479,331	0,006	-0,020	3,095	56,086	0,150	3,095	74,300	0,556						

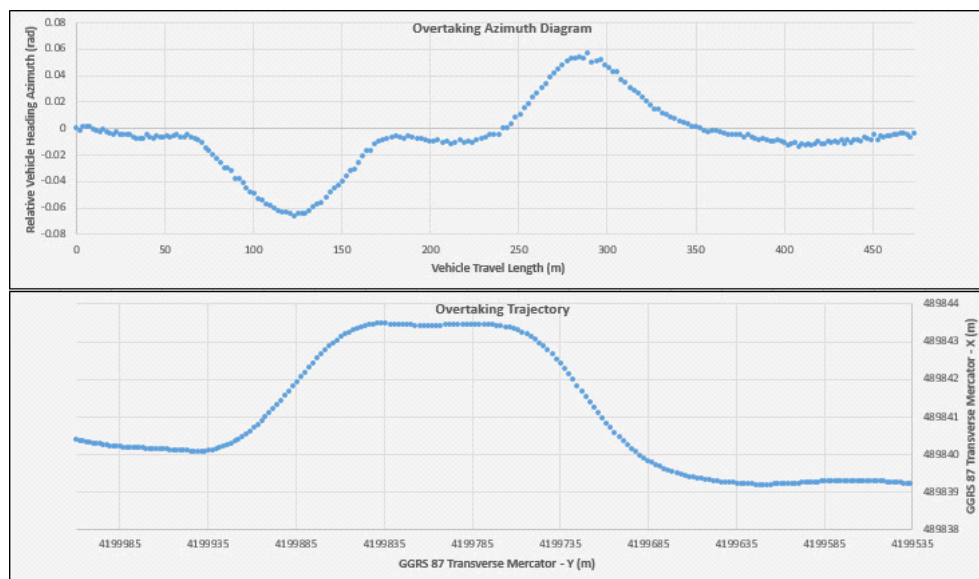
Πίνακας 5. 4 - Τα δεδομένα του γωνιακού διαγράμματος

Επίσης, τα δεδομένα από το εύρος της προσπέρασης αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία του διαγράμματος αζιμούθιου.



Εικόνα 5. 3 - Διάγραμμα αζιμούθιου στο φύλλο Data input

Κρίνεται αναγκαίο να σημειωθεί η σημασία της οριζοντιογραφίας σε σχέση με το διάγραμμα αζιμούθιων. Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται η τροχιά που διαγράφεται τη στιγμή της προσπέρασης στην οριζοντιογραφία (κάτω διάγραμμα) και την αντίστοιχη τροχιά στο διάγραμμα αζιμούθιων (πάνω) κατά το ίδιο ακριβώς διάστημα. Στην αρχή των δύο αυτών διαγραμμάτων παρατηρείται ότι η διεύθυνση κίνησης του οχήματος στο διάγραμμα της οριζοντιογραφίας είναι αριστερόστροφη, ενώ στο διάγραμμα αζιμούθιων καθώς μειώνεται το αζιμούθιο από την αριστερόστροφη κίνηση του οχήματος το διάγραμμα έχει πτωτική τάση.

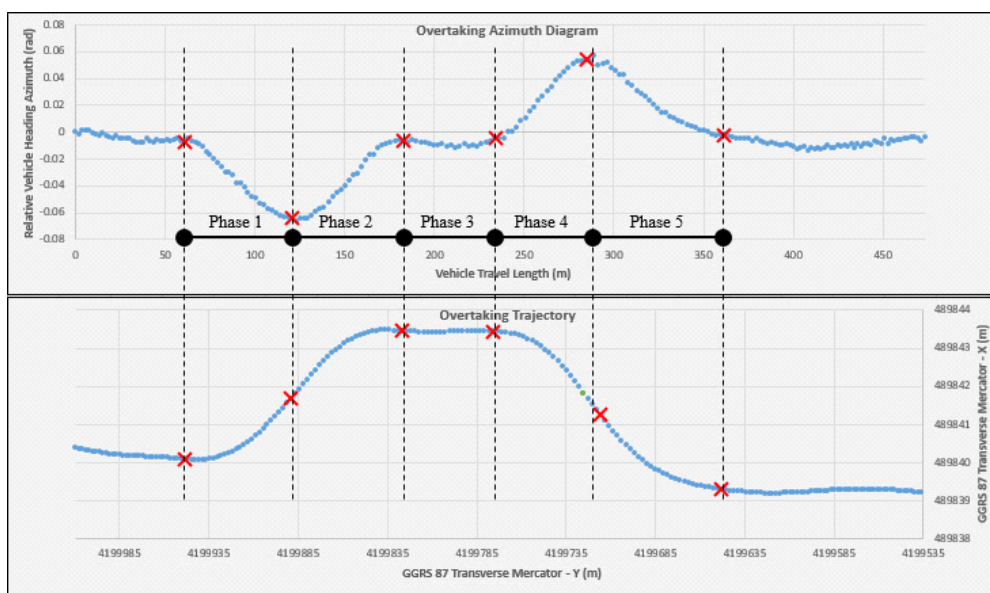


Σχήμα 5. 1 - Διάγραμμα αζιμούθιων (πάνω) και η αντίστοιχη οριζοντιογραφία (κάτω) μιας τυπικής προσπέρασης (Πηγή: [, Ν.Τραντάς)

Επίσης, από το Σχήμα 5.1 και το διάγραμμα της οριζοντιογραφίας (κάτω) είναι φανερό ότι η προσπέραση πραγματοποιείται ανάμεσα σε δύο λωρίδες και προβάλλεται με τις δύο καμπύλες που σηματοδοτούν την αλλαγή της λωρίδας και την ευθυγραμμία με το όχημα που προσπερνάει να είναι παράλληλα με το όχημα που προσπερνιέται.

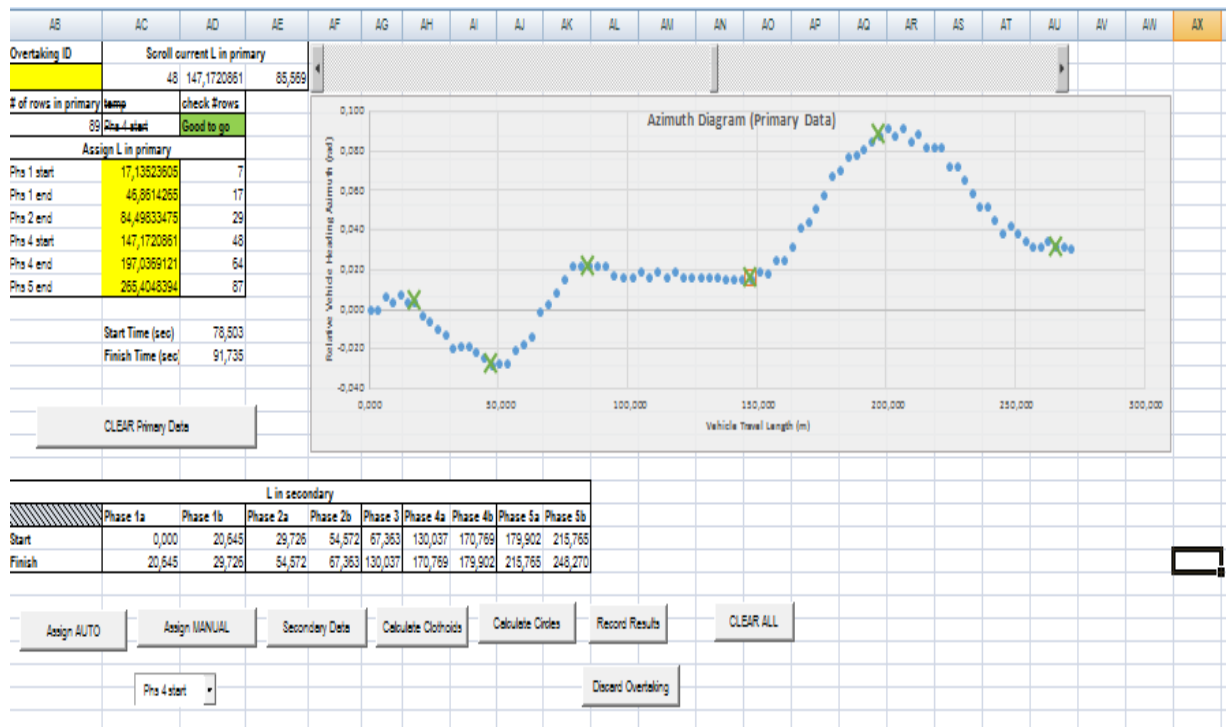
Όσον αφορά στο διάγραμμα αζιμούθιων η απεικόνιση είναι διαφορετική. Εδώ ένας κλάδος κατέρχεται, ένας ανέρχεται, μια οριζόντια ευθεία, ένας κλάδος ανέρχεται και τέλος ένας κατέρχεται και συνεχίζει ευθύγραμμα. Βάση αυτών των πέντε κλάδων έγινε η θεώρηση πως μια προσπέραση αποτελείται από πέντε διακριτές φάσεις, οι οποίες φαίνονται στον ακόλουθο Σχήμα 5.2. Η αντιστοίχιση των φάσεων και στα δύο διαγράμματα μας αποδεικνύει τη συσχέτιση των δύο αυτών που δεν είναι άλλο από την ίδια τη τροχιά του οχήματος.

Ειδικότερα, η Φάση 1 (phase 1) ξεκινάει όταν ο οδηγός εξέλθει από τη λωρίδα δηλαδή όταν στρίψει το τιμόνι του προς τα αριστερά μέχρι τη στιγμή που το τιμόνι επανέρχεται στην ουδέτερη θέση. Όταν αρχίζει να στρίβει προς τα δεξιά τότε ξεκινάει η Φάση 2 (phase 2) μέχρι το όχημα να ευθυγραμμιστεί με τον άξονα της αντίθετης λωρίδας. Στη Φάση 3 (phase 3) το όχημα κινείται ευθύγραμμα και παράλληλα με το όχημα που προσπερνάται. Όταν ο οδηγός αρχίζει να στριβεί ξανά το τιμόνι του, αυτή τη φορά δεξιόστροφα, για να εισέλθει στη λωρίδα του τότε ξεκινάει η Φάση 4 (phase 4) και μόλις στρίψει προς τα αριστερά το τιμόνι είναι η Φάση 5 (phase 5) έως ότου ξεκινήσει την ευθυγραμμία, δηλαδή μόλις προσπεράσει με ασφαλές τρόπο το άλλο όχημα και εισέλθει στη κανονική του λωρίδα συνεχίζοντας τη πορεία του.



Σχήμα 5. 2 - Επιμερισμός της προσπέρασης σε διαφορετικές φάσεις με βάση το διάγραμμα αζιμούθιων (Πηγή: [, Ν.Τραντάς)

Οι επιμέρους φάσεις στο περιβάλλον του Excel σημειώνονται στο διάγραμμα αζιμούθιο όπως φαίνονται στην Εικόνα 5.4, η ανάθεση των οποίων γίνεται με τη μακροεντολή “Assign Auto” ή αν πρέπει να γίνει αλλαγή για ένα σημείο αυτό γίνεται με το “Assign Manual” και τη φάση που θέλουμε να πραγματοποιηθεί η αλλαγή. Με το ‘Secondary data’ πραγματοποιείται η δευτερογενής μείωση και απομονώνονται τα δεδομένα που αφορούν τον καθαρό ελιγμό προσπέρασης.



Εικόνα 5. 4 - Πέντε φάσεις της προσπέρασης στο διάγραμμα αζιμούθιων

Μετά τη δευτερογενή μείωση εμφανίζονται στο φύλλο (*Data Input*) και στις στήλες S-AA οι συντεταγμένες, η χρονική στιγμή, η ταχύτητα του οχήματος, η χιλιομετρική θέση και το αζιμούθιο που αντιστοιχούσαν στις χρονικές στιγμές ανάμεσα στην αρχή της Φάσης 1 και το πέρας της Φάσης 5.

S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	A
Secondary Data (during the Overtaking)									Overtaking ID	Scroll current L in primary		
X (m)	Y (m)	Time (sec)	T _i (rad)	L _i (m)	ΔL _i (s)	ΔL _i (m)	Sim u _i (km/h)	Cal a _i (m/s ²)	48	147,1720861		
5401,580	-2007,570	79,403	0,000	0,000	0,150	2,891	69,600	0,556	# of rows in primary	temp	check #rows	
5404,490	-2007,500	79,553	-0,007	2,911	0,150	2,911	69,900	0,556	89	Phs 4 start	Good to go	
5407,400	-2007,410	79,703	-0,010	5,822	0,150	2,911	70,200	0,556	Assign L in primary			
5410,340	-2007,310	79,853	-0,013	8,764	0,150	2,942	70,600	0,741	Phs 1 start	17,13523605	7	
5413,280	-2007,200	80,003	-0,016	11,706	0,150	2,942	70,900	0,556	Phs 1 end	46,8614265	17	
5416,250	-2007,080	80,153	-0,023	14,678	0,150	2,972	71,300	0,741	Phs 2 end	84,49833475	29	
5419,220	-2006,940	80,303	-0,023	17,652	0,150	2,973	71,600	0,556	Phs 4 start	147,1720861	48	
5422,210	-2006,800	80,453	-0,022	20,645	0,150	2,993	72,000	0,741	Phs 4 end	197,0369121	64	
5425,220	-2006,660	80,603	-0,026	23,658	0,150	3,013	72,400	0,741	Phs 5 end	265,4048394	87	
5428,240	-2006,510	80,753	-0,028	26,682	0,150	3,024	72,800	0,741				
5431,280	-2006,350	80,903	-0,032	29,726	0,150	3,044	73,200	0,741				
5434,330	-2006,180	81,053	-0,031	32,781	0,150	3,055	73,600	0,741				
5437,400	-2006,010	81,203	-0,031	35,856	0,150	3,075	74,000	0,741				
									Start Time (sec)	78,503		
									Finish Time (sec)	91,735		

Εικόνα 5. 5 - Τα δεδομένα μετά τη δευτερογενή μείωση

Τέλος, με τις μακροεντολές ‘Calculate Clothoids’ και ‘Calculate Circles’ εμφανίζονται, τα απαιτούμενα δεδομένα που αφορούν κάθε μέθοδο, στο πέμπτο και στο έκτο υπολογιστικό φύλλο.

Στο τέταρτο υπολογιστικό φύλλο (*Dynamics*) εμφανίζονται τα δευτερογενή δεδομένα του προηγούμενου φύλλου με έμφαση στις πλευρικές και στις εγκάρσιες αποστάσεις των οχημάτων κάθε χρονική στιγμή t της προσπέρασης, και ειδικότερα:

1. Οι «καθαρές» εγκάρσιες αποστάσεις των οχημάτων που συμμετέχουν στην προσπέραση (Headway).
2. Οι πλευρικές αποστάσεις των οχημάτων από τον άξονα της οδού (Dleft)
3. Οι πλευρικές αποστάσεις των οχημάτων από το αριστερό άκρο της οδού (latx)
4. Οι «καθαρές» πλευρικές αποστάσεις μεταξύ οχήματος που πραγματοποιεί τον ελιγμό της προσπέρασης και του οχήματος που προσπερνάται (LSM).
5. Η γωνία στροφής του τιμονιού κατά τη διάρκεια του ελιγμού, μετρούμενη σε μοίρες (Wheel).

U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
Wheel (deg)	Li (m)	Dleft (m)	Rel-Time (s)	Hway Phase 1	Xpassing	Xpassed Before	Dif-Before	Xpassed After	Dif-After	Hway Phase 5	LatX	LSM			
1	0,00	6,73	0,00	15,00	0,00	15,00	-15,00	24,20	-24,20	-28,80	4,73	-1,13		Vimpeding	60,00
1	2,91	6,66	0,15	14,60	2,91	17,50	-14,59	26,70	-23,79	-28,39	4,66	-1,06		Vehicle Length	4,60
6	5,82	6,57	0,30	14,20	5,82	20,00	-14,18	29,20	-23,38	-27,98	4,57	-0,97		Vehicle Width	1,60
7	8,76	6,47	0,45	13,70	8,76	22,50	-13,74	31,70	-22,94	-27,54	4,47	-0,87		Road Width	8,00
7	11,71	6,35	0,60	13,30	11,71	25,00	-13,29	34,20	-22,49	-27,09	4,35	-0,75		Dist Right	1,20
7	14,68	6,22	0,75	12,80	14,68	27,50	-12,82	36,70	-22,02	-26,62	4,22	-0,62		Median Width	2,00
6	17,65	6,08	0,90	12,40	17,65	30,00	-12,35	39,20	-21,55	-26,15	4,08	-0,48			
5	20,65	5,94	1,05	11,90	20,65	32,50	-11,85	41,70	-21,05	-25,65	3,94	-0,34		LSM1	1,39
4	23,66	5,79	1,20	11,40	23,66	35,00	-11,34	44,20	-20,54	-25,14	3,79	-0,19		LSM4	1,81
4	26,68	5,63	1,35	162,80	26,68	37,50	-10,82	46,70	-20,02	-24,62	3,63	-0,03		Headway 1	15,00
4	29,73	5,47	1,50	162,30	29,73	40,00	-10,27	49,20	-19,47	-24,07	3,47	0,13		Headway 5	18,94
4	32,78	5,30	1,65	161,70	32,78	42,50	-9,72	51,70	-18,92	-23,52	3,30	0,30			

Πίνακας 5. 5 - Περιβάλλον του υπολογιστικού φύλλου *Dynamics*

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

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων σημαντικό ρόλο στην ερμηνεία των ελιγμών έχουν οι μεταβλητές που αφορούν τις εγκάρσιες αποστάσεις των οχημάτων μεταξύ τους αλλά και την απόσταση από τα άκρα του δρόμου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική μελέτη που αναλύεται παρακάτω.

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:

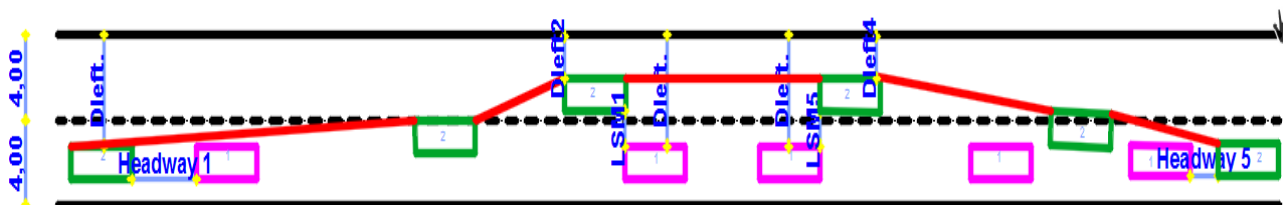
- **Headway 1** : Η «καθαρή» απόσταση του οχήματος που πραγματοποιεί τη προσπέραση σε σχέση με το όχημα αυτό που θα προσπεράσει κατά την εκκίνηση του ελιγμού (Φάση 1)
- **Headway 5** : Η «καθαρή» απόσταση του οχήματος που έχει πραγματοποιήσει την προσπέραση με το όχημα που έχει προσπεράσει (Φάση 5)
- **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 (στην αρχή της Φάσης 3)
- **LSM5**: 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 (στο τέλος της Φάσης 3)

Ο προσομοιωτής μπορεί εύκολα να καταγράψει την απόσταση του προπορευόμενου οχήματος (Headway), καθώς και τις πλευρικές αποστάσεις Dleft και LatX κάθε χρονική στιγμή. Έχοντας ως δεδομένα τις διαστάσεις των οχημάτων αλλά γνωρίζοντας και την απόσταση από την άκρη του δρόμου μέχρι το όχημα που κινείται στον άξονα της λωρίδας του (Dleft) είναι εύκολο να υπολογιστεί η μεταξύ τους απόσταση τη στιγμή της προσπέρασης. Στην Εικόνα 5.6 απεικονίζονται οι μεταβλητές αυτοί.

Lateral safety margin (LSM) = Dleft (οχήματος που προσπερνιέται) – Dleft (οχήματος που προσπερνάει) – πλάτος οχήματος που προσπερνάει

(5.1)

(πηγή: [], Χατζηελευθερίου)¹⁸



Εικόνα 5. 6 - Οι απαραίτητοι παράμετροι που καταγράφονται τη στιγμή της προσπέρασης

Το πέμπτο υπολογιστικό φύλλο (*Clothoid Analysis*) στηρίζεται στη μέθοδο της κλωθοειδούς καμπύλης.

Προκειμένου η αντιστοίχιση γεωμετρικών καμπυλών στη διαδικασία προσπέρασης να ανταποκρίνεται σε πραγματικές συνθήκες και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο οδηγός στη διαδικασία ελιγμών στις φάσεις 1-2 και 4-5 διαγράφει αλληλουχία καμπυλών τροχιών με συνεχή διόρθωση στη γωνία στροφής των τροχών του οχήματος, θεωρήθηκε πως δεν ήταν δυνατή η υιοθέτηση τόξων με σταθερή καμπυλότητα. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε ότι οι

¹⁸ Χατζηελευθερίου, Γ. (2020). Προτυποποίηση τροχιάς προσπέρασης οχημάτων κινούμενα με σταθερή ταχύτητα μέσω προσομοιωτή οδήγησης. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ελιγμοί στις φάσεις 1-2 και 4-5 προσεγγίζονται ικανοποιητικά θεωρώντας αλληλουχία διαδοχικών τόξων με κλωθοειδών. Δηλαδή κάθε επιμέρους φάση θεωρήθηκε ότι συνίσταται από κλωθοειδείς κορυφής όπου το κυκλικό τόξο είναι σημειακό.

Κατά συνέπεια, κάθε φάση διαχωρίζεται σε επιμέρους υπό-φάσεις, όπου η κάθε υπό-φάση συνίσταται από μια κλωθοειδή κορυφής [κλωθοειδή εισόδου – σημειακή ακτίνα (με μηδενικό μήκος κυκλικού τόξου) – κλωθοειδή εξόδου]. Δηλαδή, τελικά ο ελιγμός αλλαγής λωρίδας προσπέρασης αποτελείται από δύο αντίρροπες καμπύλες όπου η καθεμιά συνίσταται από δύο τόξα.

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:

$$R = \frac{L_{\text{final}} - L_{\text{start}}}{2(\tau_{\text{final}} - \tau_{\text{start}})} \quad (5.2)$$

όπου:

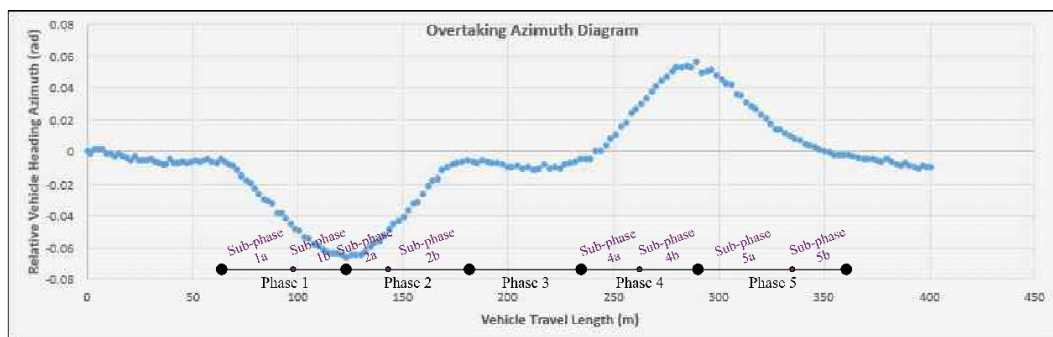
R (m) η (αλγεβρική) σημειακή ακτίνα ανάμεσα στην κλωθοειδή εισόδου και την κλωθοειδή εξόδου της φάσης

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

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

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



Εικόνα 5. 7 - Διαχωρισμός των βασικών φάσεων της προσπέρασης σε υπο-φάσεις (Πηγή [], Ν.Τραντάς)

Ο καθορισμός του σημείου κάθε υπό-φάσης σε αντίθεση με τα σημεία των υπόλοιπων φάσεων δεν πραγματοποιείται από το χρήστη. Τα εσωτερικά σημεία διαχωρίζονται με ένα μαθηματικό τρόπο, ώστε το μήκος των υπό-φάσεων που αποτελούν μία φάση να μην εμφανίζεται αλλά να δίνεται απλά το μήκος της συνολικής φάσης (phase 1 = sub-phase 1+ sub-phase 2) . Η υπόθεση πως το σημείο τερματισμού της μια φάσης αποτελεί το σημείο εκκίνησης της επόμενης ισχύει και για τα εσωτερικά σημεία των δύο υπό-φάσεων μιας φάσης. Με δεδομένα τα σημεία αρχής και τέλους μιας φάσης θεωρήθηκε, πως ένα από τα ενδιάμεσα σημεία του διαγράμματος αζιμούθιων αποτελούσε το συνοριακό σημείο των υπό-φάσεων. Μέσω μιας πολυωνυμικής παλινδρόμησης δευτέρου βαθμού σε κάθε υπό-φάση προέκυψαν δύο εξισώσεις της μορφής $T = aL + bL + c$ και ταυτόχρονα καταγράφηκαν και οι δύο συντελεστές R^2 . Η παλινδρόμηση πραγματοποιήθηκε για όλα τα δυνατά ζεύγη μηκών και συντελεστών προσδιορισμού των δύο υπό-φάσεων . Στη συνέχεια, αθροίστηκαν οι συντελεστές προσδιορισμού των δύο υπό-φάσεων (έστω R^2a και R^2b) για όλες τις περιπτώσεις. Ο συνδυασμός που απέδωσε τη μεγαλύτερη τιμή $R^2a + R^2b$ θεωρήθηκε και ο ορθότερος προς χρήση, αφού αυτό σημαίνει, πως οι εξισώσεις προσαρμόζονται καλύτερα στα πραγματικά δεδομένα και άρα τα περιγράφουν καλύτερα. Το σημείο εκείνο, για το οποίο παρατηρήθηκε η μέγιστη τιμή του αθροίσματος των δύο επιμέρους συντελεστών προσδιορισμού αποτέλεσε και το τελικό σημείο διαχωρισμού των υπό-φάσεων.

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.(από [],Τραντάς)¹⁹

Ειδικότερα, υπολογίζονται :

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

$$A_a = \sqrt{|R| (L_{middle} - L_{start})} \quad (5.3)$$

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

$$A_b = \sqrt{|R| (L_{final} - L_{middle})} \quad (5.4)$$

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) :

$$L_a = \frac{A_a^2}{|R|} \quad (5.5)$$

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

¹⁹ Τραντάς, Ν. (2021), Ανάπτυξη Νέου Μαθηματικού Προσομοιώματος για τον Ελιγμό της Προσπέρασης σε Οδούς Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας με Χρήση Πραγματικών Δεδομένων από Οδικό Πείραμα. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

$$L_b = \frac{A_b^2}{|R|} \quad (5.6)$$

Η γωνία αλλαγής διεύθυνσης της κλωθοειδούς εισόδου στην υπό-φάση a, τ_a (rad) :

$$\tau_a = \frac{L_a}{2|R|} \quad (5.7)$$

Η γωνία αλλαγής διεύθυνσης της κλωθοειδούς εξόδου στην υπό-φάση b, τ_b (rad):

$$\tau_b = \frac{L_b}{2|R|} \quad (5.8)$$

Οι παραπάνω παράμετροι αφορούν μια κλωθοειδή καμπύλη. Όμως, υπολογίζονται και ορισμένες παράμετροι που αφορούν συνολικά στην τυπική καμπύλη της κάθε φάσης της προσπέρασης.

Συγκεκριμένα, υπολογίζονται:

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

$$\alpha = |\tau_{final} - \tau_{start}| - \tau_a - \tau_b \quad (5.9)$$

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

$$b = \alpha \cdot |R| \quad (5.10)$$

Με δεδομένο πως το κυκλικό τόξο είναι σημειακό, είναι προφανές, πως οι 5.9 και 5.10 πρέπει να δίνουν μηδενικές τιμές. Στην παρούσα εργασία λειτούργησαν περισσότερο ως έλεγχος επαλήθευσης, καθώς αν έδιναν αποτέλεσμα διάφορο του μηδενός θα σήμαινε πως κάπου θα υπήρχε λάθος. Εντούτοις, αν σε κάποια μελλοντική έρευνα αποφαισιζόταν να χρησιμοποιηθεί πλήρης μια τυπική καμπύλη για να περιγραφεί μια φάση προσπέρασης, οι παράμετροι α και b θα έπρεπε να υπολογιστούν.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιούνται γνωστοποιούνται στο αντίστοιχο υπολογιστικό περιβάλλον. Οι παράμετροι που εμφανίζονται είναι μόνο τα μήκη L_a και L_b και η σημειακή ακτίνα R , ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι υπολογίζονται αλλά δεν χρησιμοποιούνται για την παρούσα εργασία.

Στην Εικόνα 5.8 απεικονίζεται ένα μέρος από το υπολογιστικό φύλλο “Clothoid Analysis” μετά από την εκτέλεση των σχετικών υπολογισμών. Παρουσιάζονται μόνο τα κελιά που αφορούν στη Φάση 1 και τη Φάση 2 της προσπέρασης για να είναι πιο ευδιάκριτα. Οι υπόλοιπες τρεις Φάσεις έχουν ακριβώς την ίδια διάταξη στο υπολογιστικό φύλλο. Στις στήλες με το πορτοκαλί χρώμα τοποθετούνται τα δευτερογενή δεδομένα του διαγράμματος αζιμούθιων που αφορούν στην εκάστοτε φάση, ενώ οι στήλες E έως H και M έως P αντίστοιχα χρησιμοποιούνται ως βοηθητικές για την επαναληπτική διαδικασία της πολυωνυμικής παλινδρόμησης. Στις στήλες C-D και K-L πραγματοποιούνται αυτόματα οι υπολογισμοί των ζητούμενων παραμέτρων, που αντιστοιχούν στις σχέσεις 5.3-5.10. Στο

κάτω μέρος του φύλλου αυτού είναι ένα βοηθητικό σημειωματάριο ώστε κατά την εκτέλεση της επαναληπτικής διαδικασίας να καταγράφονται οι συντελεστές του δευτεροβάθμιου πολυωνύμου της παλινδρόμησης, καθώς και ο συντελεστής προσδιορισμού.

Phase 1							Phase 2								
T _i (rad)	L _i (m)	L _{entr} (m)	R ²				T _i (rad)	L _i (m)	L _{entr} (m)	R ²					
0	0	L _{entr} (m)	20,64500237	SubPhase a	SubPhase b	Sum of the two	loop	-0,03158	29,72619	L _{entr} (m)	54,572145	SubPhase a	SubPhase b	Sum of the two	loop
-0,00687	2,910848	L _{entr} (m)	29,72619046	1	0,9655746	1,9655746	1	-0,03122	32,78092	L _{entr} (m)	67,363099	1	0,97157905	1,971579049	1
-0,00993	5,82224	T _{entr} (rad)	0	1	0,94900164	1,94900164	2	-0,03086	35,85563	T _{entr} (rad)	-0,0315779	1	0,97815445	1,978154448	2
-0,01333	8,763942	T _{entr} (rad)	-0,022396744	0,99123395	0,92122979	1,912463742	3	-0,0244	38,95031	T _{entr} (rad)	0,006101	0,94790604	0,97528022	1,923186254	3
-0,0163	11,706	T _{entr} (rad)	-0,031577922	0,99061195	0,88457314	1,875165099	4	-0,02103	42,04395	T _{entr} (rad)	0,0178045	0,9537128	0,96171248	1,935425283	4
-0,02302	14,67843	L _s (m)	20,64900237	0,9767219	0,97906236	1,955784263	5	-0,01786	45,14711	L _s (m)	24,845955	0,95894549	0,96268292	1,94162841	5
-0,02271	17,65173	L _s (m)	9,081188087	0,97622317	0,97809202	1,954315187	6	-0,00461	48,26984	L _s (m)	12,790954	0,9717589	0,96770164	1,939460542	6
-0,0224	20,645	T _s (rad)	0,02193104	0,97331974	0,99987803	1,973197773	7	-0,00128	51,41113	T _s (rad)	0,0325998	0,97442945	0,98587803	1,960307482	7
-0,02554	23,65826	T _s (rad)	0,009646882	0,97637333	1	1,976373332	8	0,005101	54,57215	T _s (rad)	0,0167827	0,97630752	0,98322378	1,961531299	8
-0,02849	26,68198	A _s (m)	98,57880362	0,97549416	1	1,975494169	9	0,011468	57,74272	A _s (m)	97,304573	0,98172824	0,93558973	1,917317969	9
-0,03158	29,72619	R _s (m)	65,37838572					0,017747	60,93297	A _s (m)	69,816306	0,98438353	1	1,984383532	10
		R _s (m)	-470,6799882					0,017805	64,13304	R _s (m)	381,07531	0,97509995	1	1,975099946	11
		Δt (rad)	-0,031577922					0,017805	67,3631	Δt (rad)	0,0493825				
		γ (rad)	0,031577922							γ (rad)	0,0493825				
		a (rad)	0							a (rad)	0				
		b (m)	0							b (m)	0				
		max R ²	1,976373332							max R ²	1,98438353				
		max pos	11							max pos	11				
		real max R ²	1,973197773							real max R ²	1,9615313				
		r max pos	10							r max pos	11				

Εικόνα 5. 8 - Υπολογιστικό περιβάλλον του Clothoid Analysis

Τέλος, το τελευταίο υπολογιστικό φύλλο (*Data Output*) λειτουργεί ως πρωτόκολλο καταγραφής των αποτελεσμάτων, των σημαντικότερων παραμέτρων από κάθε υπολογιστικό φύλλο που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία της προσπέρασης. Η διαδικασία πάνω στο περιβάλλον του Excel, που αναφέρθηκε, επαναλήφθηκε για 211 ελιγμούς.

Assign L in primary						Mean Phase Acceleration a _m (m/s ²)					Headway H (m)	
Phs 1 start	Phs 1 end	Phs 2 end	Phs 4 start	Phs 4 end	Phs 5 end	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 1	Phase 5
5,326624	21,04452	78,49082	113,0813	156,3226	215,7744	-0,21	0,86	0,70	0,66	-0,59	3,60	-6,84

Εικόνα 5. 9 - Μέρος των αποτελεσμάτων από το υπολογιστικό φύλλο για κάθε προσπέραση

5.4 Διαχωρισμός ελιγμών προσπεράσεων

Καθώς πραγματοποιούνται η διαδικασία εύρεσης των μεταβλητών, έγινε αντιληπτό ότι, από τις τρεις συνολικά προσπεράσεις που εκτέλεσε ο χρήστης, στην πρώτη προσπέραση το όχημα ακολουθούσε το προπορευόμενο και τη χρονική στιγμή που εισέρχονταν στο ευθύγραμμο τμήμα της οδού άρχιζε να προσπερνάμε επιταχυνόμενη κίνηση μέχρι να την ολοκληρώσει. Έπειτα, εφόσον συνήθως το όχημα ήδη κινούταν στο όριο ταχύτητας, η εκτέλεση της 2^{ης} και 3^{ης} (κάποιες φορές) προσπέρασης τελούνταν σε συνθήκες ταχύτητας. Τέτοιου είδους προσπέρασης προσελκύουν το ενδιαφέρον των μελετητών καθώς πραγματοποιούνται συχνά από τους οδηγούς.

Για την επεξεργασία που θα ακολουθηθεί, κρίθηκε σκόπιμο να διαχωρίσουμε τα αποτελέσματα των προσπεράσεων με γνώμονα τη ταχύτητα. Ο διαχωρισμός έγινε σε επιταχυνόμενες προσπεράσεις (**overtaking**) και σε προσπεράσεις που η ταχύτητα ενώ ήταν περίπου σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του ελιγμού θεωρήθηκε ότι εκτελέστηκαν με τελείως σταθερή ταχύτητα(**flyover**). Ο συνολικός αριθμός των προσπεράσεων με σταθερή ταχύτητα προέκυψαν 98 και των επιταχυνόμενων 67.

5.5 Κατασκευή Θηκογραμμάτων

Με σκοπό την εξηγηματική ανάλυση των δεδομένων που υπολογίστηκαν, κατασκευάστηκαν τρία θηκογράμματα. Το ένα αφορά στις προσπεράσεις με ταχύτητα 50-70 km/h (δηλαδή 50 km/h κίνηση προσπερνώντος οχήματος, 70 km/h όριο ταχύτητας), το δεύτερο με ταχύτητα 60-80 km/h και στο τρίτο με 70-90 km/h. Τα γραφήματα έγιναν ξεχωριστά για κάθε ταχύτητα και η διαδικασία εκτελέστηκε δύο φορές (overtaking-flyover). Για τις παραμέτρους των προσπεράσεων με σταθερή ταχύτητα(flyover) αλλά και στις επιταχυνόμενες προσπεράσεις(overtaking). Το στατιστικό δείγμα περιλάμβανε:

- Overtaking : Για 50-70 km/h 25 αξιοποιημένες προσπεράσεις, για 60-80 km/h 20 προσπεράσεις και για 70-90 km/h 22.
- Flyover : Για 50-70 km/h 40 αξιοποιημένες προσπεράσεις, για 60-80 km/h 31 προσπεράσεις και για 70-90 km/h 27.

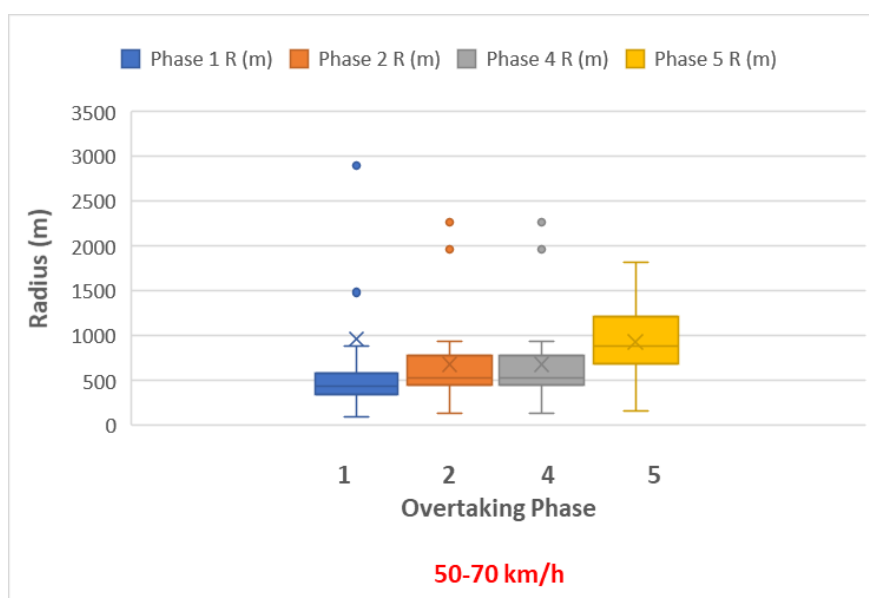
Οι παράμετροι που αναλυθήκαν για κάθε σενάριο είναι οι ακτίνες (R), ο συντελεστής προορισμού(R^2) και το μήκος(L) της κλωθοειδούς σε κάθε φάση, η μέση επιτάχυνση κάθε φάσης (am), οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνά με το προσπερνούμενο όχημα(Headway), το πλευρικό περιθώριο ασφαλείας(LSM) και το συνολικό μήκος της κάθε προσπέρασης(overtaking length).

6. Αποτελέσματα

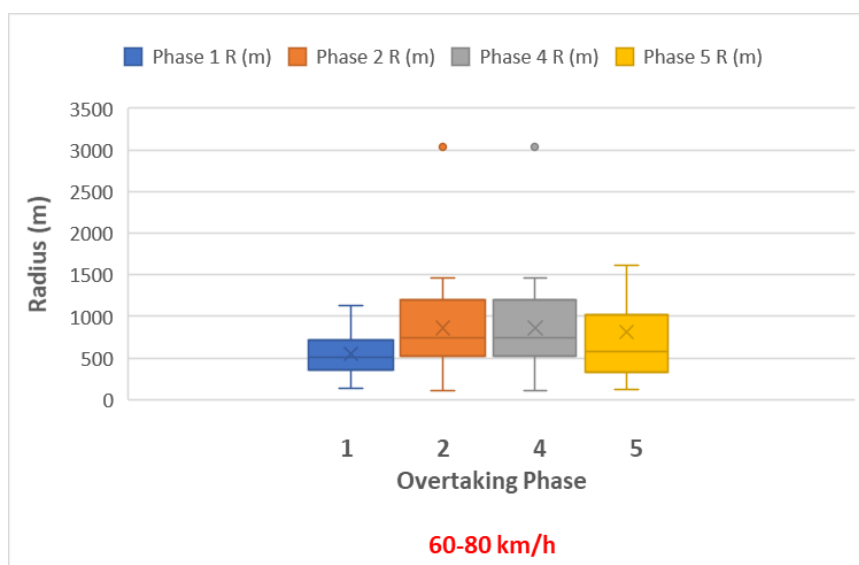
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε κάθε φάση μιας προσπέρασης. Οι κρίσιμες τιμές των μεγεθών παρατίθενται παρακάτω σε σχετικά γραφήματα για τα τρία σενάρια ταχυτήτων και για τις δύο κατηγορίες που διαχωρίστηκαν.

Από το στατιστικό δείγμα των προσπεράσεων με επιταχυνόμενη ταχύτητα (overtaking) προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα πλαισίου.

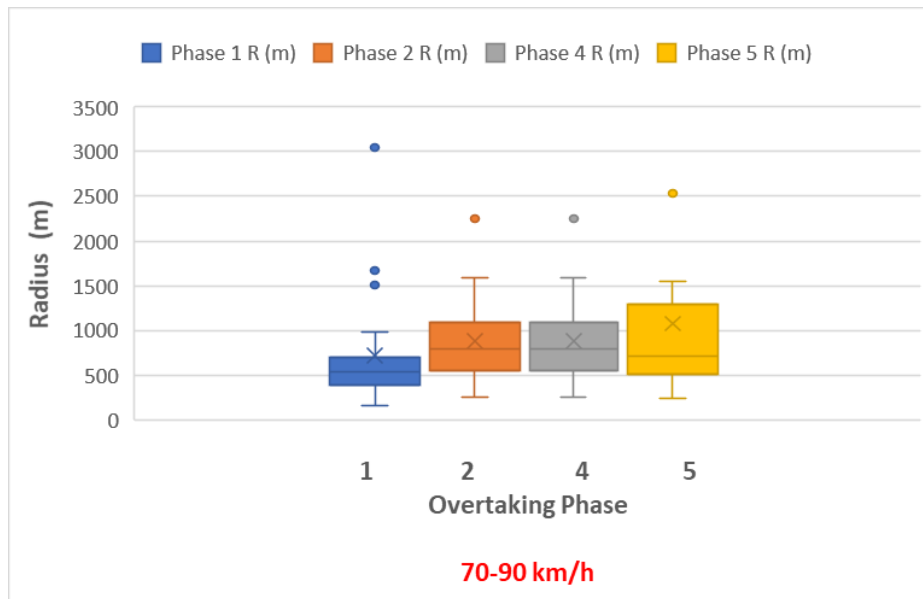
Αρχικά, πραγματοποιείται μία σύγκριση, για κάθε φάση προσπέρασης, της ακτίνας που προέκυψε από τη μέθοδο των κλωθοειδών. Με τη χρήση θηκογράμματος οι τιμές των αποτελεσμάτων οπτικοποιούνται στα παρακάτω σχήματα για κάθε σενάριο.



Σχήμα 6. 1 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h)



Σχήμα 6. 2 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος (60-80 km/h)



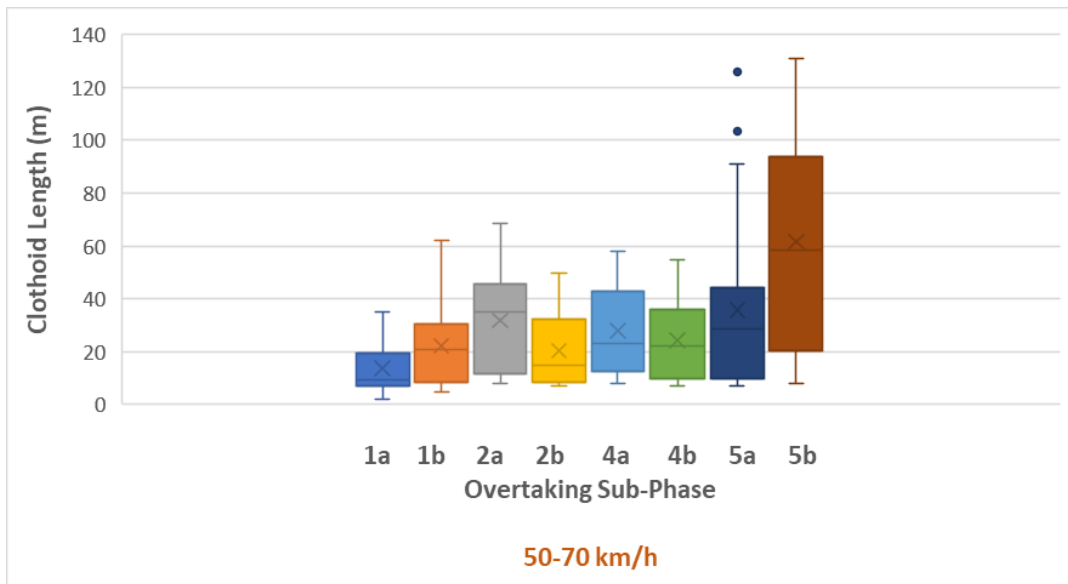
Σχήμα 6. 3 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος(70-90 km/h)

Στο πρώτο σενάριο (50-70 km/h) παρατηρείται ότι η διασπορά της ακτίνας στη 5^η φάση σε σχέση με τις υπόλοιπες είναι μεγαλύτερη. Η διάμεση γραμμή του πλαισίου, χρώματος κίτρινο, βρίσκεται έξω από τα υπόλοιπα πλαίσια και αυτό μας δείχνει τη διαφορά μεταξύ τους. Η 1^η φάση έχει το μικρότερο πλαίσιο δηλαδή λιγότερα διασκορπισμένα δεδομένα. Η 2^η και 4^η έχουν ίδιο εύρος διασποράς.

Οι ίδιες παρατηρήσεις απεικονίζονται και για τα άλλα δύο σενάρια. Με τη διαφορά ότι στη 5^η φάση, της ταχύτητα 60-80km/h, είναι πολύ μικρότερη η διασπορά σε σχέση και με τη 2^η και 4^η φάση και λιγότερο διασκορπισμένα τα δεδομένα. Ενώ στο σενάριο 70-90 km/h η 5^η φάση δεν έχει τόσο διαφορά με τις 2^η και 4^η φάση, παρατηρείται, ωστόσο, η ασυμμετρία που έχει το πλαίσιο αυτό, όπως φαίνεται από τη διάμεση γραμμή.

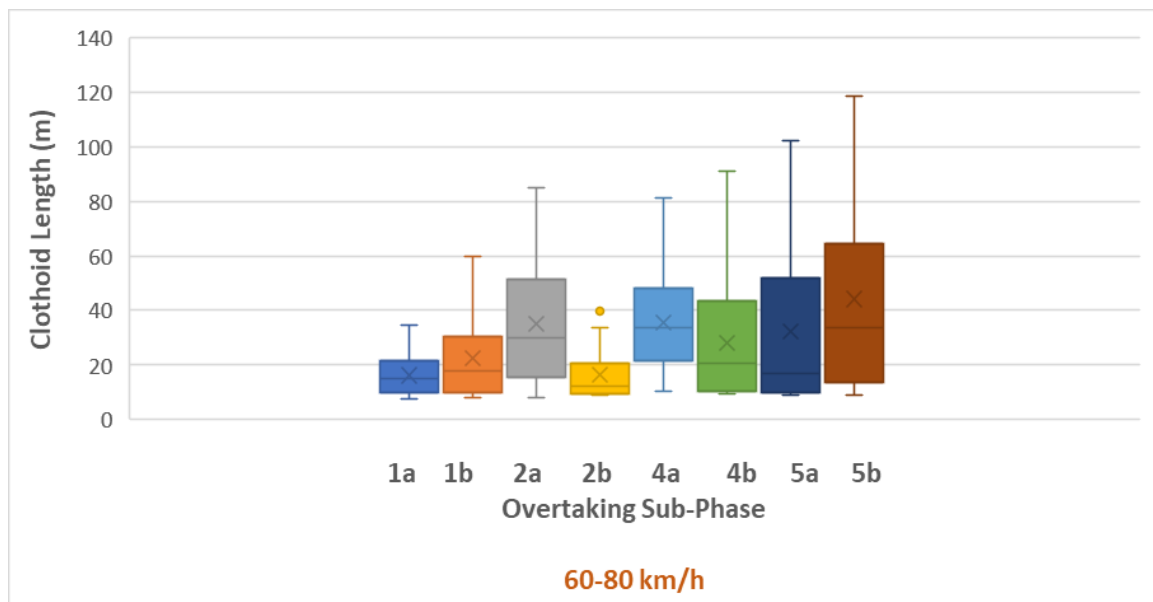
Συνολικά και για τα τρία σενάρια η ακτίνα της 1^{ης} φάσης είναι ίδια και στα τρία όρια. Η 2^η και η 4^η στο πρώτο σενάριο έχουν μικρότερη διασπορά σε σχέση με τα άλλα δύο, καθώς όπως φαίνεται υπάρχουν πιο μεγάλα πλαίσια άρα και μεγαλύτερη διασπορά. Η 5^η φάση διαφέρει σε κάθε σενάριο.

Στη συνέχεια, απεικονίζονται τα μήκη των επιμέρους υπό-φάσεων της προσπέρασης, όπως προέκυψαν από τη μέθοδο των κλωθοειδών με τη μέθοδο του θηκογράμματος.



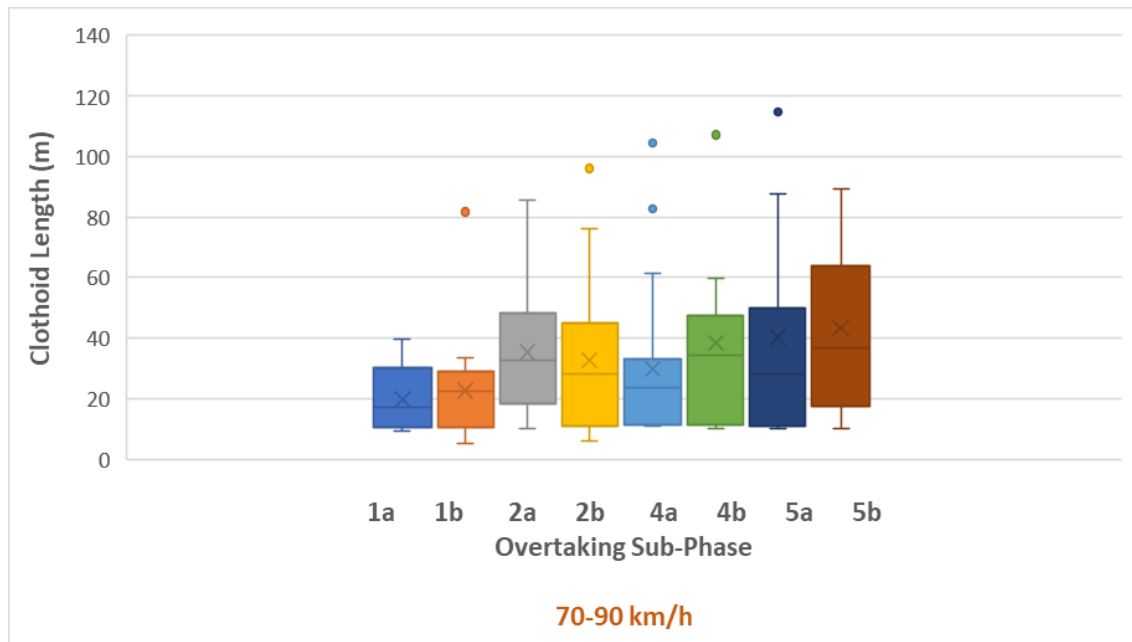
Σχήμα 6. 4 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h)

Η διασπορά στο μήκος της 5b φάσης είναι φανερά πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τις υπόλοιπες υπο-φάσεις. Η 1a αντίθετα, έχει τη μικρότερη διασπορά και παρατηρείται ότι πρόκειται για μη συμμετρική αφού η διάμεσος είναι πολύ κοντά στις τιμές του πρώτου τεταρτημορίου. Η 2a είναι ασύμμετρη με τις τιμές της να είναι κοντά στο τρίτο τεταρτημόριο.



Σχήμα 6. 5 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος (60-80 km/h)

Σε αυτό το σενάριο παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στις υπό-φάσεις με τη 1a και τη 2b να έχουν λιγότερες διασκορπισμένες παρατηρήσεις. Η 5b εμφανίζεται με το μεγαλύτερο πλαίσιο, υποδηλώνοντας ότι όσο μεγαλύτερο τόσο πιο διασκορπισμένα τα δεδομένα και το μεγαλύτερο εύρος. Η 5a και η 2b εμφανίζονται μη συμμετρικές.

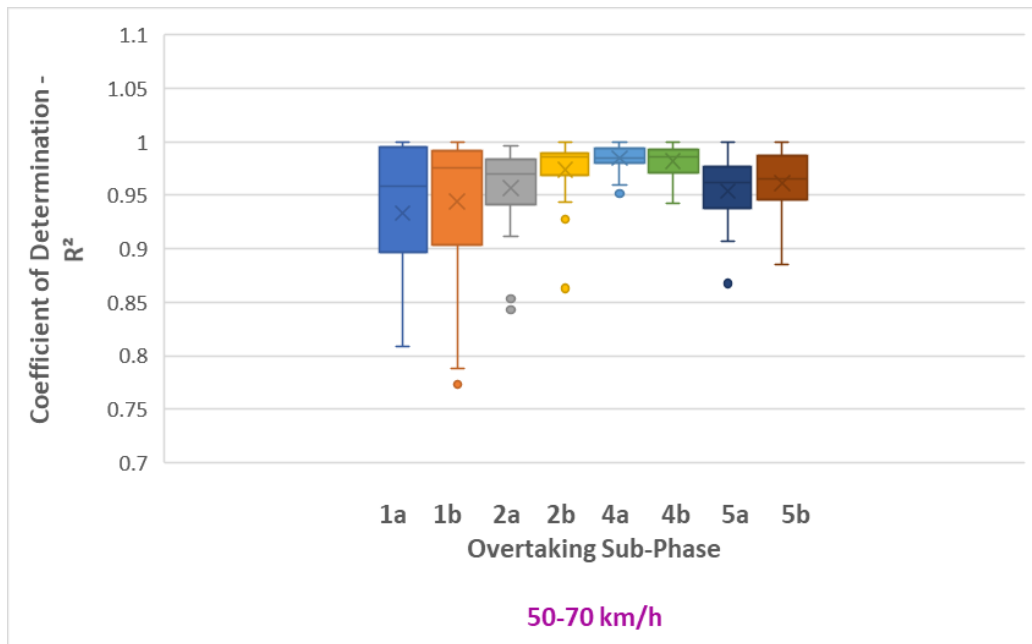


Σχήμα 6. 6 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος (70-90 km/h)

Τα θηκογράμματα σε αυτό το σενάριο δεν έχουν τόση διαφορά μεταξύ τους όπως στα προηγούμενα. Παρατηρείται, ότι αρκετές τιμές είναι αρκετά μεγαλύτερες από το υπόλοιπο δείγμα, κάτι που γίνεται αντιληπτό με τις χρωματιστές κουκίδες εκτός των πλαισίων. Η 1a και η 1b έχουν την ίδια διασπορά με διαφορετικό εύρος με την 1a είναι ασύμμετρη αφού η διάμεσος είναι πιο κάτω σε σχέση με το μέσο του πλαισίου. Η 5a και σε αυτό το σενάριο έχει τη μεγαλύτερη διασπορά.

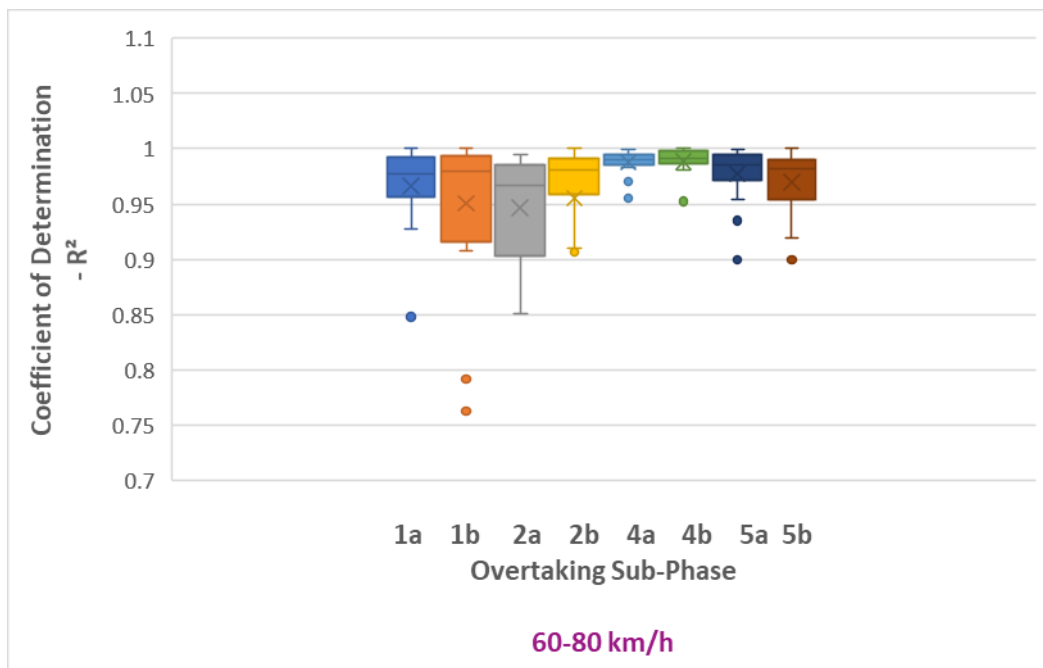
Σε όλα τα σενάρια η υπό-φάση 5b έχει τη μεγαλύτερη διασπορά και τα πλαίσια της 5a παραμένουν σταθερά για τις δύο ταχύτητες. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εντοπίζεται στα διαγράμματα της υπό-φάσης 2b. Τέλος, παρατηρείται στο σενάριο 60-80 km/h να υπάρχουν τα λιγότερα διασκορπισμένα δεδομένα εφόσον εκ των τριών έχει τα μικρότερα πλαίσια.

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι μια παράμετρος με την οποία ποσοτικοποιείται η ποιότητα της προσαρμογής μιας καμπύλης σε μία ομάδα δεδομένων. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από το 0 ως το 1. Στα σχήματα παρακάτω συγκεντρώνονται οι συντελεστές για κάθε υπό-φάση σε όλα τα σενάρια ταχυτήτων.



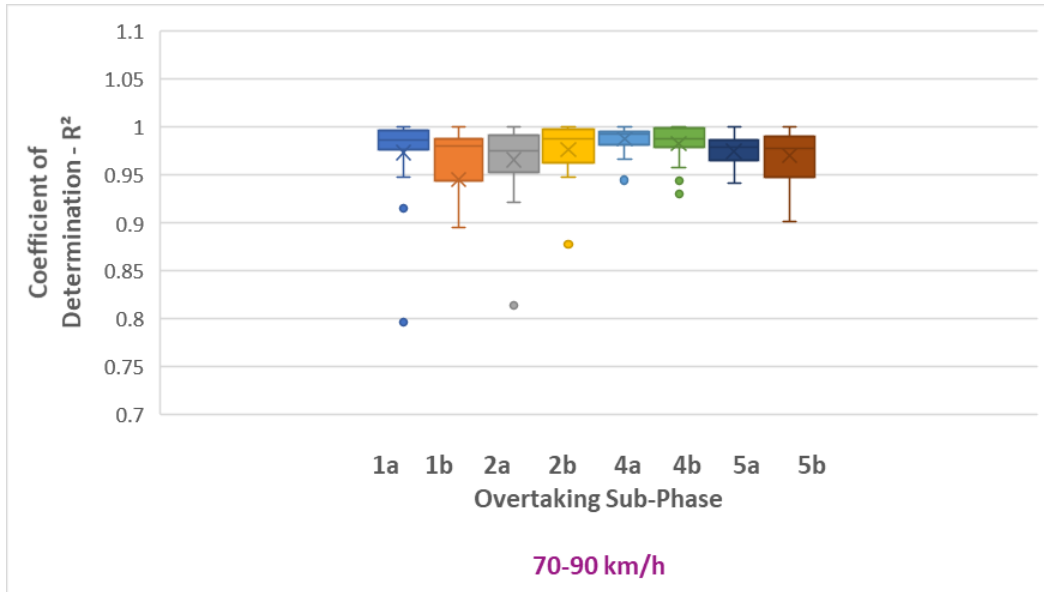
Σχήμα 6. 7 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο πρώτο σενάριο (50-70 km/h)

Οι υπο-φάσεις 4a και 4b έχουν εύρος τιμών κοντά στη τιμή 1, επομένως έχουν τη καλύτερη προσαρμογή σε σχέση με τις 1a και 1b.



Σχήμα 6. 8 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο πρώτο σενάριο(60-80 km/h)

Ενώ στο σενάριο αυτό, η 4a με 4b έχουν καλύτερη προσαρμογή σε σχέση με τη 2a και την 1b, όπου το εύρος τους είναι πιο μεγάλο σε σχέση με τις υπόλοιπες υπό-φάσεις.

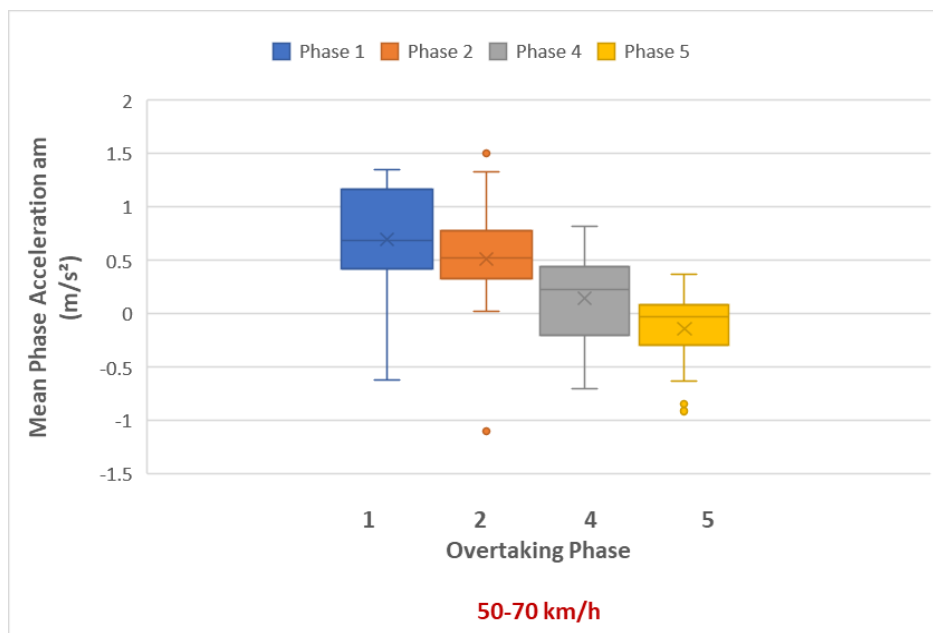


Σχήμα 6. 9 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο τρίτο σενάριο (70-90 km/h)

Στο σενάριο αυτό παρατηρείται ότι οι ο συντελεστής προσαρμογής σε κάθε μια από τις υπό-φάσεις είναι κοντά στη τιμή του 1, οπότε έχουν καλή προσαρμογή.

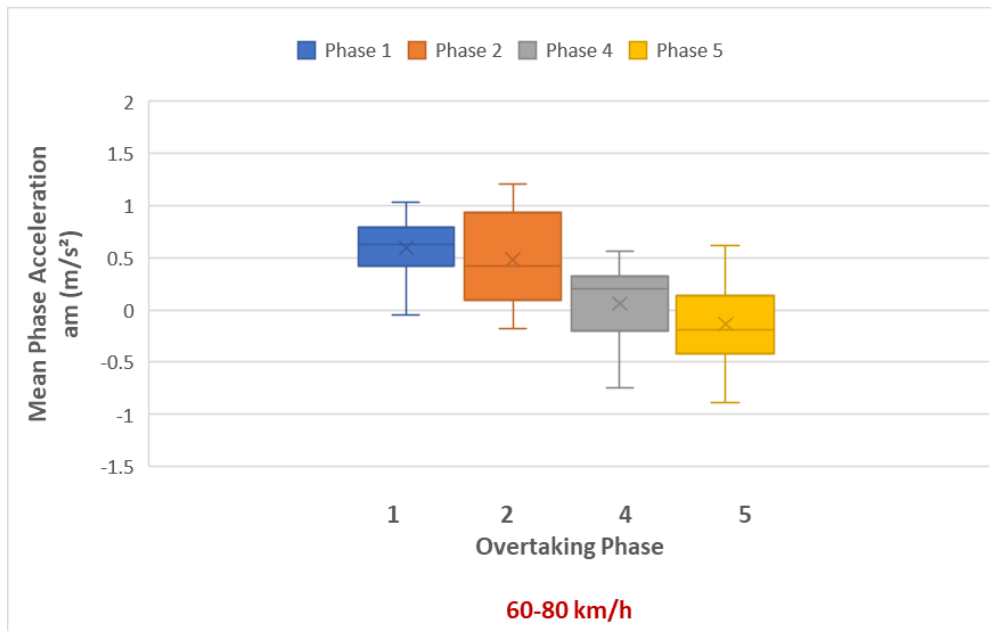
Συγκρίνοντας και τα τρία σενάρια μεταξύ τους, το τρίτο σενάριο με ταχύτητα 70-90 km/h έχει τη καλύτερη προσαρμογή αφού σε όλες τις τιμές των υπό-φάσεων η διασπορά είναι μικρότερη και όλες πολύ κοντά στο 1.

Η κινηματική του οχήματος προσφέρει, για την εξαγωγή της έρευνας, ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα. Αποτυπώθηκε η μέση επιτάχυνση του οχήματος που εκτέλεσε την προσπέραση στη κάθε φάση της και απεικονίζεται για κάθε σενάριο στα παρακάτω θηκογράμματα.



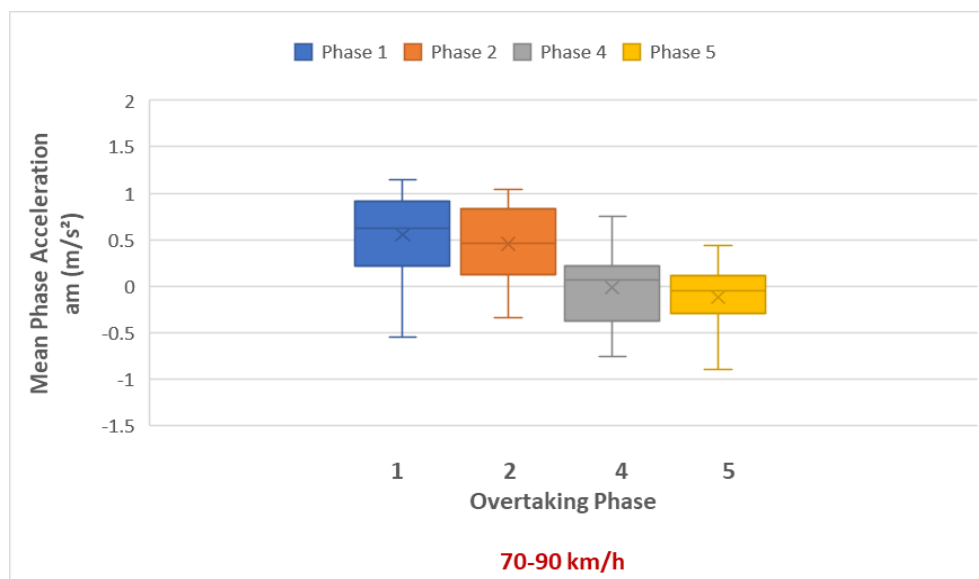
Σχήμα 6. 10 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος(50-70 km/h)

Η μεγαλύτερη διασπορά είναι στη 1^η φάση και η μικρότερη είναι στη 5^η που προκύπτει και ασύμμετρη αφού η διάμεσος είναι κοντά στις τιμές του τρίτου τεταρτημορίου. Συγκρίνοντας και τα 4 διαγράμματα μεταξύ τους παρατηρείται ότι η διάμεση γραμμή των πλαισίων βρίσκεται έξω από τα υπόλοιπα, για παράδειγμα η διάμεσος της φάσης 2 ή και της 1 είναι πάνω από τα πλαίσια των φάσεων 4 και 5, αυτό τονίζει τη διαφορετική επιτάχυνση που είχε σε κάθε φάση της προσπέρασης.



Σχήμα 6. 11 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος(60-80 km/h)

Η ίδια παρατήρηση ισχύει και σε αυτά τα διαγράμματα, δηλαδή για κάθε φάση είναι άλλο το εύρος των μέσων επιταχύνσεων. Σε αυτό το σενάριο η μεγαλύτερη διασπορά προκύπτει στη φάση 2 και η μικρότερη στη φάση 1.

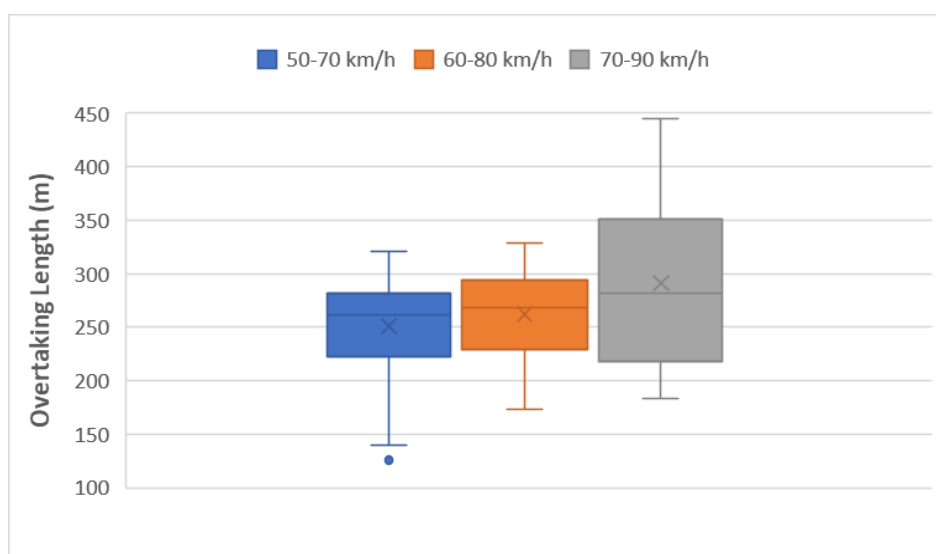


Σχήμα 6. 12 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος(70-90 km/h)

Η παρατήρηση που προέκυψε στο πρώτο και στο δεύτερο σενάριο παρατηρείται να συμβαίνει και σε αυτό με τη διαφορά ότι εδώ το εύρος της 1^{ης} και 2^{ης} φάσης είναι πιο κοντά. Η μικρότερη διασπορά προκύπτει στη φάση 5 και η μεγαλύτερη στη 1 και 2.

Συνολικά, η 1^η και 2^η φάση έχουν τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση συγκρίνοντας και τα τρία σενάρια μεταξύ τους και η 4^η φάση παρουσιάζεται μη συμμετρική σε όλα τα σενάρια.

Σε αυτό το θηκόγραμμα οπτικοποιείται το συνολικό μήκος που απαιτήθηκε για να ολοκληρωθεί ο εκάστοτε ελιγμός προσπέρασης και για τα τρία σενάρια ταχυτήτων. Στο διάγραμμα αυτό δεν αναφέρονται οι διάφορες φάσεις αλλά εντοπίζονται ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις για τη σχέση ταχύτητας και συνολικού μήκους.



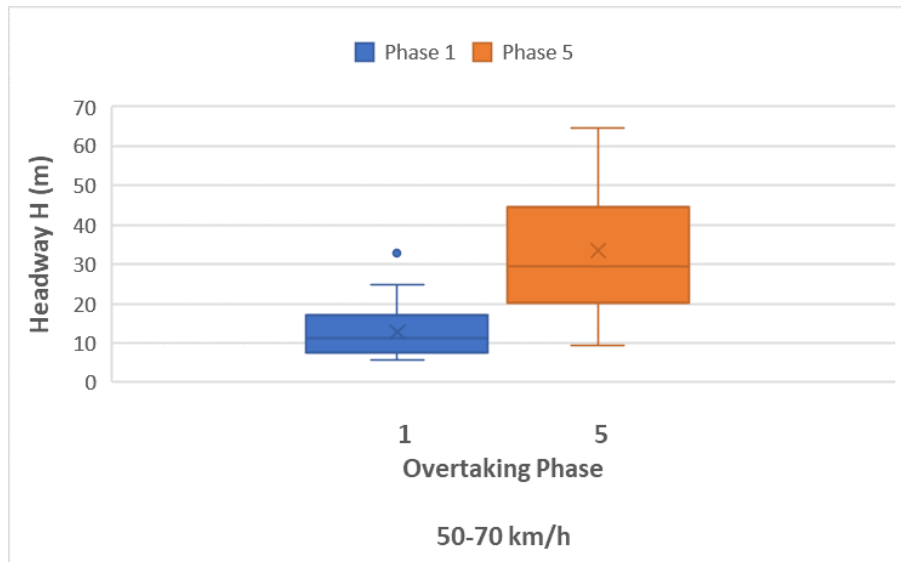
Σχήμα 6. 13 - Το συνολικό μήκος προσπέρασης που προέκυψε για τα τρία σενάρια του οδικού πειράματος

Ανάμεσα στα τρία σενάρια βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη διασπορά δεδομένων έχει η μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερα διασκορπισμένα δεδομένα, η τιμή με τη μικρότερη ταχύτητα.

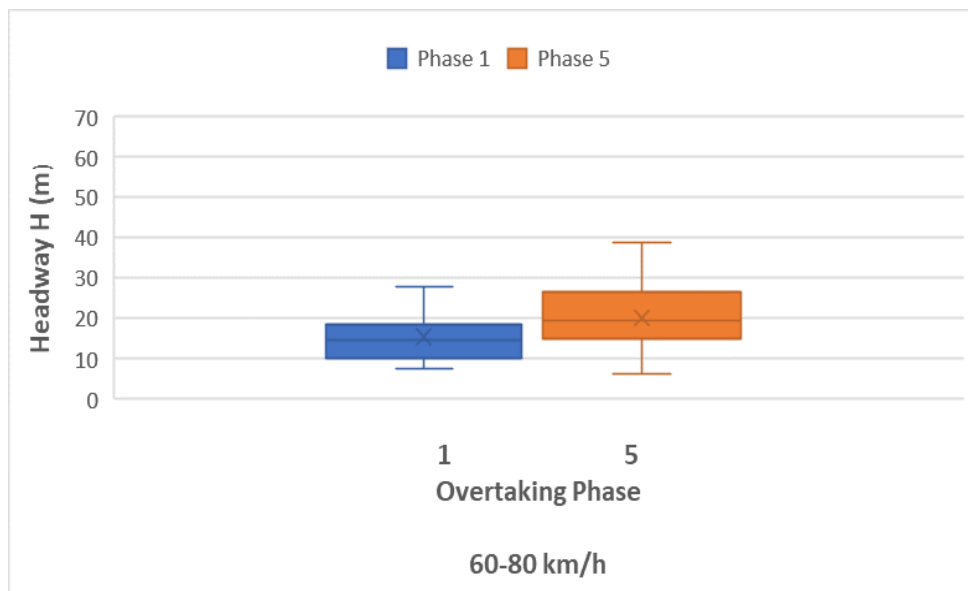
Μία πολύ σημαντική παράμετρος είναι η απόσταση που έχει το όχημα που προσπερνάει σε σχέση με το όχημα που έχει προσπεράσει (Headway). Η παράμετρος αυτή έχει μετρηθεί μόνο σε δύο φάσεις, στη 1 και στη 5 φάση. Συγκεκριμένα, πριν εκτελέσει τη προσπέραση και μόλις την ολοκληρώσει. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα διαγράμματα πλαισίων για κάθε σενάριο ταχύτητας.

Στο σενάριο 50-70 km/h, φαίνεται ότι τα δεδομένα της 1^{ης} φάσης είναι λιγότερα διασκορπισμένα από ότι στη 5^η φάση. Από τη διάμεσο της 5^{ης} φάσης βλέπουμε τη διαφορά των δύο πλαισίων αφού αν επεκταθεί αυτή δεν τέμνει το κουτί της πρώτης φάσης. Οι τιμές της απόστασης είναι μικρότερες στη 1^η, το οποίο σημαίνει ότι το όχημα που προσπερνούσε ήταν σε κοντινή απόσταση με αυτό που θα προσπερνούσε σε σχέση με τη 5^η φάση που παρατηρούνται μεγαλύτερες αποστάσεις ανάμεσα στα δύο οχήματα.

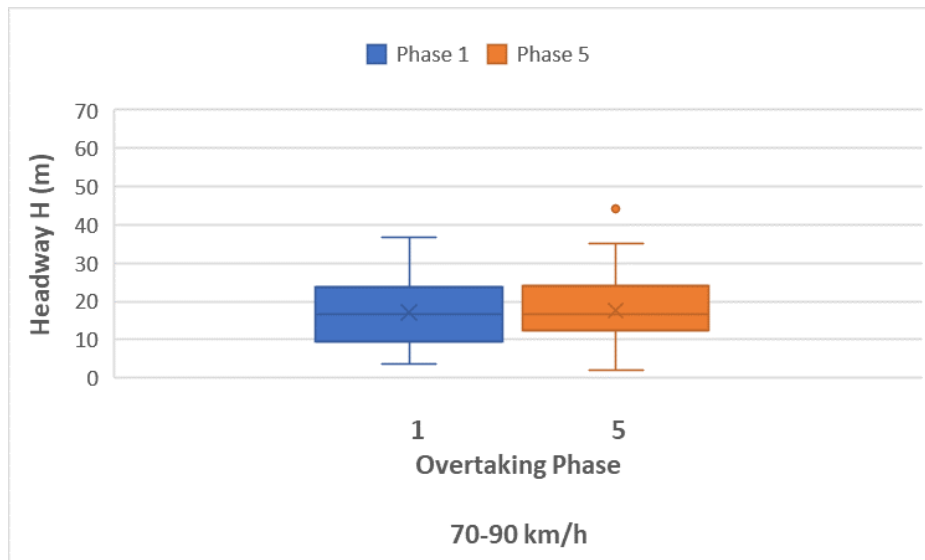
Για τη ταχύτητα 60-80 km/h, γίνεται φανερό ότι και εδώ η διάμεσος της 5^{ης} φάσης είναι πιο πάνω από το πλαίσιο της 1^{ης} αλλά εδώ η διασπορά της 5^{ης} είναι μικρότερη σε σχέση με το πρώτο σενάριο.



Σχήμα 6. 14 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος(50-70 km/h)



Σχήμα 6. 15 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος(60-80 km/h)

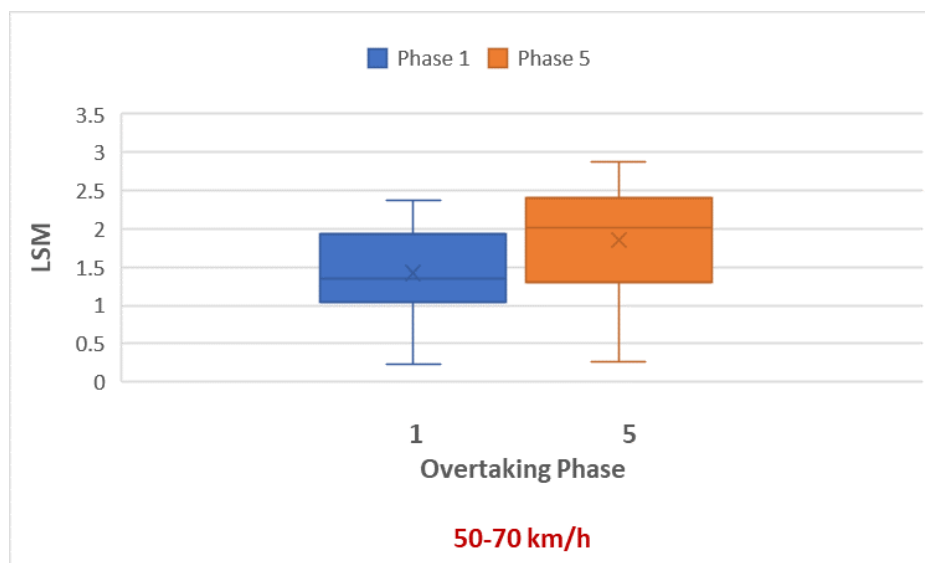


Σχήμα 6. 16 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος(70-90 km/h)

Στο τελευταίο σενάριο, παρατηρείται ότι η διασπορά είναι ίδια σχεδόν για κάθε φάση και εδώ η διάμεσος δεν φαίνεται να είναι έξω από το άλλο πλαίσιο.

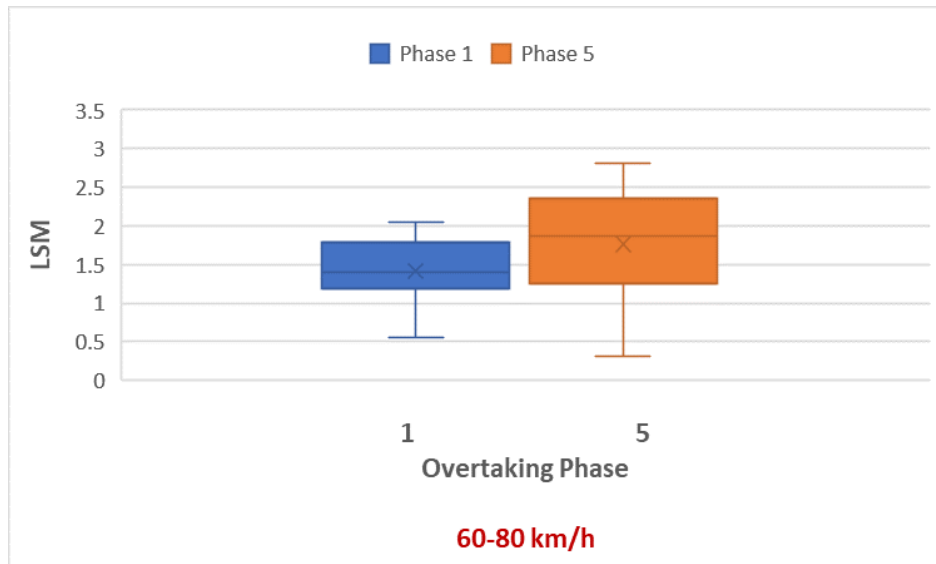
Συνολικά, η καλύτερη διασπορά με τα δεδομένα να μην είναι διασκορπισμένα πραγματοποιείται στο δεύτερο σενάριο για 60-80km/h, καθώς όσο μικρότερα τα πλαίσια τόσο λιγότερα διασκορπισμένα δεδομένα.

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος είναι η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων που καταγράφεται τη στιγμή της προσπέρασης και συγκεκριμένα όταν τα δύο οχήματα είναι παράλληλα, Lateral safety margin (LSM). Στα παρακάτω θηκογράμματα παρουσιάζεται η παράμετρος για τη φάση 1 και 5 απ' όπου μετρήθηκε.



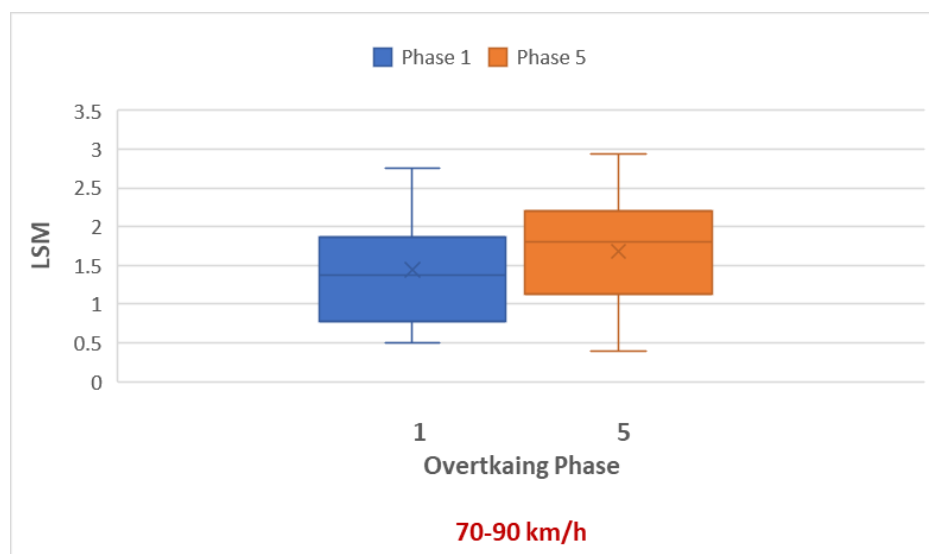
Σχήμα 6. 17 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το πρώτο σενάριο (50-70 km/h)

Στο σενάριο 50-70 km/h παρατηρείται ότι το πλαίσιο της 5^{ης} φάσης είναι μεγαλύτερο από ότι της 1^{ης} και αυτό συμβαίνει γιατί τα δεδομένα της 5^{ης} φάσης είναι πιο διασκορπισμένα. Επίσης, εντοπίζεται μια μικρή ασυμμετρία και στα δύο πλαίσια, με τη διάμεσο της 1^{ης} φάσης να είναι πιο κοντά στις τιμές του πρώτου τεταρτημορίου, ενώ της 5^{ης} να είναι πιο κοντά στις τιμές του τρίτου τεταρτημορίου.



Σχήμα 6. 18 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το δεύτερο σενάριο (60-80 km/h)

Για το σενάριο 60-80 km/h, παρατηρείται ότι τα δεδομένα της 1^{ης} φάσης είναι λιγότερα διασκορπισμένα σε σύγκριση με τα δεδομένα της 5^{ης} φάσης. Με τη διάμεσο της φάσης 5 να είναι και στο σημείο αυτό πάνω από το πλαίσιο, διακρίνεται η διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων.



Σχήμα 6. 19 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το τρίτο σενάριο (70-90 km/h)

Τέλος, στο σενάριο 70-90 km/h δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά όσον αφορά το μέγεθος του πλαισίου. Βέβαια, η φάση 5 εξακολουθεί να έχει τα περισσότερα διάσπαρτα δεδομένα σύμφωνα με τις τιμές στο τέλος των δύο μουστακίων.

Συγκρίνοντας και τα τρία σενάρια, συμπεραίνουμε ότι τα δεδομένα στη 5 φάση σε όλα τα σενάρια έχουν περίπου ίδια διασπορά, ενώ αυτό δεν συμβαίνει και για τη φάση 1. Στο σενάριο 60-80 km/h, η φάση 1 έχει το μικρότερο εύρος τιμών. Η ασυμμετρία και για τις δύο φάσεις πραγματοποιείται μόνο στο πρώτο σενάριο.

Για τα αποτελέσματα των θηκογραμμάτων κατασκευάστηκαν επιπρόσθετα τρεις πίνακες που αφορούν κάθε σενάριο ελιγμού ταχύτητας. Στον πίνακα 6.1 καταγράφονται οι πέντε αριθμητικές τιμές που περιλαμβάνονται σε ένα τυπικό θηκόγραμμα. Οι τιμές αυτές είναι η ελάχιστη τιμή (min), η τιμή που αντιστοιχεί στο πρώτο τεταρτημόριο (1st Quartile), η διάμεσος (median), η τιμή που αντιστοιχεί στο τρίτο τεταρτημόριο (3rd Quartile) και η μέγιστη τιμή (max).

Parameter	Min	1 st Quartile	Median	3 rd Quartile	Max
R₁	88.91685985	356.9214118	440.9906138	563.9352008	10464.975
R₂	135.2006458	461.5437515	532.579076	762.7668209	2271.2875
R₄	135.2006458	461.5437515	532.579076	762.7668209	2271.2875
R₅	165.994976	704.0644192	878.577892	1186.299828	1823.1213
R² 1a	0.533007316	0.905378679	0.958772058	0.993078199	0.9999873
R² 1b	0.772943092	0.908484545	0.976186679	0.988348982	1
R² 2a	0.843150325	0.944970067	0.970487672	0.981350235	0.9967405
R² 2b	0.863047686	0.969407938	0.985841653	0.987431586	0.9999785
R² 4a	0.951910261	0.979996098	0.984874989	0.99339821	0.9999998
R² 4b	0.942572101	0.973091977	0.986409222	0.992961707	0.9999284
R² 5a	0.867470784	0.939192466	0.962019	0.976567849	1
R² 5b	0.884925615	0.946329216	0.965341343	0.986713951	0.9999998
am 1	-0.619052998	0.465211597	0.691426142	1.141929837	1.3547033
am 2	-1.099326925	0.367678898	0.524189514	0.737506839	1.5055742
am 4	-0.702106995	-0.16893194	0.227977688	0.410977509	0.8186367
am 5	-0.910869824	-0.28545599	-0.024840661	0.073646243	0.3686014
Headway 1	5.7	7.825	11.25	16	32.8
Headway 5	9.345754017	20.55820637	29.33841041	42.58739709	82.403636
LSM 1	0.23421914	1.076015861	1.343389121	1.918172912	2.3690787
LSM 5	0.258931267	1.378582418	2.012592561	2.377950399	2.872397
Overtaking Length	125.8511862	226.6803279	262.0744007	280.383343	320.59944
L 1a	2.140585645	7.061712214	9.498494791	18.83742428	34.869404
L 1b	4.905745358	9.168982244	20.57057458	29.85697919	62.288931
L 2a	7.733105069	13.1634227	35.13837865	43.91595595	68.507121
L 2b	6.821062334	8.687048629	14.59157935	31.48420043	49.687808
L 4a	7.680071438	13.98009296	23.01671572	41.36697062	57.99621
L 4b	6.895289608	10.14861784	21.91639486	34.29913308	54.754851
L 5a	6.915674277	10.6582586	28.71211601	43.50074948	125.88151
L 5b	8.060113141	24.24443483	58.6043701	92.7671833	131.18046

Πίνακας 6. 1 - Οι αριθμητικές τιμές των θερμοκρασιών όλων των παραμέτρων για το σενάριο 50-70 km/h

Αντίστοιχα, στο Πίνακα 6.2 καταγράφονται τα πέντε αριθμητικά δεδομένα που προκύπτουν από τη διαδικασία επεξεργασίας του θηκογράμματος για το σενάριο 60-80 km/h.

Parameter	Min	1 rd Quartile	Median	3 rd Quartile	Max
R₁	132.35649	367.068373	505.67225	693.505019	1124.518
R₂	100.21241	540.008453	736.61999	1078.39174	3033.429
R₄	100.21241	540.008453	736.61999	1078.39174	3033.429
R₅	116.75555	362.599904	575.31033	974.956	3779.439
R² 1a	0.8478258	0.95630717	0.9773853	0.99116035	0.999999
R² 1b	0.7621999	0.93428261	0.9797372	0.99219302	0.999971
R² 2a	0.8504532	0.9193426	0.9669791	0.98420694	0.850453
R² 2b	0.6610486	0.95908606	0.9811634	0.98945779	0.999993
R² 4a	0.9551032	0.98497906	0.9906136	0.99434439	0.999885
R² 4b	0.9525084	0.98658526	0.9916308	0.99792722	0.999986
R² 5a	0.8993346	0.9720188	0.9855702	0.99509045	0.999503
R² 5b	0.899811	0.95744497	0.9818107	0.98930155	1
am 1	-0.043964	0.42660881	0.6235214	0.78718365	1.03191
am 2	-0.175199	0.12214344	0.4187549	0.91148535	1.209351
am 4	-0.750446	-0.16675427	0.2012331	0.31073029	0.565729
am 5	-0.892088	-0.35422031	-0.1848015	0.13258376	0.61379
Headway 1	7.6	11.7	14.5	17.45	27.8
Headway 5	6.1952997	15.213784	19.624114	25.9961798	38.96242
LSM 1	0.5593685	1.18090462	1.3993355	1.70666541	2.042594
LSM 5	0.3047869	1.34720247	1.8604302	2.3405443	2.815894
Overtaking Length	173.34897	231.439883	267.99575	293.927641	329.0882
L 1a	7.4309753	10.2758492	14.816872	21.1289034	34.62158
L 1b	8.1580474	10.3574316	17.795646	28.00815	59.98152
L 2a	8.0047228	17.8305622	29.84687	50.5946473	84.93655
L 2b	8.7213313	9.4423548	12.340102	19.4294516	39.68146
L 4a	10.120078	24.4925575	33.673395	45.0498472	81.33829
L 4b	9.1326619	10.3662236	20.600008	35.7330226	91.24245
L 5a	8.8914449	9.94483909	16.648394	44.2802636	102.3246
L 5b	8.913302	17.7397226	33.708743	62.2783484	118.4929

Πίνακας 6. 2 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 60-80 km/h

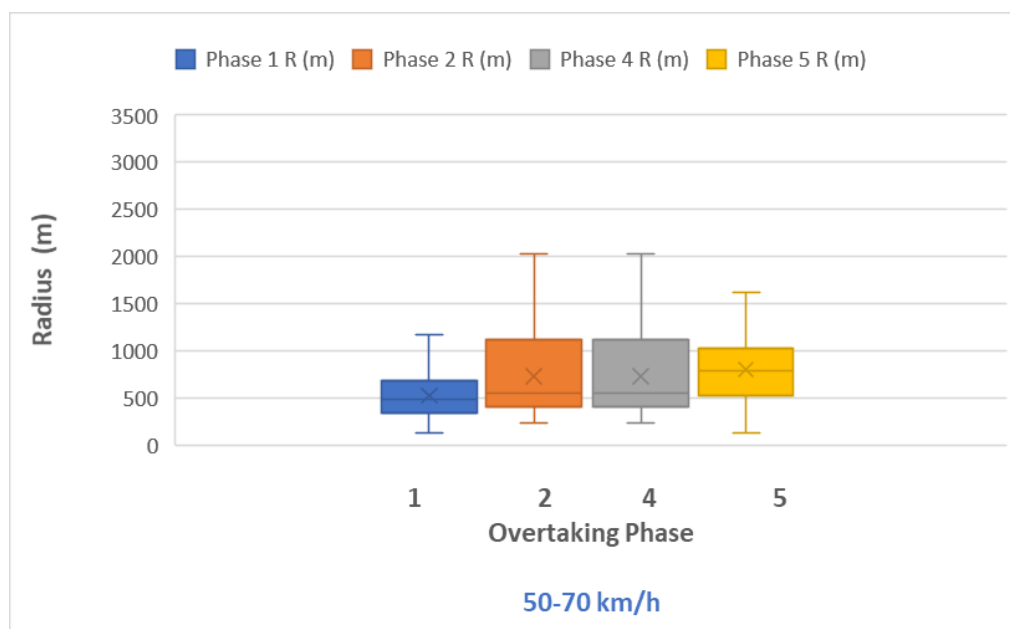
Τέλος, στο πίνακα 6.3 καταγράφονται οι πέντε αριθμητικές τιμές που περιλαμβάνονται σε ένα τυπικό θηκόγραμμα για το τρίτο σενάριο με όριο ταχύτητας 70-90 km/h.

Parameter	Min	1 rd Quartile	Median	3 rd Quartile	Max
R₁	158.31589	403.821098	543.27609	680.89187	3043.408
R₂	249.59068	569.326369	799.66089	1083.5944	2246.5
R₄	249.59068	569.326369	799.66089	1083.5944	2246.5
R₅	245.98125	539.811151	712.16032	1272.7368	4957.288
R² 1a	0.7959544	0.97960383	0.9859782	0.9969074	0.999987
R² 1b	0.4848957	0.95093515	0.9801286	0.9869442	0.999986
R² 2a	0.813799	0.95642734	0.9756934	0.989421	0.999977
R² 2b	0.8780636	0.9667405	0.9875934	0.9967494	0.999991
R² 4a	0.9447222	0.98310256	0.9930838	0.9953254	0.999772
R² 4b	0.9306179	0.9808089	0.9875465	0.9975284	0.999997
R² 5a	0.9419979	0.96691488	0.9784898	0.9861931	0.99966
R² 5b	0.9016716	0.95102658	0.9778426	0.9899968	1
am 1	-0.546792	0.25142278	0.6249339	0.9003725	1.14636
am 2	-0.335821	0.16620573	0.4679428	0.7900617	1.03604
am 4	-0.756168	-0.3497377	0.0696533	0.1674371	0.75413
am 5	-0.8916	-0.253837	-0.0425	0.1048286	0.440055
Headway 1	3.6	9.775	16.5	23.325	36.8
Headway 5	-6.841087	13.1700628	16.624738	22.814668	44.11862
LSM 1	0.5036724	0.79456229	1.3792932	1.8485135	2.74993
LSM 5	0.3896363	1.30633623	1.8042185	2.0585639	2.93839
Overtaking Length	183.10847	222.576716	281.1421	340.54311	444.7868
L 1a	9.3200826	10.9629252	17.282038	29.197293	39.65612
L 1b	5.2379496	10.5698057	22.290235	28.73517	81.70086
L 2a	10.070993	19.0261512	32.577647	46.699134	85.76452
L 2b	6.2502907	10.9986076	28.238036	40.088743	96.04178
L 4a	10.820274	11.4830211	23.7313	32.894566	104.3231
L 4b	10.123951	12.3861592	34.317246	46.93785	161.434
L 5a	10.006854	11.9579629	28.237962	43.881566	182.7979
L 5b	10.210094	11.9579629	28.237962	43.881566	182.7979

Πίνακας 6. 3 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 70-90 km/h

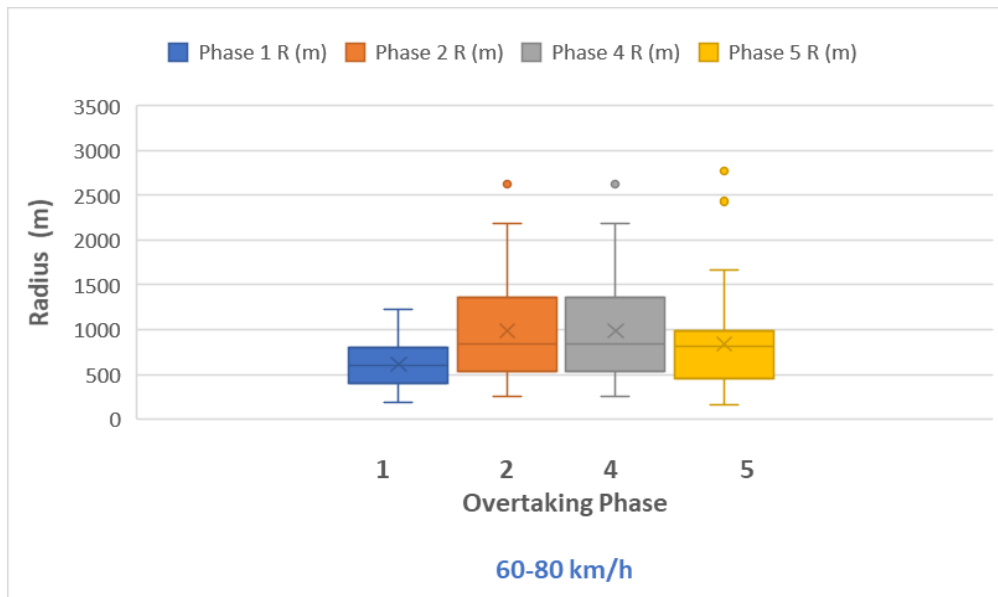
Η διαδικασία ανάλυσης δεδομένων επαναλαμβάνεται με τη χρήση των θηκογραμμάτων για το στατιστικό δείγμα των προσπεράσεων με σταθερή ταχύτητα (flyover) και προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα πλαισίου για όλα τα σενάρια, με τις ίδιες παραμέτρους.

Για την ακτίνα της κλωθοειδούς καμπύλη οπτικοποιούνται και παρατίθεται παρακάτω διαγράμματα για όλα τα σενάρια ταχυτήτων.



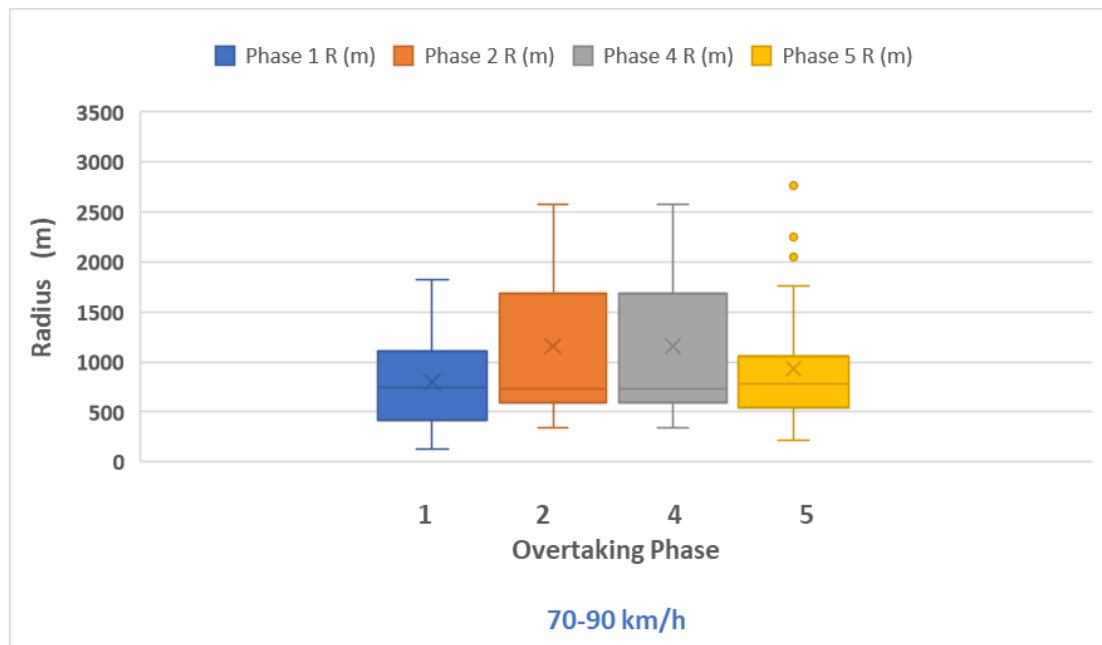
Σχήμα 6. 20 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h)

Στο σενάριο 50-70 km/h παρατηρείται ότι η φάση 2 και 4 έχουν το ίδιο εύρος και η διάμεσος είναι και στις δύο πιο κοντά στην τιμή του πρώτου τεταρτημορίου. Η φάση 1 έχει τη μικρότερη διασπορά δεδομένων.



Σχήμα 6. 21 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος (60-80 km/h)

Η φάση 2 με 4 και σε αυτό το σενάριο έχουν το ίδιο εύρος. Η διάμεσος των δύο αυτών φάσεων αν επεκταθεί παρατηρείται ότι είναι εκτός του πλαισίου που αφορά τη φάση 1, με αποτέλεσμα να συμπεραίνεται ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των ομάδων. Η φάση 1 έχει το μικρότερο πλαίσιο δηλαδή τις πιο συμμαζεμένες τιμές δεδομένων. Η φάση 5 σε αυτό το σενάριο είναι μη συμμετρική με τις τιμές να είναι πιο κοντά στο τρίτο τεταρτημόριο.



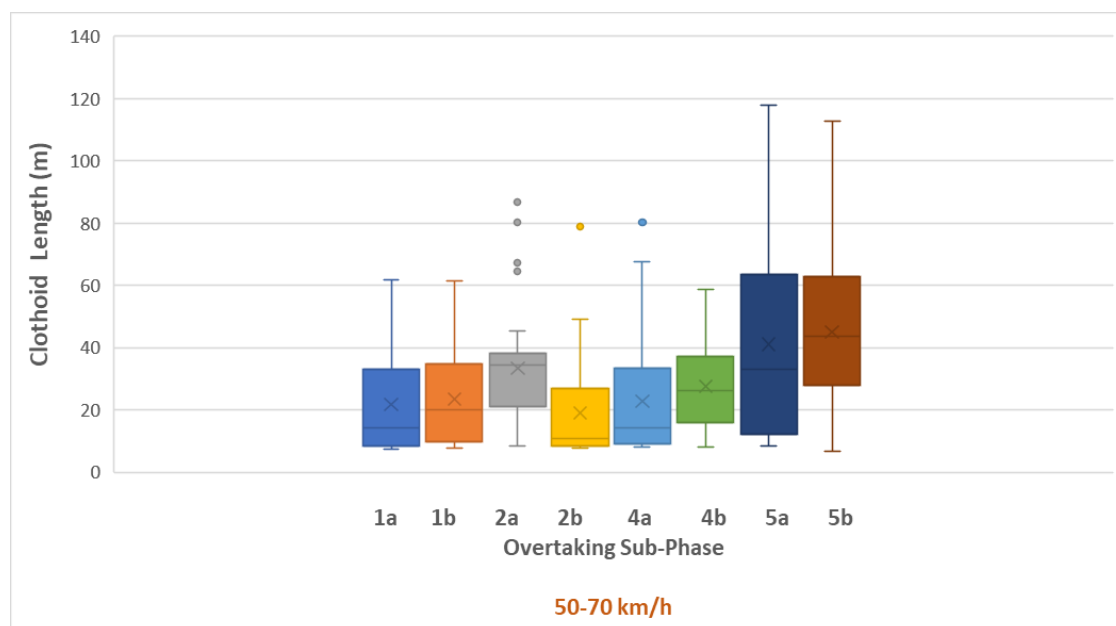
Σχήμα 6. 22 - Οι ακτίνες της κλωθοειδούς για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος (70-90 km/h)

Σε αυτό το σενάριο διαπιστώνεται η συσχέτιση των τεσσάρων ομάδων αφού η επέκταση των διαμέσων της κάθε φάσης είναι εντός πλαισίου. Η φάση 2 και 4 έχουν τη μεγαλύτερη διασπορά και η 5 τη μικρότερη.

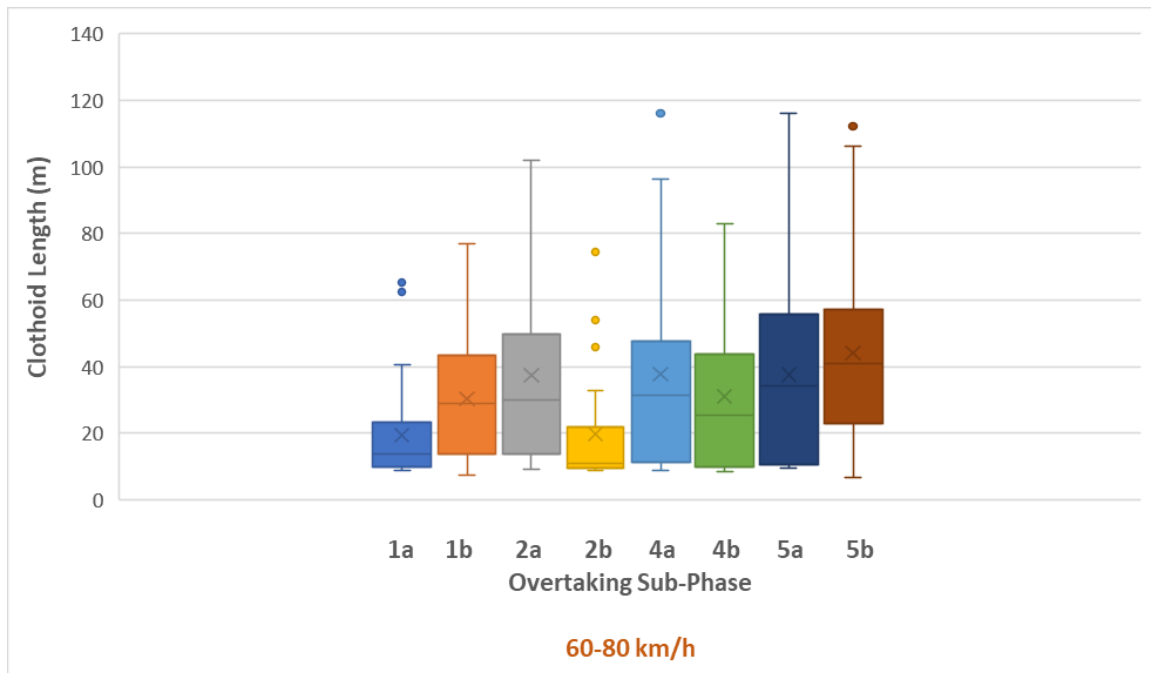
Για τα τρία σενάρια γίνεται αντιληπτή η διαφοροποίηση που έχει η φάση 1 σε όλα τα όρια ταχυτήτων. Ταυτοχρόνως, φαίνεται η ομοιότητα της φάσης 2 και 4 σε όλα τα σενάρια που έχουν το ίδιο εύρος. Στο σενάριο 70-90 km/h, παρακολουθείται η μεγαλύτερη διασπορά των δεδομένων σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια.

Η επόμενη παράμετρος που αναλύθηκε είναι το μήκος της κλωθοειδούς των επιμέρους υπό-φάσεων της προσπέρασης. Η απεικόνιση των δεδομένων εμφανίζεται με τη μέθοδο των θηκογραμμάτων.

Ανάμεσα σε όλα τα πλαίσια της κάθε υπο-φάσης ξεχωρίζει εύκολα η 5b για τη μεγάλη διασπορά της, όσον αφορά το πρώτο σενάριο 50-70 km/h. Παρατηρείται η ασυμμετρία που έχουν τα πλαίσια των υπό-φάσεων 1a, 2b και 4b με τη διάμεσο να ανήκει κοντά στο πρώτο τεταρτημόριο και τη διάμεσο της 2a στο τρίτο τεταρτημόριο.



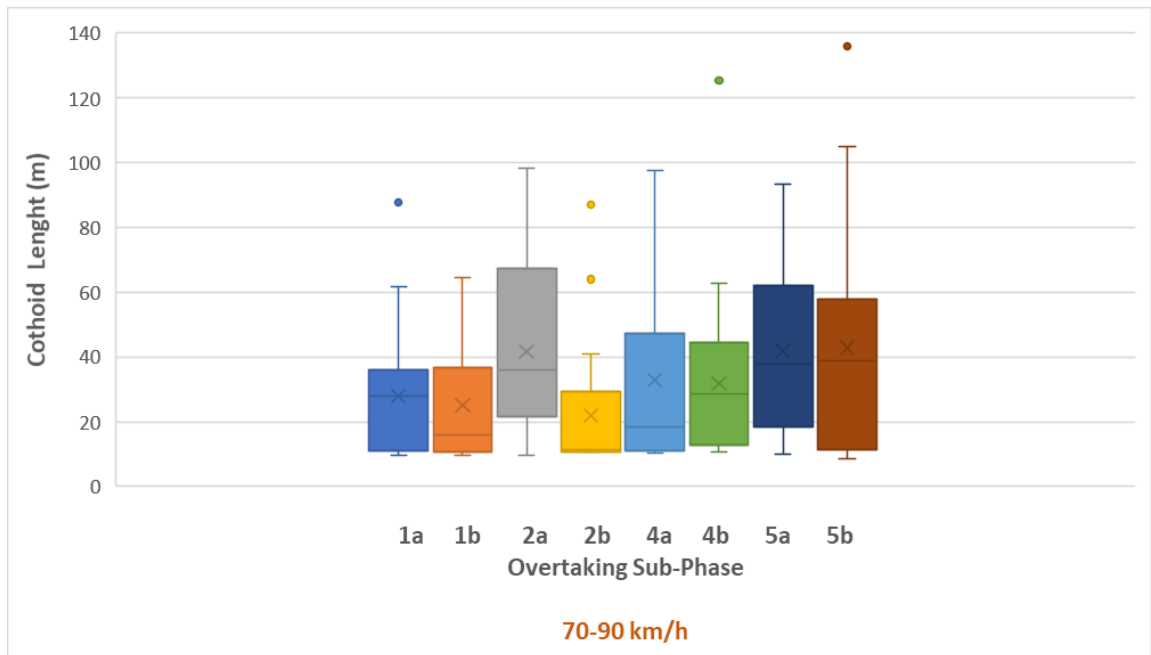
Σχήμα 6. 23 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h)



Σχήμα 6. 24 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος (60-80 km/h)

Στις ταχύτητες 60-80 km/h διαπιστώνεται η διασπορά των δεδομένων να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το πρώτο σενάριο. Η ασυμμετρία περιορίζεται εκτός από τις υπό-φάσεις 1a και 2b. Από τις διαμέσους οι προαναφερόμενες υπο-φάσεις εμφανίζουν διαφορά τιμών μεταξύ των υπολοίπων ομάδων.

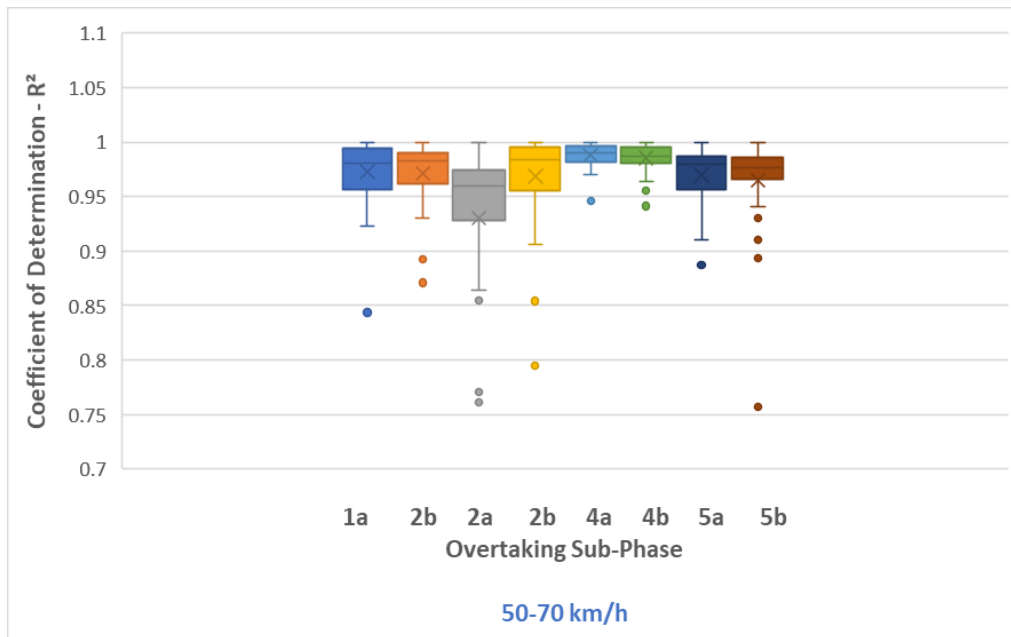
Στο σενάριο 70-90 km/h τη μεγαλύτερη διασπορά έχει η υπό-φάση 5b και είναι φανερό από το σχήμα, αφού τα μουστάκια του πλαισίου έχουν μεγαλύτερο εύρος. Η μικρότερη διασπορά απεικονίζεται στην υπό-φάση 2b. Η ασυμμετρία επικρατεί σε όλα τα πλαίσια εκτός από τις υπό-φάσεις 4b και 5a.



Σχήμα 6. 25 - Σύγκριση του μήκους των επιμέρους υπό-φάσεων για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος (70-90 km/h)

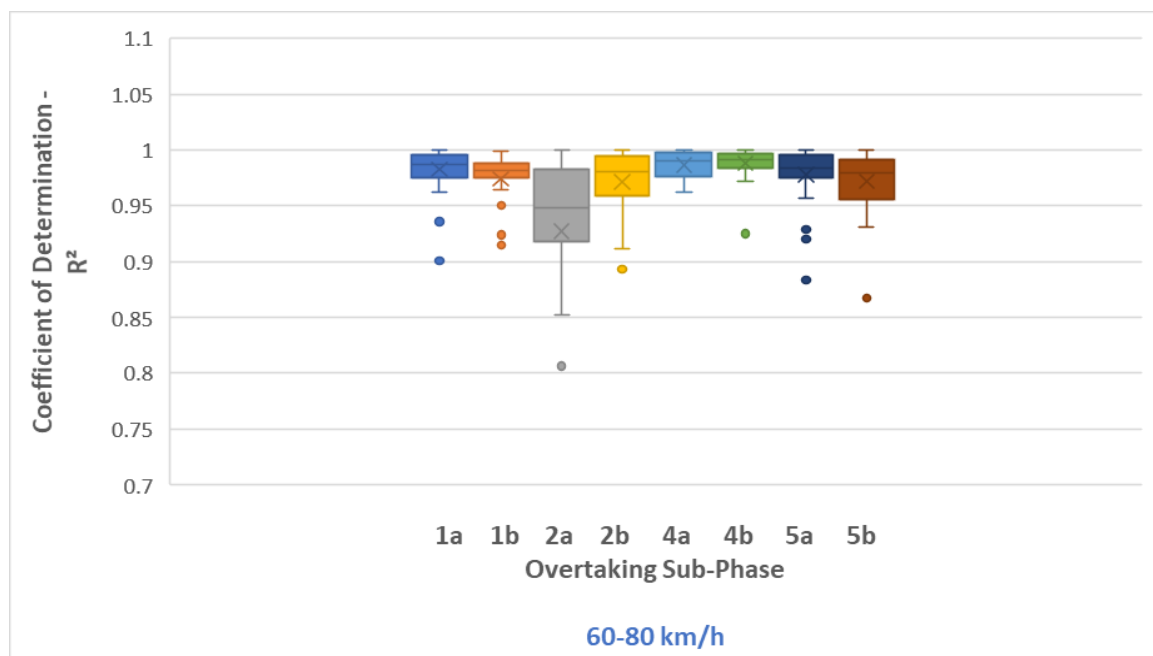
Στα τρία σενάρια, παρατηρείται η διαφοροποίηση της υπό-φάσης 2a, καθώς όσο μεγαλώνει η ταχύτητα τόσο μεγαλώνει και η διασπορά των δεδομένων σε αυτή. Η 2a παραμένει και στα τρία σενάρια η μικρότερη σε διασπορά.

Στη συνέχεια, απεικονίζεται ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 . Μία παράμετρος με την οποία ποσοτικοποιείται η ποιότητα της προσαρμογής μιας καμπύλης σε μία ομάδα δεδομένων. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από το 0 ως το 1. Στα σχήματα παρακάτω συγκεντρώνονται οι συντελεστές σε κάθε υπό-φάση.



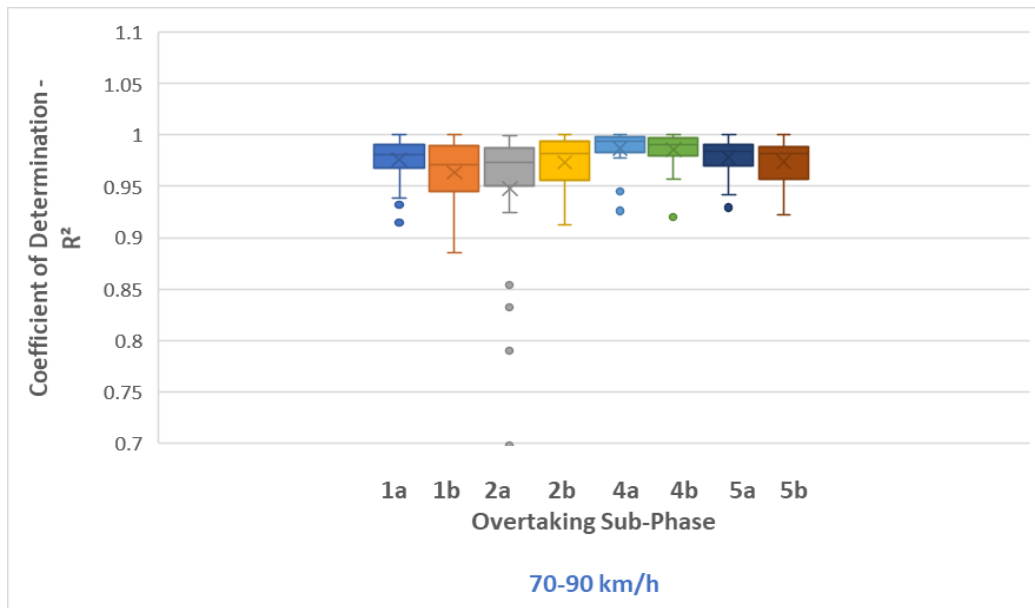
Σχήμα 6. 26 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο πρώτο σενάριο (50-70 km/h)

Την καλύτερη προσαρμογή στο πρώτο σενάριο, έχουν οι υπό-φάσεις 4a, 4b και 5b αφού είναι πολύ κοντά στο 1.



Σχήμα 6. 27 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο δεύτερο σενάριο (60-80 km/h)

Υπάρχει μία καλύτερη εικόνα προσαρμογής στο σενάριο με ταχύτητα 60-80 km/h αφού όλες είναι κοντά στο 1, με μοναδική την 2a να είναι πιο μακριά, όπως και στο προηγούμενο σενάριο.

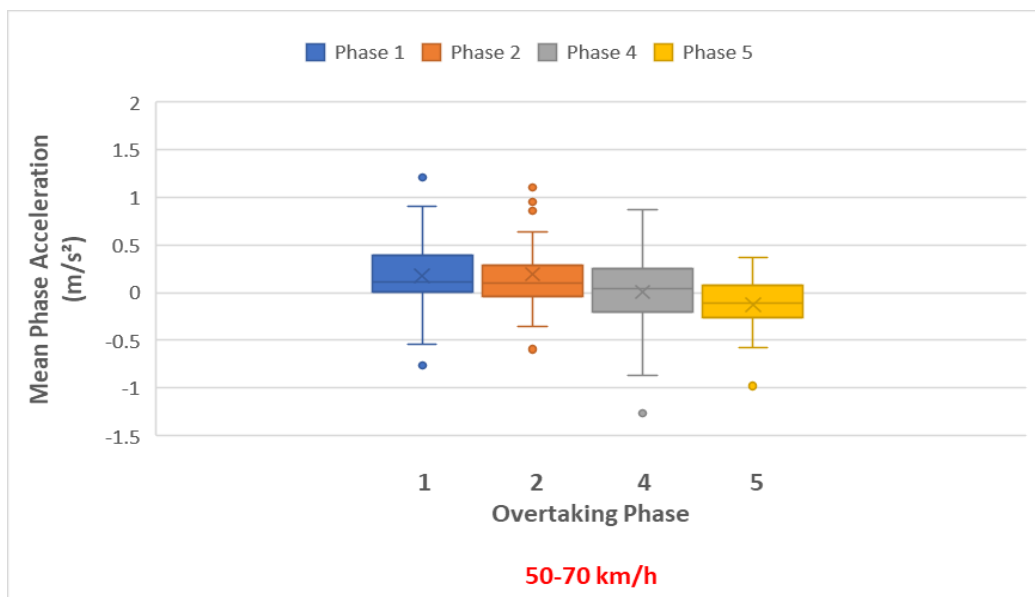


Σχήμα 6. 28 - Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού από τη μέθοδο των κλωθοειδών για όλες τις υπό-φάσεις στο τρίτο σενάριο (70-90 km/h)

Στις υπό-φάσεις 4a, 4b, 1a και 5b η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού είναι πιο κοντά στη μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες στο σενάριο με 70-90 km/h.

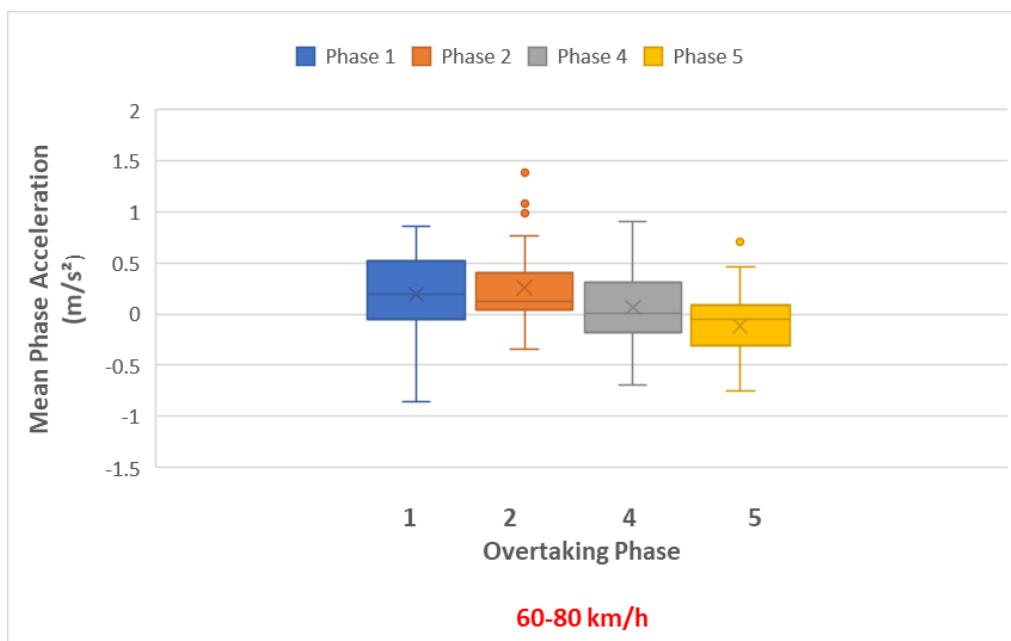
Συνολικά, διαπιστώνεται ότι στο σενάριο 60-80 km/h οι περισσότερες υπό-φάσεις έχουν τη καλύτερη προσαρμογή με τον συντελεστή να είναι κοντά στο 1.

Μία ακόμη παράμετρος που επεξεργάστηκε είναι η μέση επιτάχυνση του οχήματος να δίνεται με την αλγεβρική τιμή που εκτέλεσε την προσπάθεια στη κάθε φάση της και απεικονίζεται για κάθε σενάριο στα παρακάτω θηκογράμματα.



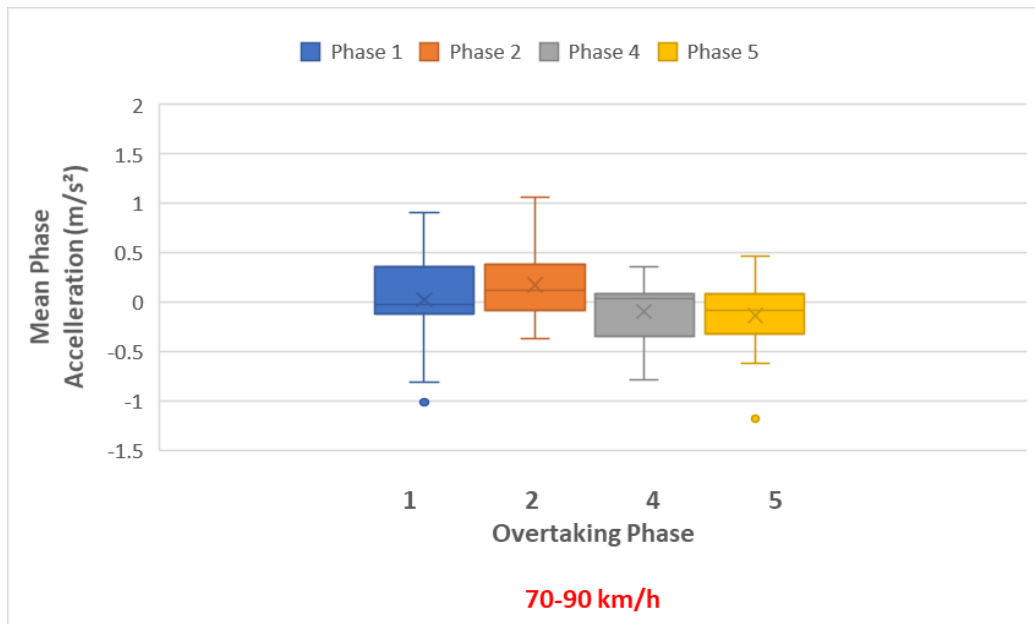
Σχήμα 6. 29 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h)

Το μεγαλύτερο εύρος δεδομένων επικρατεί στη φάση 4 και το μικρότερο στη φάση 5. Η φάση 1 φαίνεται ασύμμετρη με τα περισσότερα δεδομένα να ανήκουν στο πρώτο τεταρτημόριο σύμφωνα με τη διάμεσο της.



Σχήμα 6. 30 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος (60-80 km/h)

Σε αυτό το σενάριο αντιθέτως, το μεγαλύτερο εύρος είναι στη φάση 1 και το μικρότερο στη φάση 2. Μη συμμετρικό πλαίσιο υπάρχει στη φάση 2, με τα δεδομένα να είναι κοντά στο πρώτο τεταρτημόριο των δεδομένων.

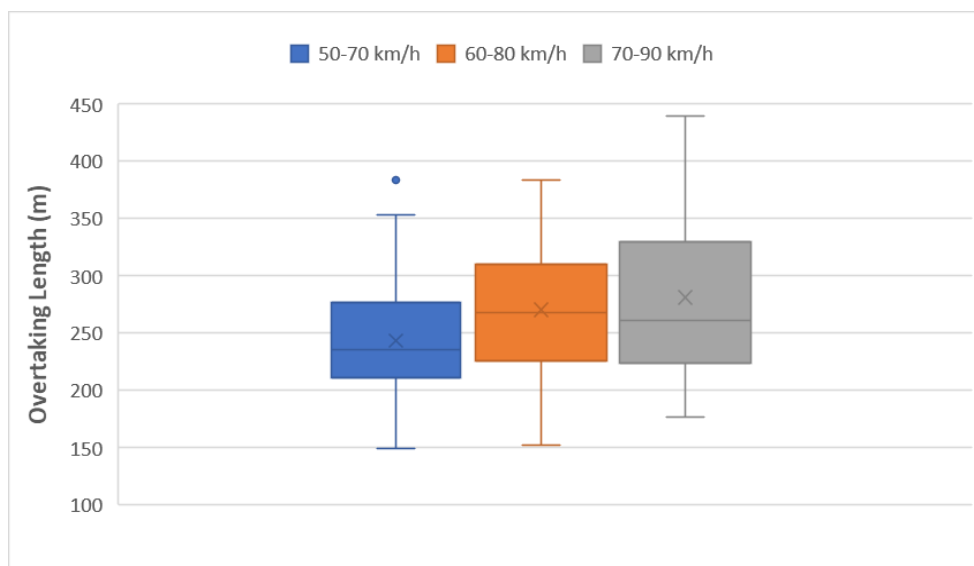


Σχήμα 6. 31 - Η μέση επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνάει κατά τη διάρκεια της εκάστοτε φάσης και για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος (70-90 km/h)

Όσον αφορά το τρίτο σενάριο, παρακολουθείται μία αύξηση στη διασπορά σε κάθε φάση. Το μεγαλύτερο εύρος είναι πάλι στη φάση 1 και το μικρότερο στη φάση 5. Έχουμε ασυμμετρία και στη φάση 1 και στη φάση 4, με τη διαφορά ότι στη φάση 4 τα δεδομένα είναι πιο κοντά στο τρίτο τεταρτημόριο ενώ στην 1 στο πρώτο.

Η παρατήρηση για αυτή τη μεταβλητή για όλα τα σενάρια είναι ότι όσο μεγαλώνει η ταχύτητα τόσο μεγαλώνει και η διασπορά των φάσεων.

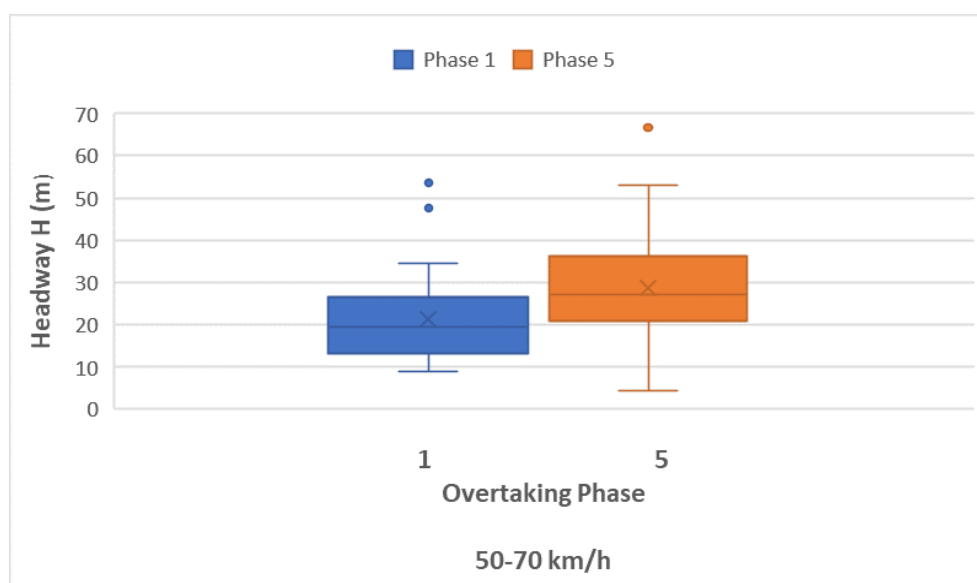
Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζεται το συνολικό μήκος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της προσπέρασης. Δεν αναφέρονται οι διάφορες φάσεις αλλά εξάγονται εύλογες παρατηρήσεις για τη σχέση ανάμεσα στη ταχύτητα και το συνολικό μήκος.



Σχήμα 6. 32 - Το συνολικό μήκος προσπέρασης που προέκυψε για τα τρία σενάρια του οδικού πειράματος

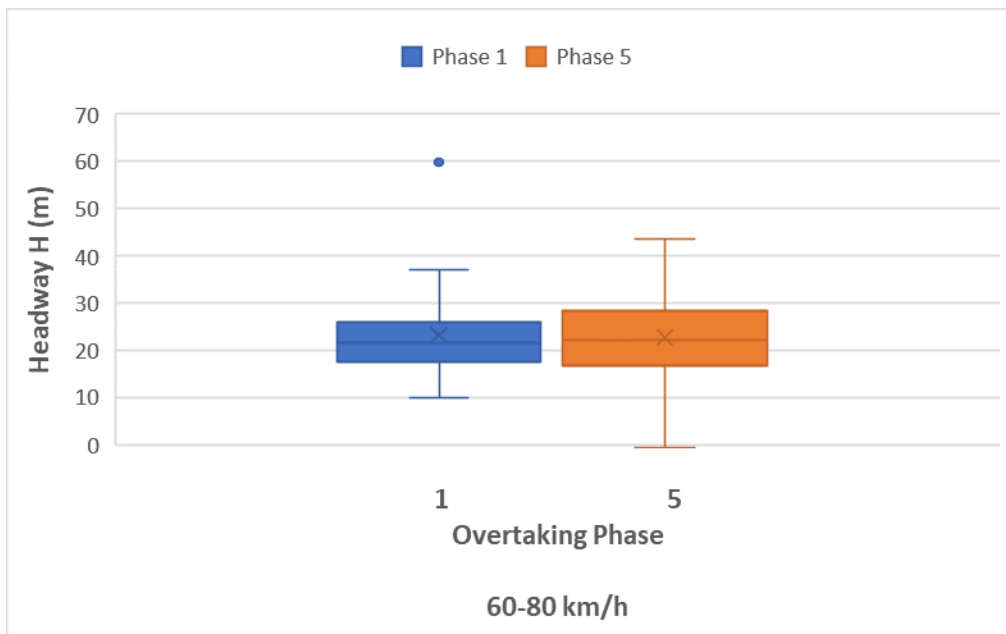
Το μεγαλύτερο εύρος το βλέπουμε στο σενάριο με τη μεγαλύτερη ταχύτητα και το μικρότερο με τη μικρότερη ταχύτητα. Το τρίτο σενάριο έχει μια ασυμμετρία, καθώς τα δεδομένα του είναι πιο κοντά στο πρώτο τεταρτημόριο.

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους είναι η απόσταση που έχει το όχημα που προσπερνάει σε σχέση με το όχημα που έχει προσπεράσει (Headway). Η παράμετρος αυτή έχει μετρηθεί μόνο σε δύο φάσεις, στη 1 και στη 5 φάση. Συγκεκριμένα, πριν εκτελέσει τη προσπέραση και μόλις την ολοκληρώσει. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα διαγράμματα πλαισίων της κάθε φάσης για κάθε σενάριο ταχύτητας.



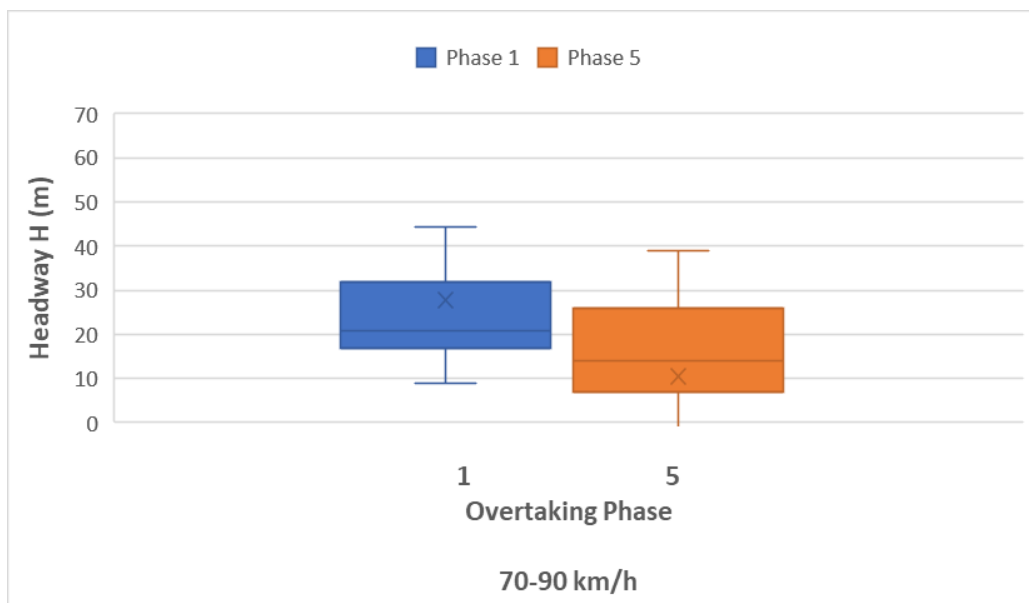
Σχήμα 6. 33 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το πρώτο σενάριο του οδικού πειράματος (50-70 km/h)

Στο πρώτο σενάριο σχηματοποιείται η φάση 5, η οποία έχει πιο μεγάλη διασπορά, με τη διάμεσο να μας δείχνει την διαφορά μεταξύ των δύο πλαισίων, αφού εάν επεκταθούν δε τέμνει το διπλανό πλαίσιο.



Σχήμα 6. 34 - Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το δεύτερο σενάριο του οδικού πειράματος (60-80 km/h)

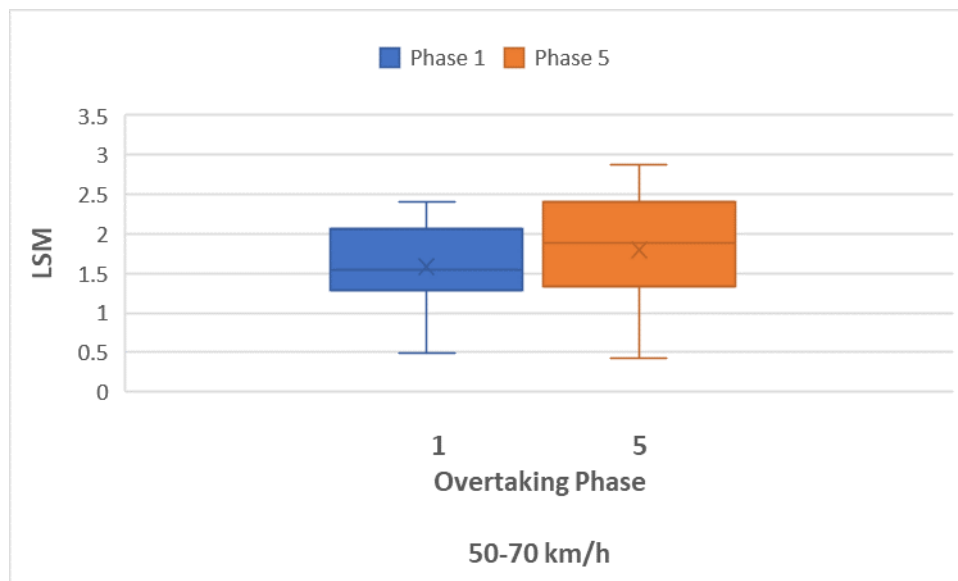
Στο δεύτερο σενάριο δεν συμβαίνει το ίδιο με τις διαμέσους όπως προηγουμένως, καθώς υπάρχει συνοχή δεδομένων. Παρατηρείται μία μικρότερη διασπορά στη φάση 5 αλλά η φάση 1 και σε αυτό στο σενάριο έχει τη μικρότερη.



Σχήμα 6. 35 – Οι αποστάσεις του οχήματος που προσπερνάει με αυτό που προσπερνάτε στις δύο φάσεις για το τρίτο σενάριο του οδικού πειράματος (70-90 km/h)

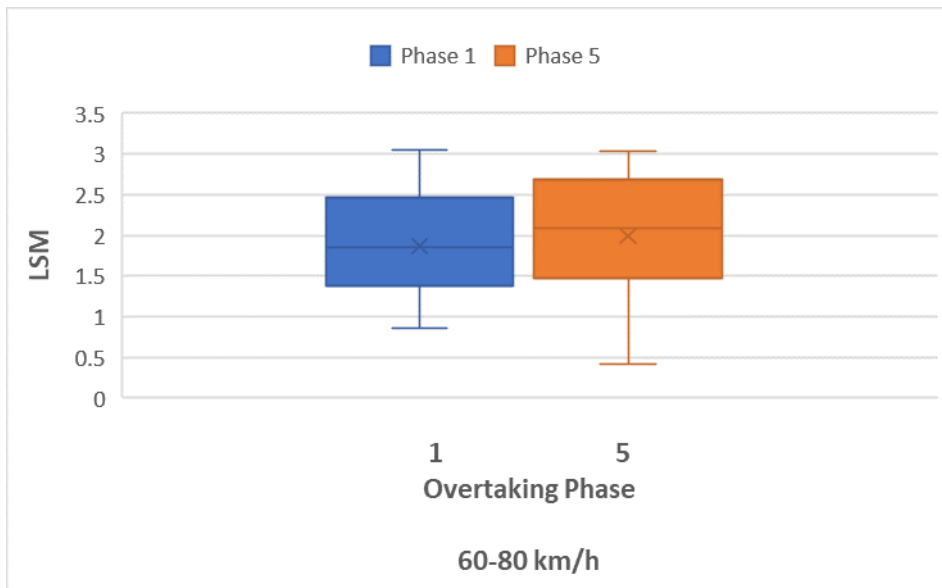
Αντίθετα, σε αυτό το σενάριο παρουσιάζεται μεγαλύτερη διασπορά και στις δύο φάσεις όπως και ασυμμετρία. Ανάμεσα στα τρία σενάρια το δεύτερο με 60-80 km/h έχει τα λιγότερα διασκορπισμένα δεδομένα.

Τέλος, η τελευταία παράμετρος που αναλύθηκε είναι η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης και συγκεκριμένα όταν τα δύο οχήματα είναι παράλληλα, Lateral safety margin (LSM). Στα παρακάτω θηκογράμματα παρουσιάζεται η παράμετρος για τη φάση 1 και 5 από όπου καταγράφηκε.



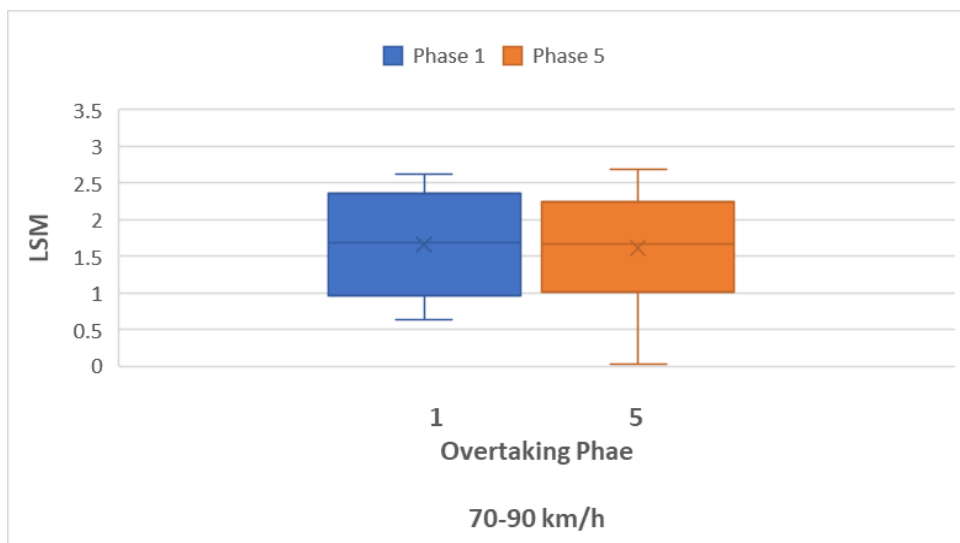
Σχήμα 6. 36 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το πρώτο σενάριο (50-70 km/h)

Στο σενάριο αυτό παρουσιάζεται μεγαλύτερη διασπορά στη φάση 5 και από τη διάμεσο των πλαισίων γίνεται αντιληπτή η συσχέτιση των δεδομένων που τα αποτελούν. Η φάση 1 έχει τα μικρότερα διασκορπισμένα δεδομένα και παρατηρείται ασυμμετρία προς το πρώτο τεταρτημόριο.



Σχήμα 6. 37 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το δεύτερο σενάριο (60-80 km/h)

Για τα όρια 60-80 km/h διαπιστώνουμε μεγαλύτερη διασπορά σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Η φάση 1 έχει τα μικρότερα σε διασπορά δεδομένα σε σχέση με τη φάση 5.



Σχήμα 6. 38 - Η πλευρική απόσταση των δύο οχημάτων τη στιγμή της προσπέρασης για το τρίτο σενάριο (70-90 km/h)

Σε αυτό το σενάριο εντοπίζεται ότι η διασπορά της φάσης 1 είναι μεγαλύτερη από τη φάση 5 αλλά και ότι το εύρος της 5 είναι μεγαλύτερο σύμφωνα με τα μουστάκια όπως ονομάζονται σε αυτή την μέθοδο τα άκρα του πλαισίου.

Για την παράμετρος αυτή διαπιστώνεται ότι όσο μεγάλωνε η ταχύτητα τόσο μεγάλωνε η διασπορά τη φάσης 1. Σε αντίθεση με τη φάση 5, δεν διαφοροποιήθηκαν τα δεδομένα τόσο.

Ακολουθεί ο πίνακας 6.4 με τα αποτελέσματα των παραμέτρων για το σενάριο 50-60 km/h όπου έχουν καταγραφεί οι πέντε αριθμητικές τιμές που περιλαμβάνονται σε ένα τυπικό θηκόγραμμα. Οι τιμές αυτές είναι η ελάχιστη τιμή (min), η τιμή που αντιστοιχεί στο πρώτο τεταρτημόριο (1st Quartile), η διάμεσος (median), η τιμή που αντιστοιχεί στο τρίτο τεταρτημόριο (3rd Quartile) και η μέγιστη τιμή (max).

Parameter	Min	1 st Quartile	Median	3 rd Quartile	Max
R₁	122.21706	341.81425	479.8436	662.753141	1162.357
R₂	237.51119	411.47626	546.7177	996.735265	2025.74
R₄	237.51119	411.47626	546.7177	996.735265	2025.74
R₅	125.50271	522.71729	787.5623	1022.25513	1615.994
R² 1a	0.8435732	0.9611272	0.980779	0.99410506	0.999997
R² 1b	0.870846	0.9608554	0.981309	0.9894407	1
R² 2a	0.4124151	0.9285537	0.959599	0.95959922	0.999985
R² 2b	0.7948775	0.956262	0.984025	0.99548582	1
R² 4a	0.9457755	0.9817742	0.98885	0.99570508	0.999999
R² 4b	0.9413325	0.9797129	0.978458	0.99517512	0.999969
R² 5a	0.8872146	0.9563538	0.978458	0.98615663	0.999115
R² 5b	0.7571375	0.9659973	0.976891	0.98562772	1
am 1	-0.768193	0.0062979	0.115242	0.37780895	1.207895
am 2	-0.594421	-0.019657	0.099024	0.28777648	1.102469
am 4	-1.270388	-0.19275	0.04599	0.24843016	0.87635
am 5	-0.980172	-0.23002	-0.115879	0.07230116	0.367046
Headway 1	8.8	14.35	19.35	24.925	53.6
Headway 5	4.2182813	21.25751	27.02257	35.6227259	66.68433
LSM 1	0.4888873	1.3018757	1.548826	2.04289139	2.405614
LSM 5	0.4249934	1.3749905	1.889756	2.38360689	2.877961
Overtaking Length	149.25342	214.24794	235.9266	274.036875	383.5003
L 1a	7.4305981	8.3627047	14.22568	31.8602198	61.71185
L 1b	7.7547018	10.350421	20.13944	34.3329338	61.43136
L 2a	8.3179056	21.207372	34.22945	38.2188362	86.66485
L 2b	7.66263	8.5384321	10.72755	26.4549709	26.45497
L 4a	7.9800263	9.1507363	14.13164	33.2086923	80.34652
L 4b	8.1267489	16.279692	26.12658	35.8877778	58.68064
L 5a	8.3291693	12.372783	33.07258	61.7403172	118.025
L 5b	6.8	29.107614	43.47556	62.212975	112.8253

Πίνακας 6. 4 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 50-70 km/h

Αντίστοιχα, στο Πίνακα 6.5 καταγράφονται τα πέντε αριθμητικά δεδομένα που προκύπτουν από τη διαδικασία επεξεργασίας του θηκογράμματος για το σενάριο 60-80 km/h.

Parameter	Min	1 rd Quartile	Median	3 rd Quartile	Max
R₁	182.1861	400.1284952	602.726015	781.579287	1221.664
R₂	248.1227	543.7868277	838.2049991	1351.63919	2628.293
R₄	248.1227	543.7868277	838.2049991	1351.63919	2628.293
R₅	156.6391	470.5584735	807.0337781	959.499715	2771.495
R² 1a	0.900583	0.975337515	0.986609386	0.99527022	1
R² 1b	0.914877	0.975519875	0.981408868	0.98762796	0.999444
R² 2a	0.377063	0.918750499	0.94876614	0.98282229	0.377063
R² 2b	0.893328	0.962503407	0.980835138	0.99299965	1
R² 4a	0.962587	0.978573639	0.989962888	0.9974078	1
R² 4b	0.924958	0.984411987	0.99163084	0.99616846	1
R² 5a	0.883858	0.975633754	0.984215262	0.9934437	1
R² 5b	0.867347	0.960800238	0.979651047	0.98951463	1
am 1	-0.86177	-0.046620207	0.198824957	0.50640919	0.85611
am 2	-0.34	0.051621003	0.128931978	0.36759359	1.385601
am 4	-0.69577	-0.160000867	0.007037356	0.28954723	0.903526
am 5	-2.03478	-0.290410394	-0.04868717	0.08569242	0.70672
Headway 1	10	18	21.6	25.75	59.7
Headway 5	-0.72315	17.01515694	22.16886953	28.4279452	43.50176
LSM 1	0.863146	1.41251026	1.847770844	2.31906096	3.040886
LSM 5	0.410927	1.514641008	2.085407356	2.64736273	3.04
Overtaking Length	152.161	230.0732956	267.9700741	307.419604	383.2128
L 1a	8.930088	9.910142377	13.85164804	21.494989	65.33612
L 1b	7.403018	15.10637685	29.06621602	43.1195265	76.8784
L 2a	9.275873	13.87893082	30.03598349	48.2958595	101.9294
L 2b	8.790977	9.838280635	10.94114494	21.761266	74.48951
L 4a	8.880363	12.77602052	31.32291097	46.7878844	116.0082
L 4b	8.657488	10.11951053	25.3797315	42.5487427	82.94109
L 5a	9.5322	10.57101355	34.16391973	49.635772	116.1652
L 5b	8.657488	10.11951053	25.3797315	42.5487427	82.94109

Πίνακας 6. 5 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 60-80 km/h

Τέλος, στο πίνακα 6.6 καταγράφονται οι πέντε αριθμητικές τιμές που περιλαμβάνονται σε ένα τυπικό θηκόγραμμα για το τρίτο σενάριο με όριο ταχύτητας 70-90 km/h.

Parameter	Min	1 rd Quartile	Median	3 rd Quartile	Max
R₁	129.0095	416.7333046	747.03684	1082.93646	1817.162
R₂	346.6021	591.028454	733.26669	1599.27071	3651.569
R₄	346.6021	591.028454	733.26669	1599.27071	3651.569
R₅	214.1151	562.0498616	776.4104	1018.25037	2767.406
R² 1a	0.915013	0.968643289	0.981246	0.99051268	0.999976
R² 1b	0.885325	0.946933335	0.9712515	0.98929792	0.99998
R² 2a	0.697778	0.955015993	0.9733551	0.98576189	0.999862
R² 2b	0.91197	0.960297248	0.981474	0.99327444	1
R² 4a	0.92608	0.985951054	0.9940626	0.99827968	0.999999
R² 4b	0.920315	0.979776077	0.9906715	0.99651372	0.999923
R² 5a	0.929459	0.97254309	0.984038	0.99040422	1
R² 5b	0.922103	0.958483343	0.981819	0.98832123	0.999998
am 1	-1.01589	-0.1178485	-0.0204662	0.31789994	0.912058
am 2	-0.36856	-0.0670132	0.1183165	0.37160063	1.060814
am 4	-0.78328	-0.29755856	0.0306706	0.06957595	0.356208
am 5	-1.18394	-0.32235324	-0.081159	0.07439972	0.462111
Headway 1	8.8	17.15	20.7	31.85	145.4
Headway 5	-131.475	8.380125134	14.008463	24.3840834	39.0169
LSM 1	0.627853	1.014499294	1.6825917	2.27389065	2.611909
LSM 5	0.030645	1.021244323	1.6655935	2.22373391	2.689265
Overtaking Length	177.2724	235.6654054	261.29526	328.26025	439.1489
L 1a	9.720699	11.06578134	27.80315	35.1417706	87.8356
L 1b	9.733217	10.93101329	15.816983	35.6114702	64.55859
L 2a	9.624089	23.06932473	36.15681	61.5159283	98.35704
L 2b	10.53013	10.77179254	11.480354	29.2523219	87.01965
L 4a	10.46055	11.1264605	18.602659	46.9575042	97.55001
L 4b	10.62089	13.67335782	28.649963	41.7993728	125.3077
L 5a	10.16602	18.47558006	37.836624	61.7502192	93.22441
L 5b	10.62089	13.67335782	28.649963	41.7993728	125.3077

Πίνακας 6. 6 - Οι αριθμητικές τιμές των θηκογραμμάτων όλων των παραμέτρων για το σενάριο 70-90 km/h

7. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην αξιολόγηση ελιγμών προσπεράσεων υπό σταθερή επιτάχυνση (overtakings) και ελιγμών προσπεράσεων πραγματοποιούμενων με σταθερή ταχύτητα (flyovers). Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην ερμηνεία των επιταχύνσεων και των σημειακών ακτίνων και στις δύο περιπτώσεις. Τα δεδομένα των ελιγμών προσπεράσεως συλλέχθηκαν μέσω πειράματος σε προσομοιωτή οδήγησης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στον υπολογισμό και το σχολιασμό των πλευρικών και εγκάρσιων αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων που συμμετέχουν στη διαδικασία της προσπεράσεως, κατά τη διάρκεια του ελιγμού.

7.1 Βασικά Συμπεράσματα

Τα βασικότερα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είναι τα παρακάτω:

- Από τα Σχήματα 6.13 και 6.32 εξάγεται το συμπέρασμα, πως όσο αυξάνει η ταχύτητα, τόσο αυξάνει και το συνολικό απαιτούμενο μήκος για ολοκλήρωση της προσπεράσεως. Από αυτό υπονοείται, πως ο συνολικός απαιτούμενος χρόνος για ολοκλήρωση της προσπεράσεως παραμένει σταθερός, ανεξαρτήτως της ταχύτητας κίνησης των δύο οχημάτων που συμμετέχουν στον ελιγμό. Κάτι τέτοιο εξηγείται από την κοινή λογική, επειδή η διαφορά στη μέγιστη ταχύτητα των δύο οχημάτων παρέμενε σταθερή και ίση με 20km/h, αλλά επίσης και η επιτάχυνση του οχήματος που προσπερνούσε, κατά τις δύο πρώτες φάσεις, ήταν περίπου η ίδια και στα δύο σενάρια ταχυτήτων που εξετάστηκαν (Σχήματα 6.10, 6.11, 6.12, 6.29, 6.30 και 6.31).
- Μελετώντας τα Σχήματα 6.10, 6.11, 6.12, 6.29, 6.30 και 6.31 γίνεται αμέσως εμφανές, πως το όχημα που προσπερνάει επιτάχυνε κατά τη Φάση 1 και τη Φάση 2 της προσπεράσεως. Ο μηδενισμός της επιτάχυνσης κατά τη Φάση 3 σημαίνει, πως το όχημα είχε πιάσει το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας (+20km/h σε σχέση με το όχημα που προσπερνούσαν) και κινούνταν πλέον ευθύγραμμα ομαλά. Αυτό που δεν ήταν αναμενόμενο, όμως, είναι η αρνητική επιτάχυνση (δηλαδή η επιβράδυνση) που εμφανίζεται κατά τη Φάση 4 και ακόμα περισσότερο κατά τη Φάση 5 του ελιγμού.
- Τα σχήματα 6.17, 6.18, 6.19, 6.36, 6.37 και 6.38 είναι σημεία αναφοράς της συμπεριφοράς των οδηγών κατά τη διάρκεια της προσπεράσεως. Παρατηρείται πως οι οδηγοί πραγματοποιούν πιο επιθετική οδήγηση κατά τη διάρκεια των πρώτων φάσεων της προσπεράσεως (φάση 1 και φάση 2), ενώ οδηγούν πιο ήπια στις τελικές φάσεις (φάση 4 και φάση 5). Αυτό αποδεικνύεται με τις εμφανώς μικρότερες τιμές των εγκάρσιων αποστάσεων (headway) και πλευρικών περιθωρίων ασφαλείας (LSM) κατά την εκκίνηση της προσπεράσεως σε σχέση με τις τιμές πέρατος.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μια σύγκριση των σχημάτων 6.1 – 6.3 με τα σχήματα 6.20 – 6.22. Παρατηρείται, όπως είναι αναμενόμενο πως στις προσπεράσεις υπό σταθερή επιτάχυνση (overtakings), οι τιμές των αποστάσεων (πλευρικών και εγκάρσιων), καθώς και οι σημειακές ακτίνες των φάσεων της προσπεράσεως είναι σημαντικά μικρότερες, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των προσπεράσεων, πραγματοποιούμενων με σταθερή ταχύτητα (flyovers).

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

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

- Η εκτέλεση του ίδιου πειράματος σε δείγμα διαφορετικής ηλικίας και μεγαλύτερης εμπειρίας, θα παρουσίαζε αρκετό ενδιαφέρον. Αρχικά θα μπορούσαν να εξαχθούν συμπεράσματα συγκρίνοντας τα μοντέλα που θα προέκυπταν από κάθε δείγμα και ίσως τα αποτελέσματα των πιο έμπειρων οδηγών να οδηγούσαν σε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα.
- Δημιουργία σεναρίου στον προσομοιωτή οδήγησης, όπου θα υπάρχει επερχόμενη κυκλοφορία με σκοπό να συλληθούν 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 προπορευόμενο όχημα δεν θα έχει μόνιμα σταθερή ταχύτητα αλλά θα εναλλάσσεται.
- Επέκταση της μελέτης ώστε να συμπεριλαμβάνει και οχήματα διαφορετικού κυβισμού και όχι μόνο επιβατικά.
- Τέλος, μια σημαντική εφαρμογή της μεθόδου των κλωθοειδών θα ήταν η χάραξη μιας πλήρους τροχιάς προσπέρασης, με την ενσωμάτωση των κατάλληλων συνοριακών συνθηκών, ώστε να συνδεθούν στην οριζοντιογραφία τα γεωμετρικά στοιχεία των διαδοχικών φάσεων και να μην υπάρχουν ασυνέχειες στην τροχιά του οχήματος.

8.Βιβλιογραφικές αναφορές

1. A. Ghaffari, A.R. Khodayari, F. Alimardani, H. Sadati (2011) *“Modeling and Intelligent Control System Design for Overtaking Maneuver in Autonomous Vehicles”* , K.N Toosi University of Technology, Mechanical Engineering Department
2. Carlos Llorca PhD Highway Engineering Research Group Universitat Politecnica 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”*
3. Geertje Hegerman, Karel A Brookhuis, Richard van der Horst and Serge Hoogendoorn (2006) *“Functional and Acceptance of Overtaking Assistant Design Tested in Driving Simulator Experiment”* , Article in Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board
4. Kasper, H., Schürba, W., & Lorenz, H. (1956). *Die Klothoide als Trassierungselement*. Bonn, Germany
5. Mavromatis, S., Matragos, V., Liza, R., Apostoleris, K., Grammatikopoulos, L., & Yannis, G. (2019). *Passing sight distance assessment through the interaction of road–vehicle parameters*
6. Plamen Petrov and Fawzi Nashasibi (2014) *“Modeling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking”* , IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
7. 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
8. Αλβέρτης Αλέξανδρος [2020] *“Διερεύνηση της τροχιάς οχημάτων κατά τη διαδικασία προσπέρασης με χρήση προσομοιωτή οδήγησης”*, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ι
9. Βασιλάς, Α. (2013). Ανάπτυξη Λογισμικού για Ψηφιακή Απόδοση της Χάραξης Υφιστάμενης Οδού. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

10. Διαθέσιμο online στο:
<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/economy/20190110STO23102/autonoma-autokinita-stin-ee-apo-epistimoniki-fantasia-se-apti-pragmatikotita>, ανακτήθηκε στις 31/10/21
11. Διαθέσιμο online στο: <https://www.simplypsychology.org/boxplots.html>, ανακτήθηκε στις 31/10/21
12. 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
13. Μαυρομάτης, Σ. (2018). *Σημειώσεις για το μάθημα Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών*. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
14. ΟΜΟΕ - Χ. (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 3: Χαράξεις*. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας
15. Τραντάς, Ν. (2021), Ανάπτυξη Νέου Μαθηματικού Προσομοιώματος για τον Ελιγμό της Προσπέρασης σε Οδούς Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας με Χρήση Πραγματικών Δεδομένων από Οδικό Πείραμα. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
16. Χατζηελευθερίου, Γ. (2020). Προτυποποίηση τροχιάς προσπέρασης οχημάτων κινούμενα με σταθερή ταχύτητα μέσω προσομοιωτή οδήγησης. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
17. Ψαριανός Β., "Οδοποιία Ι - Σημειώσεις", Τομέας Συγκοινωνιακών Έργων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ
