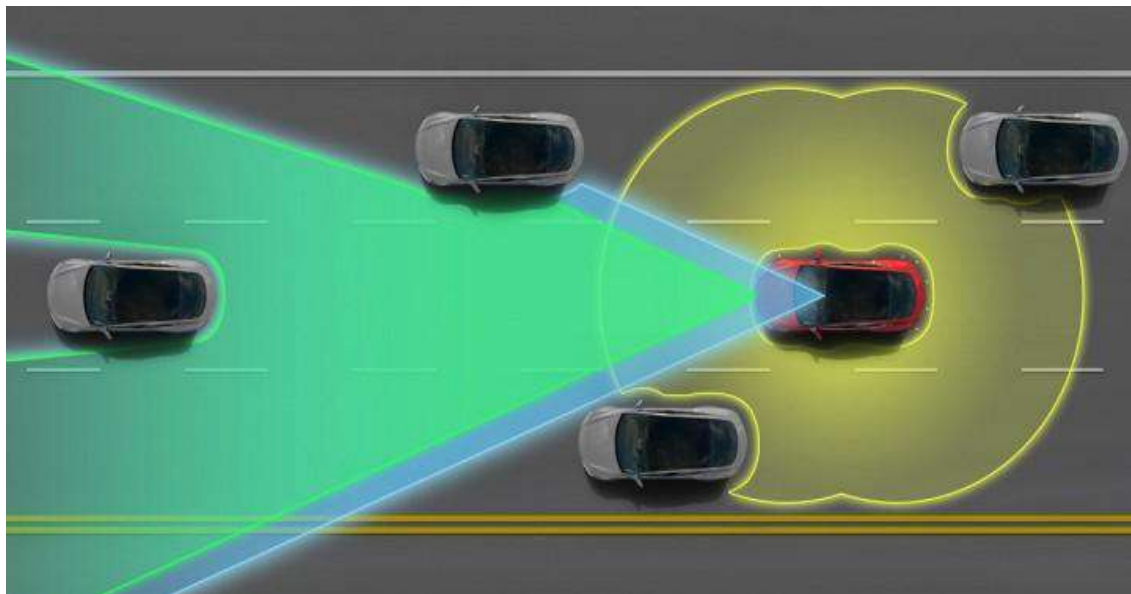




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Προτυποποίηση τροχιάς προσπέρασης οχημάτων κινούμενα με σταθερή ταχύτητα μέσω προσομοιωτή οδήγησης



ΧΑΤΖΗΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων: Μαυρομάτης Στέργιος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2020

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, την υποστήριξη και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της, καθώς και την εξαιρετική συνεργασία μας.

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

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

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Νοέμβριος 2020
Χατζηγελευθερίου Γεώργιος

Περίληψη

Προτυποποίηση τροχιάς προσπέρασης οχημάτων κινούμενα με σταθερή ταχύτητα μέσω προσομοιωτή οδήγησης

Χατζηελευθερίου Γεώργιος

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος καθηγητής ΕΜΠ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η **προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης αυτόνομων οχημάτων κινούμενα με σταθερή ταχύτητα με χρήση προσομοιωτή οδήγησης**. Οι καμπύλες τροχίες που διαγράφει το όχημα για την πραγματοποίηση του ελιγμού προσπέρασης, μελετήθηκαν μέσω δοκιμών σε προσομοιωτή οδήγησης για συγκεκριμένα όρια ταχυτήτων (70km/h,80km/h,90km/h), ενώ το αρχικά προπορευόμενο όχημα κινούταν με σταθερή ταχύτητα 20km/h λιγότερα από το εκάστοτε όριο ταχύτητας. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν από οδηγούς που κατέχουν δίπλωμα οδήγησης Β κατηγορίας, οι οποίοι κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την ηλικία, το γένος και την εμπειρία οδήγησης συναρτήσει της διάρκειας που κατέχουν το δίπλωμα, αφού πρώτα συμπληρώθηκε από τον κάθε χρήστη σχετικό ερωτηματολόγιο. Στη συνέχεια, ακολούθησε διαχωρισμός των προσπεράσεων σταθερής ταχύτητας από το συνολικό δείγμα και τα δεδομένα που προέκυψαν, αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο του **γωνιακού διαγράμματος** προκειμένου να προσδιοριστεί η γεωμετρία των αντίρροπων τόξων του οχήματος που επιχειρεί ελιγμό προσπέρασης. Η εφικτότητα του ελιγμών προσπέρασης διερευνήθηκε με παραμέτρους που αφορούν στις **πλευρικές αποστάσεις** μεταξύ των οχημάτων στα **σημεία πιθανής σύγκρουσης τους**. Η προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης έγινε με χρήση της πλατφόρμας **R studio**, όπου μέσω της μεθόδου της **γραμμικής** και της **λογαριθμικής γραμμικής παλινδρόμησης**, προέκυψαν τα τελικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά, υποδεικνύουν ισχυρή συσχέτιση των **ακτινών** με τις **πλευρικές αποστάσεις** των οχημάτων κατά τις διάφορες φάσεις της προσπέρασης.

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

Abstract

Overtaking trajectory modeling of vehicles moving at a constant speed via driving simulator

Chatzieleftheriou Georgios

Supervisor: Mavromatis Stergios, Professor NTUA

The objective of this diploma thesis is to **model the overtaking trajectory of autonomous vehicles moving at a constant speed using driving simulator**. The curved trajectories created by the vehicle during performing the overtaking maneuver were determined by tests through driving simulator for specific posted speed values (70km/h, 80km/h, 90km/h), where the impending (passed) vehicle was assumed to travel under steady state conditions (20km/h below the respective posted speed values). The later analysis was staged by drivers holding a B category driving license who categorized based on age, gender and driving experience based on the years they own a driving license, after the completion of a relevant questionnaire by each user. After that, the overtaking maneuvers with constant speed were separated from the total sample and then analyzed and processed by the **angular diagram method**, in order to determine the geometry of the opposite arcs resulting from the vehicle which performs the overtaking maneuver. The feasibility of overtaking maneuvers was investigated with parameters related to the **lateral distances** between the vehicles at the **points of possible collision**. The **R studio platform** was used to standardize the overtaking trajectory, using the **linear and logarithmic linear regression methods** in order to create the final statistical models. These models indicate a powerful correlation between **radius** and **lateral distances** of the vehicles during the different phases of the overtaking process.

Key words: **Modeling, Overtaking trajectory, Angular diagram, linear regression, Driving Simulator, lateral distance**

Κεφάλαια

1.Εισαγωγή.....	7
1.1 Γενική Ανασκόπηση	7
1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας	8
1.3 Μεθοδολογία	9
1.4 Δομή.....	11
2.Βιβλιογραφική ανασκόπηση	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Συναφείς έρευνες	13
2.2.1 Analyzing Speeding Behavior in Two-Lane Rural Roads, 2013 [1].....	13
2.2.2 Design Criteria for Minimum Passing Zone Lengths-Operational efficiency, 2015 [2]	16
2.2.3 Modeling Drivers Passing Duration and distance in a virtual environment, 2013 [3]	17
2.2.4 Multiple Passing Maneuvers-New Design and Marking criteria to improve Safety, 2013 [4].....	18
2.2.5 Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment, 2016 [5]	20
2.2.6 Verification of the Existing Model for Passing Sight Distance on Single Two-Lane Rural Carriageways, 2015 [6]...25	
2.2.7 Passing Sight Distance Assessment Through The Interaction of Road-Vehicle Parameters, 2019 [7]	26
2.2.8 Modeling Passing Behavior on Two-Lane Rural Highways-Evaluating Crash Risk Under Different Geometric Configurations 2013 [8]	28
2.2.9 Using Field and Simulation Data to Assess Passing Zone Behavior on Rural Two-Lane Highways, 2018 [9]	29
2.2.10 Passing Path Assessment based on Driving Simulator Experiment 2020 [10]	30
3.Θεωρητικό υπόβαθρο	34
3.1 Εισαγωγή.....	34
3.2 Προσομοιωτής οδήγησης	34
3.3 Γωνιακό Διάγραμμα.....	35
3.4 Υπολογιστικό περιβάλλον R.....	36
3.4.1 Boxplot	37
3.4.2 Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης.....	38

3.4.3	Λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση	39
3.5	Κριτήρια επιλογής μοντέλου.....	39
3.5.1	Συντελεστές β _i	40
3.5.2	Student's t-test.....	40
3.5.3	Μέτρα προσαρμογής.....	40
3.5.4	Κριτήριο καλής προσαρμογής R^2 – Adjusted R^2	41
3.5.5	Τιμή σημαντικότητας p-value	42
4.	Συλλογή δεδομένων από συμμετέχοντες	43
4.1	Εισαγωγή.....	43
4.2	Μέθοδος συλλογής στοιχείων	43
5.	Καταγραφή και Επεξεργασία Δεδομένων Προσπέρασης.....	50
5.1	Εισαγωγή.....	50
5.2	Προσδιορισμός τροχιάς προσπέρασης μέσω προσομοιωτή οδήγησης	50
5.2.1	Τρόπος καταγραφής δεδομένων	51
5.3	Ακτίνες τροχιάς προσπέρασης και επεξεργασία μέσω Γωνιακού διαγράμματος.....	52
5.4	Διαχωρισμός ελιγμών προσπεράσεων.....	55
5.5	Επιλογή μεταβλητών.....	56
5.5.1	Υπολογισμός πλευρικών αποστάσεων	57
5.5.2	Αποτελέσματα.....	59
5.6	Στατιστική μελέτη και προτυποποίηση προσπέρασης.....	62
5.6.1	Εισαγωγή στοιχείων στην R.....	62
5.6.2	Κώδικας.....	63
5.6.3	Στατιστικά ποιοτικό μοντέλο	71
5.6.4	Αποτελέσματα.....	72
6.	Συμπεράσματα	80
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων	80
6.2	Συμπεράσματα	82
6.3	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνες.....	85
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	88
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	93

ΕΙΚΟΝΑ 1.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΟΧΙΑΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ	8
ΕΙΚΟΝΑ 1.2 ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΦΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΜΕ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΘΕΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΟΧΗΜΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΕΩΝ	22
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 DRONE ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	25
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΑΚΤΙΝΕΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΓΩΝΙΑΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.8 ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.9 ΤΡΙΤΗ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.1. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΠΡΟΒΟΛΗ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΑΚΤΙΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 R-STUDIO	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ BOXPLOT. ΠΗΓΗ: HTTPS://TOWARDSDATASCIENCE.COM/UNDERSTANDING- BOXPLOTS-5E2DF7BCBD51?GI=66836BA2B673	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 ΜΟΡΦΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ. ΠΗΓΗ [12]	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.8 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ (P-VALUE).....	42
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΥΛΟΥ	44
ΕΙΚΟΝΑ 4.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΛΙΚΙΑΣ	45
ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΤΟΧΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ	45
ΕΙΚΟΝΑ 4.4 ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΕ ΕΤΗ	45
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΣΕ ΜΕΡΕΣ ΑΝΑ ΒΔΟΜΑΔΑ, ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 ΔΙΑΝΥΟΜΕΝΑ ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.7 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΕ ΗΜΕΡΕΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ, ΣΕ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.8 ΔΙΑΝΥΘΕΝΤΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΑΝΑ ΜΗΝΑ ΣΕ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 4.9 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΕ ΗΜΕΡΕΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΕ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	47
ΕΙΚΟΝΑ 4.10 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΗΡΗΣΗΣ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 4.11 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΗΡΗΣΗΣ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	48
ΕΙΚΟΝΑ 4.12 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 4.13 ΠΟΣΟΣΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	48
ΕΙΚΟΝΑ 4.14 ΠΟΣΟΣΤΑ ΠΡΟΣΤΙΜΩΝ ΓΙΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	49
ΕΙΚΟΝΑ 4.15 ΕΜΠΛΟΚΗ ΣΕ ΑΤΥΧΗΜΑ ΜΕ ΥΛΙΚΕΣ ΖΗΜΙΕΣ Η ΠΑΘΟΝΤΕΣ	49
ΕΙΚΟΝΑ 5.1 LOG 1.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.2 ΤΡΟΧΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΣΤΟ ΓΩΝΙΑΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ (LOG 2)	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΓΩΝΙΑΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	54
ΕΙΚΟΝΑ 5.4 ΓΩΝΙΑΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	55
ΕΙΚΟΝΑ 5.5 ΦΑΣΕΙΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ	56
ΕΙΚΟΝΑ 5.6 ΒΑΣΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΑΣΗ 1	57
ΕΙΚΟΝΑ 5.7 ΒΑΣΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΑΣΗ 3	58
ΕΙΚΟΝΑ 5.8 ΤΙΜΕΣ ΑΚΤΙΝΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΟ 50% ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ	60
ΕΙΚΟΝΑ 5.9 ΤΙΜΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΑΚΡΟ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΟ 50% ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ	60
ΕΙΚΟΝΑ 5.10 ΤΙΜΕΣ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΟ 50% ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΔΙΑΝΥΘΕΝΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕΧΡΙ ΤΟΝ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 5.11 ΤΙΜΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΑΚΡΟ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΟ 50% ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ ΤΩΝ HEADWAY	61
ΕΙΚΟΝΑ 5.12 ΤΙΜΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΟ 50% ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ ΤΩΝ HEADWAY.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 5.13 ΜΟΡΦΗ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΕΝΤΟΛΗ READ_EXCEL.....	62

ΕΙΚΟΝΑ 5.14 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΠΙΝΑΚΑ FINAL	63
ΕΙΚΟΝΑ 5.15 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ R-STUDIO	63
ΕΙΚΟΝΑ 5.16 ΕΙΣΑΓΩΓΗ EXCEL ΣΤΗΝ R-STUDIO	64
ΕΙΚΟΝΑ 5.17 ΒΟΧΠΛΟΤ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=70\text{KM/H}$	65
ΕΙΚΟΝΑ 5.18 ΒΟΧΠΛΟΤ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=80\text{KM/H}$	66
ΕΙΚΟΝΑ 5.19 ΒΟΧΠΛΟΤ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=90\text{KM/H}$	67
ΕΙΚΟΝΑ 5.20 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΑΡΙΘΜΩΝ ΣΤΗΝ R-STUDIO.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 5.21 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΣΤΗΝ R-STUDIO	68
ΕΙΚΟΝΑ 5.22 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	69
ΕΙΚΟΝΑ 5.23 ΜΟΡΦΗ ΕΝΤΟΛΗΣ REGSUBSETS	69
ΕΙΚΟΝΑ 5.24 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ R^2 , ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΥ R^2	69
ΕΙΚΟΝΑ 5.25 ΚΩΔΙΚΑΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΕΛΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	70
ΕΙΚΟΝΑ 5.26 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΤΟΛΗΣ LM, ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	70
ΕΙΚΟΝΑ 5.27 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΜΕΤΑΞΥ R_1, R_2	72
ΕΙΚΟΝΑ 5.28 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ R_1, R_2 ΓΙΑ $V=70\text{KM/H}$	73
ΕΙΚΟΝΑ 5.29 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ R_1, R_2 ΓΙΑ $V=80\text{KM/H}$	74
ΕΙΚΟΝΑ 5.30 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ R_1, R_2 ΓΙΑ $V=90\text{KM/H}$	75
ΕΙΚΟΝΑ 5.31 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΜΕΤΑΞΥ R_3, R_4	76
ΕΙΚΟΝΑ 5.32 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ R_3, R_4 ΓΙΑ $V=70\text{KM/H}$	77
ΕΙΚΟΝΑ 5.33 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ R_3, R_4 ΓΙΑ $V=80\text{KM/H}$	78
ΕΙΚΟΝΑ 5.34 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ R_3, R_4 ΓΙΑ $V=90\text{KM/H}$	79
ΕΙΚΟΝΑ 6.1 ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΦΑΣΗ 1 (ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ 5.6 ΕΩΣ 5.9).....	81
ΕΙΚΟΝΑ 6.2 ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΦΑΣΗ 3 (ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ 5.10 ΕΩΣ 5.13).....	81

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΩΝ ΟΔΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ .	14
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ.....	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΖΩΝΕΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ.....	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5 ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΙΜΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ Χ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΑΣΗ 1	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΙΜΩΝ ΧΡΟΝΟΥ, ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΑΣΗ 1	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΙΜΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ Χ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΑΣΗ 3....	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ.....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 ΤΙΜΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ 50% (ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΤΟ 50% ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ)	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΑΣΗ 1.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΑΣΗ 3.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ R^2 , ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΥ R^2	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΦΑΣΕΙΣ 1,3	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΦΑΣΗ 3.....	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΦΑΣΗ 1.....	83

1. Εισαγωγή

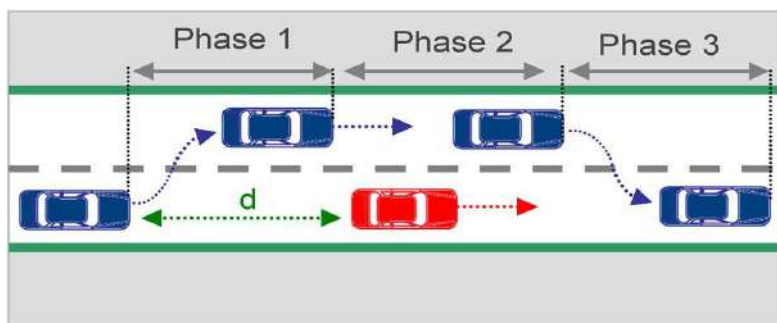
1.1 Γενική Ανασκόπηση

Στις μέρες μας οι εξελίξεις στην αυτοκινητοβιομηχανία πρόκειται να φέρουν σημαντικές αλλαγές σε ότι αφορά στις μετακινήσεις, με την εισαγωγή αυτόνομων οχημάτων. Τα αυτόνομα οχήματα αποτελούν μια επαναστατική τεχνολογία, η οποία έχει προσελκύσει και συνεχίζει να προσελκύει τεράστια προσοχή τις τελευταίες δεκαετίες. Η τεχνολογία των οχημάτων αυτών επιτρέπει στο όχημα να πλοηγηθεί χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου-οδηγού. Η υιοθέτηση αυτόνομων οχημάτων συνεπάγεται σε μία σειρά πιθανών οικονομικών και κοινωνικών οφελών, όπως:

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

Για να είναι υλοποιήσιμα αυτά τα οφέλη, χρειάζεται να αναλυθούν σε βάθος πολλές παράμετροι που σχετίζονται με τα αυτόνομα οχήματα.

Μία από τις πιο σύνθετες και απαιτητικές ενέργειες ενός αυτόνομου οχήματος, είναι η **πραγματοποίηση του ελιγμού προσπέρασης** αφού το όχημα θα πρέπει να εισέλθει στη λωρίδα αντίθετης κατεύθυνσης (**Φάση 1**), στην συνέχεια να παραμείνει σε αυτή για ικανό μήκος κινούμενο παράλληλα με το όχημα που επιδιώκει να προσπεράσει (**Φάση 2**) και τέλος να πραγματοποιήσει ομαλή επαναφορά στην αρχική λωρίδα (**Φάση 3**), προσπερνώντας έτσι με ασφάλεια το προπορευόμενο όχημα. Η διαδικασία της προσπέρασης παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1 Διαδικασία τροχιάς προσπέρασης

Στη βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφέρονται αρκετές έρευνες που σχετίζονται με τις προσπεράσεις αυτόνομων οχημάτων. Για την συλλογή δεδομένων στις έρευνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν συσκευές βιντεοσκόπησης και ηλεκτρονικές συσκευές, όπως GPS, για την καταγραφή των προσπεράσεων που πραγματοποιούσαν οι οδηγοί, ενώ επίσης παρουσιάζονται και έρευνες στις οποίες έγινε χρήση προσομοιωτή οδήγησης για την καταγραφή των απαραίτητων δεδομένων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η μελέτη των φάσεων της προσπέρασης και τα συναφή στοιχεία προέκυψαν μέσω δοκιμών σε προσομοιωτή οδήγησης, όπου οι οδηγοί που συμμετείχαν πραγματοποίησαν προσπεράσεις σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Τα οφέλη που παρουσιάστηκαν παραπάνω, καθιστούν σημαντική την μελέτη και ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η **διερεύνηση της τροχιάς προσπέρασης κατά την κίνηση του υπόψη οχήματος με σταθερή ταχύτητα**, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις κύριες φάσεις αυτής, δηλαδή στην γεωμετρία που διαγράφει το όχημα στην αρχή της προσπέρασης που αλλάζει λωρίδα κατεύθυνσης (Φάση 1) και στο τέλος αυτής που επανέρχεται στην αρχική λωρίδα (Φάση 3). Οι καμπύλες τροχιάς που διαγράφει το όχημα, μελετήθηκαν για συγκεκριμένα όρια ταχυτήτων (70km/h, 80km/h, 90km/h), ενώ το αρχικά προπορευόμενο όχημα κινούταν με σταθερή ταχύτητα 20km/h λιγότερα από το εκάστοτε όριο ταχύτητας. Επιπρόσθετα, έγινε προσπάθεια **προτυποποίησης της τροχιάς προσπέρασης με την χρήση γλώσσας προγραμματισμού R studio**, μέσω διαφόρων παραμέτρων που φαίνεται να την επηρεάζουν σημαντικά, όπως η απόσταση που είχαν μεταξύ τους τα οχήματα κατά την αρχή και το τέλος της προσπέρασης (Headway), καθώς και την εγκάρσια απόσταση μεταξύ τους σε κρίσιμα σημεία αυτής (lateral Distance).

Τα παραπάνω αυτά στοιχεία, θα ενισχύσουν την καλύτερη λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων και εκ του αποτελέσματος αναμένεται να συμβάλλουν στην περαιτέρω ανάλυση του ιδιαίτερα απαιτητικού αυτού ελιγμού.

1.3 Μεθοδολογία

Πρώτο βήμα για την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής ήταν η συλλογή στοιχείων από παρόμοιες μελέτες τόσο για την εξοικείωση με το θέμα όσο και για την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, έγινε μία πρώτη προσέγγιση του θέματος και αναλύθηκαν οι διάφοροι τρόποι και μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραμάτων και την συλλογή των δεδομένων. Αυτά αναλύθηκαν δίνοντας έμφαση στα κύρια σημεία της κάθε έρευνας μέσω των οποίων αντλήθηκαν πληροφορίες σημαντικές για τη δημιουργία μίας πολύπλευρης και ολοκληρωμένης εικόνας επί του θέματος.

Όσον αφορά στη μεθοδολογία της εν λόγω διπλωματικής, σε πρώτο στάδιο αποφασίστηκε ότι η συλλογή στοιχείων προσπέρασης θα γίνει μέσω **προσομοιωτή οδήγησης**, για υπεραστική οδό δύο λωρίδων. Οι οδηγοί που συμμετείχαν στο πείραμα, ήταν νεαρής ηλικίας (20 με 27 ετών) και στο σύνολο έφτασαν τους 31 συμμετέχοντες. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της οδήγησης στον προσομοιωτή, οι οδηγοί συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο που αφορούσε την συμπεριφορά του καθενός και καθεμίας σε σχέση με την τήρηση των ορίων ταχύτητας, την οδήγηση σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον και το μέσο χρόνο οδήγησης.

Σε δεύτερο στάδιο, οι οδηγοί πραγματοποίησαν δοκιμές σε προσομοιωτή οδήγησης. Ο κάθε ένας συμμετέχων έκανε τέσσερις συνολικά δοκιμές. Η πρώτη, της οποίας τα δεδομένα δεν λήφθηκαν υπόψη, ήταν για την καλύτερη εξοικείωση του εκάστοτε χρήστη με το σύστημα του προσομοιωτή ενώ οι άλλες τρεις διαφοροποιούνταν μόνο σε ότι έχει να κάνει με το όριο ταχύτητας (70km/h, 80km/h, 90km/h αντίστοιχα) με το σενάριο οδήγησης να παραμένει ίδιο. Από τις τρεις αυτές δοκιμές συλλέχθηκαν δεδομένα τα οποία κατέγραφε ο προσομοιωτής σε αρχείο μορφής txt, που αφορούσαν την ταχύτητα, την επιτάχυνση, την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, τις πλευρικές αποστάσεις από τα άκρα του δρόμου κτλ. Τα δεδομένα αυτά, προσαρμόστηκαν κατάλληλα προκειμένου να αναλυθεί κατά το δυνατό καλύτερα η διαδικασία προσπέρασης και να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Η επεξεργασία των δεδομένων που αφορούν στον προσδιορισμό της γεωμετρίας του οχήματος που προσπερνά, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του γωνιακού διαγράμματος. Το γωνιακό διάγραμμα αποτελεί μία μέθοδο, μέσω της οποίας υπολογίζονται οι ακτίνες καμπυλότητας κάνοντας χρήση των συντεταγμένων της τροχιάς του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκαν τα στοιχεία των αντίρροπων τόξων που δημιουργούνται κατά την διάρκεια της προσπέρασης. Τα αντίρροπα τόξα φαίνονται με μπλε γραμμή στην Εικόνα 1.1 της προηγούμενης σελίδας.

Με την χρήση του γωνιακού διαγράμματος για 211 προσπεράσεις στο σύνολο, συλλέχθηκαν τα δεδομένα που ήταν απαραίτητα για την συνέχεια του πειράματος καθώς και απορρίφθηκαν κάποιες προσπεράσεις από το

συνολικό δείγμα για λόγους που θα εξηγηθούν παρακάτω. Επίσης, έγινε εφικτή η διαφοροποίηση των επιταχυνόμενων προσπεράσεων από αυτών όπου οι οδηγοί πραγματοποίησαν την προσπέραση έχοντας σταθερή την οριακή ταχύτητα που τους είχε οριστεί με πολύ μικρή (σχεδόν μηδενική) δηλαδή επιτάχυνση (flyover). Ο αριθμός των προσπεράσεων αυτών ήταν στο σύνολο 72. **Στη συγκεκριμένη διπλωματική δίνεται έμφαση σε αυτές τις προσπεράσεις σταθερής ταχύτητας.**

Στη συνέχεια, έγινε η συλλογή των μεταβλητών που προέκυψαν από τα δεδομένα του προσομοιωτή δίνοντας παραπάνω βάση στις μεταβλητές της απόστασης του οχήματος που πραγματοποιούσε την προσπέραση από το προπορευόμενο, τόσο στην αρχή όσο και στο τέλος αυτής. Επιπρόσθετα, υπολογίστηκαν μεταβλητές οι οποίες δεν προέκυπταν άμεσα από τον προσομοιωτή. Οι μεταβλητές αυτές αφορούσαν τις εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων σε κρίσιμες θέσεις της προσπέρασης. Περαιτέρω ανάλυση παρατίθεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος, έγινε η στατιστική ανάλυση μέσω γλώσσας προγραμματισμού R studio. Ο αρχικός διαχωρισμός έγινε με βάση την ταχύτητα αλλά στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το συνολικό δείγμα. Σκοπός ήταν η μοντελοποίηση της τροχιάς με κατάλληλα γραμμικά μοντέλα έχοντας ως εξαρτημένες μεταβλητές τις ακτίνες R_1, R_2, R_3, R_4 της τροχιάς προσπέρασης. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν: το μήκος των κυκλικών τροχιών, η απόσταση μεταξύ των οχημάτων, οι εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ τους καθώς και από τα πλευρικά όρια του δρόμου. Με αυτόν τον τρόπο, έγινε η αξιολόγηση της επιρροής της κάθε μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή και κατ' επέκταση στο σύνολο της προσπέρασης.

Το σύνολο των βημάτων για την πραγματοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας φαίνονται στην Εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.2 Βήματα Διπλωματικής εργασίας

1.4 Δομή

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στην εισαγωγή της Διπλωματικής αυτής εργασίας. Σκοπός της εισαγωγής είναι να παρουσιάσει τη γενική θεματολογία την οποία και διερευνά. Πρωταρχικά, παρουσιάζεται συνοπτικά το αντικείμενο μελέτης. Στη συνέχεια αναφέρεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας που στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά την προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης αυτόνομων οχημάτων κινούμενων με σταθερή ταχύτητα. Τέλος, ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση και επεξήγηση της μεθοδολογίας μέσω της οποίας πραγματοποιήθηκε η μελέτη. Μία σύνοψη της μεθοδολογίας είναι η εξής:

- Δοκιμές προσπεράσεων σε προσομοιωτή οδήγησης.
- Χρήση γωνιακού διαγράμματος για την επεξεργασία δεδομένων.
- Χρήση πλατφόρμας R-studio για την προτυποποίηση και την στατιστική ανάλυση της τροχιάς προσπέρασης.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνεται η παρουσίαση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, που αφορά παρόμοιες έρευνες σχετικά με τις προσπεράσεις αυτόνομων οχημάτων, συναφείς με αυτή της Διπλωματικής εργασίας. Επίσης, παρατίθενται συνοπτικά τα διάφορα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές τις έρευνες.

Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα θεωρητικά στοιχεία της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της Διπλωματικής αυτής εργασίας.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του προσομοιωτή που χρησιμοποιήθηκε για το πειραματικό κομμάτι της διπλωματικής. Στη συνέχεια, αναφέρονται θεωρητικά στοιχεία για το γωνιακό διάγραμμα μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από τον προσομοιωτή. Τέλος, γίνεται αναφορά στην πλατφόρμα του R studio, στον τρόπο λειτουργίας της καθώς και σε βασικές έννοιες που αφορούν την στατιστική ανάλυση μέσω της οποίας έγινε η επιλογή των τελικών μοντέλων.

Κεφάλαιο 4: Συλλογή στοιχείων

Μέσω του κεφαλαίου αυτού, παρουσιάζεται η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της εν λόγω μελέτης. Η συλλογή των δεδομένων έγινε μέσω προσομοιωτή οδήγησης από πραγματικούς οδηγούς. Οι οδηγοί ήταν νεαρής ηλικίας και κατείχαν δίπλωμα Β κατηγορίας. Επίσης, πριν την πραγματοποίηση των δοκιμών στον προσομοιωτή, ζητήθηκε από τους οδηγούς η συμπλήρωση ερωτηματολογίου, το οποίο παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται λεπτομερής ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της Διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται λεπτομερώς ο τρόπος με τον οποίο έγινε η συλλογή των αρχικών ανεπεξέργαστων δεδομένων μέσω του προσομοιωτή οδήγησης, η επεξεργασία τους με το γωνιακό διάγραμμα καθώς και η εισαγωγή τους με τον κατάλληλο τρόπο στην πλατφόρμα του R studio. Στη συνέχεια εξηγείται η διαδικασία μέσω της οποίας προέκυψε ο καλύτερος συνδυασμός μεταξύ των μεταβλητών για τη δημιουργία των τελικών μοντέλων και τέλος ακολουθεί η παρουσίαση των τελικών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, δίνοντας έμφαση στη χρησιμότητα αυτών. Επίσης, παρουσιάζονται διάφορες προτάσεις για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων καθώς και για περαιτέρω μελλοντικές έρευνες.

Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφικές αναφορές

Στο τέλος της διπλωματικής εργασίας, παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές έτσι ώστε να μπορεί ο αναγνώστης να διευκολυνθεί στην αναζήτηση των σχετικών πηγών.

Τέλος παρατίθενται και τα παραρτήματα που στη συγκεκριμένη διπλωματική αφορούν το ερωτηματολόγιο και το κώδικα μέσω του οποίου έγινε η δημιουργία των τελικών μοντέλων και εξήχθησαν τα τελικά αποτελέσματα.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιλαμβάνει έρευνες μοντελοποίησης τροχιάς αυτόνομων οχημάτων κατά την προσπέραση με διάφορες μεθοδολογίες. Πιο συγκεκριμένα για κάθε έρευνα παρατίθεται ο στόχος της, τα βήματα και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε καθώς και τα αποτελέσματα δίνοντας έμφαση σε εκείνα που σχετίζονται περισσότερο με την διπλωματική αυτή εργασία. Μέσω αυτής της ανασκόπησης επιδιώκεται η συλλογή χρήσιμων στοιχείων και μεθοδολογιών που θα βοηθήσουν στην επίτευξη του στόχου της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.2 Συναφείς έρευνες

Το υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζει βασικά σημεία από τις συναφείς έρευνες σχετικά με την τροχιά προσπέρασης οχημάτων, το μήκος ορατότητας, την ταχύτητα και την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα κατά την αρχή και το τέλος της προσπέρασης. Οι έρευνες αυτές βασίζονται σε πειραματικές εκτιμήσεις και υπολογιστικές μεθόδους σε πραγματικό περιβάλλον και σε περιβάλλον προσομοιωτή. Σκοπός της παράθεσης των σχετικών αυτών ερευνών είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων με την παρούσα διπλωματική εργασία.

2.2.1 Analyzing Speeding Behavior in Two-Lane Rural Roads, 2013 [1]

Στόχος:

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

Μεθοδολογία:

Για την συγκεκριμένη έρευνα αναπτύχθηκαν δύο τρόποι συλλογής στοιχείων:

- Συλλογή στοιχείων ανάπτυξης ταχύτητας σε συνθήκες ελεύθερης ροής:

Σε αυτήν την περίπτωση, πραγματοποιήθηκε συλλογή στοιχείων μέσω συσκευών GPS που ήταν τοποθετημένες στα οχήματα των οδηγών. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων πραγματοποιήθηκε ανάμεσα σε δύο σημεία ελέγχου ενός οδικού τμήματος αρκετών χιλιομέτρων. Οι οδηγοί που εισέρχονταν στο οδικό αυτό τμήμα (πρώτο σημείο ελέγχου), κλήθηκαν να συμμετάσχουν στην έρευνα. Μία συσκευή GPS, τοποθετήθηκε σε κάθε όχημα και έπειτα ο οδηγός ξεκίνησε για να φτάσει στο δεύτερο σημείο ελέγχου. Οι οδηγοί ενημερώθηκαν για τον χαρακτήρα της έρευνας και έτσι ενθαρρύνθηκαν να οδηγήσουν όπως οι ίδιοι συνηθίζουν. Ήταν όμως σημαντικό να ελεγχθεί η απόκλιση της ταχύτητας κατά την διάρκεια του πειράματος σε σχέση με κανονικές συνθήκες. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις

ταχύτητας, η δεύτερη κατά την διάρκεια της δοκιμής και η πρώτη λίγες ημέρες πριν. Οι μετρήσεις αυτές λήφθηκαν μέσω εγγραφής βίντεο, μακριά από την οπτική γωνία των οδηγών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι οδηγοί δεν επηρεάστηκαν από την παρουσία των GPS συσκευών αλλά οδήγησαν κατά το σύνθηρες. Για την διαδικασία αυτή, χρησιμοποιήθηκαν δέκα τμήματα αγροτικών οδών με δύο λωρίδες των οποίων τα στοιχεία παρατίθενται στον Πίνακα 2.1. Στοιχεία που αφορούν στις συνθήκες κυκλοφορίας, όρια ταχύτητας, πλάτος λωρίδας.

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά τμημάτων υπεραστικών οδών για συνθήκες ελεύθερης ροής

ID	Road segment	Road segment length [km]	Estimated AADT [vpd]	Lowest posted speed direction 1/direction 2 [km/h]	Highest posted speed direction 1/direction 2 [km/h]	Observations direction 1/direction 2
1	CV-35	13.40	860	40/40	90/90	70/90
2	CV-35	8.20	2257	50/50	90/90	121/120
3	CV-333	5.10	2419	70/70	90/90	101/89
4	CV-50	5.70	4852	90/70	90/90	116/96
5	CV-372	4.50	4149	50/50	80/80	77/117
6	CV-305	4.40	6086	50/50	90/80	112/105
7	CV-370	8.30	2523	90/90	90/90	61/79
8	CV-401	6.00	5292	40/40	90/90	102/91
9	CV-376	6.70	2656	60/60	90/90	58/53
10	CV-310	4.70	6809	60/60	80/80	74/58

- Συλλογή στοιχείων ανάπτυξης ταχύτητας κατά την διάρκεια προσπέρασης

Η συλλογή δεδομένων κατά την διάρκεια της προσπέρασης βασίστηκε σε ένα όχημα εφοδιασμένο με ειδικά εργαλεία μέσω των οποίων λήφθηκαν τα δεδομένα. Το όχημα αυτό δημιουργήθηκε από την Highway Engineering Research Group και χρησιμοποιήθηκε σε οκτώ τμήματα υπεραστικών οδών δύο λωρίδων στα περίχωρα της Βαλένθια, διατηρώντας χαμηλή ταχύτητα, με σκοπό να το προσπεράσουν διερχόμενα οχήματα. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν τέσσερις μικρές ψηφιακές κάμερες οι οποίες κάλυπταν την πίσω, την αριστερή και την μπροστινή περιοχή μέσω των οποίων παρατηρήθηκε ολόκληρη η τροχιά προσπέρασης κάθε διερχόμενου οχήματος. Οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων, πριν και μετά την εκτέλεση των ελιγμών, συλλέχθηκαν από δύο laser rangefinders εγκατεστημένα στον πίσω και στον μπροστινό προφυλακτήρα. Καθώς το μέγεθος του εξοπλισμού ήταν μικρό, δεν ήταν ορατό από άλλους οδηγούς, αποφεύγοντας αλλαγές στην συμπεριφορά τους. Επιπλέον πληροφορίες, όπως ο τύπος οχήματος, ο αριθμός επιβατών, το φύλο και η ηλικία των οδηγών καταγράφηκαν από τον συνοδηγό του υπόψη οχήματος. Τα γενικά χαρακτηριστικά των οκτώ οδικών τμημάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2 Χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων για συλλογή στοιχείων προσπέρασης

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

Αποτελέσματα:

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

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

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

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

- Ένα υψηλό ποσοστό οδηγών τείνουν να συνδυάζουν διαφορετικές συμπεριφορές κατά την οδήγηση. Οι μελέτες που βασίζονται στη μέτρηση δεδομένων ταχύτητας μπορεί να μην είναι αρκετά ακριβείς.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό των οδηγών, οδηγεί συνήθως πιο αργά από το V_{85} , καθώς και με ταχύτητα χαμηλότερη του ορίου ταχύτητας αυξημένο κατά 10χλμ/ώρα.
- Άντρες νεαρής ηλικίας τείνουν να αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες.
- Η εμπειρία οδήγησης, η συχνότητα και διάρκεια του ταξιδιού καθώς και η παρουσία επιβατών δεν βρέθηκαν να είναι σημαντικές μεταβλητές ως προς την επιρροή της ταχύτητας.

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

2.2.2 Design Criteria for Minimum Passing Zone Lengths-Operational efficiency, 2015 [2]

Στόχος:

Στόχος της μελέτης αυτής είναι η ανάπτυξη κριτηρίων σχεδιασμού και σήμανσης, για το ελάχιστο μήκος ζώνης προσπέρασης. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα αφορά:

- Στην αξιολόγηση του μήκους των ζωνών προσπέρασης ως προς τη λειτουργική απόδοση οδού δύο λωρίδων.
- Στον προσδιορισμό ελάχιστων μηκών ζωνών προσπέρασης, βάσει της παρεχόμενης ασφάλειας τους.

Μεθοδολογία:

Σύμφωνα με την μελέτη, η διαδικασία προσπέρασης ορίζεται ως διαδικασία τριών βημάτων:

- Επιθυμία προσπέρασης, η οποία αφορά την επιθυμία του οδηγού να πραγματοποιήσει την προσπέραση ή να συνεχίσει την πορεία του πίσω από το άλλο όχημα.
- Λήψη της απόφασης για προσπέραση, λαμβάνοντας υπόψη το κενό που θα του επιτρέψει ή όχι την προσπέραση.
- Την εκτέλεση της προσπέρασης, κατά την οποία ο οδηγός ξεκινάει την προσπέραση.

Η μεθοδολογία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης βασίστηκαν σε ένα νέο μοντέλο για προσπεράσεις. Το μοντέλο αυτό είναι μέρος του λογισμικού προσομοίωσης Aimsun το οποίο αναπτύχθηκε με χρήση δεδομένων προσπεράσεων σε οδικό περιβάλλον. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε περισσότερα από 44.000 σενάρια που είχαν να κάνουν με το μήκος της ζώνης διέλευσης, κυκλοφορικά δεδομένα και άλλες μεταβλητές. Επίσης βασίστηκε στα τρέχοντα κριτήρια σχεδιασμού και σήμανσης των ΗΠΑ.

Αποτελέσματα:

Το μοντέλο προσπεράσεων αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας 1.750 προσπεράσεις. Τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης είναι:

- Οι ζώνες προσπέρασης, μικρότερες των 250 μέτρων, δεν συμβάλλουν στη λειτουργική απόδοση οδών δύο λωρίδων.
- Σε ζώνες προσπέρασης μήκους μεταξύ 275 με 350 μέτρων, παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό προσπεράσεων ολοκληρώθηκε εκτός των ζωνών.
- Λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των προσπεράσεων που ολοκληρώνονται έξω από την ζώνη προσπέρασης, το ελάχιστο μήκος θα μπορούσε να καθοριστεί με βάση τον όγκο της κυκλοφορίας.

Τέλος, διατυπώθηκε η πρόταση αύξησης του ελάχιστου μήκους ζώνης προσπέρασης, το οποίο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 350 μέτρα για χαμηλό όγκο κυκλοφορίας, 300 μέτρα για μεσαίο όγκο κυκλοφορίας και 275 μέτρα για υψηλό όγκο κυκλοφορίας, έτσι ώστε η νέα ελάχιστη τιμή του μήκους ζώνης να έχει ως αποτέλεσμα περισσότερες ολοκληρωμένες προσπεράσεις μέσα στο επιτρεπόμενο αυτό μήκος.

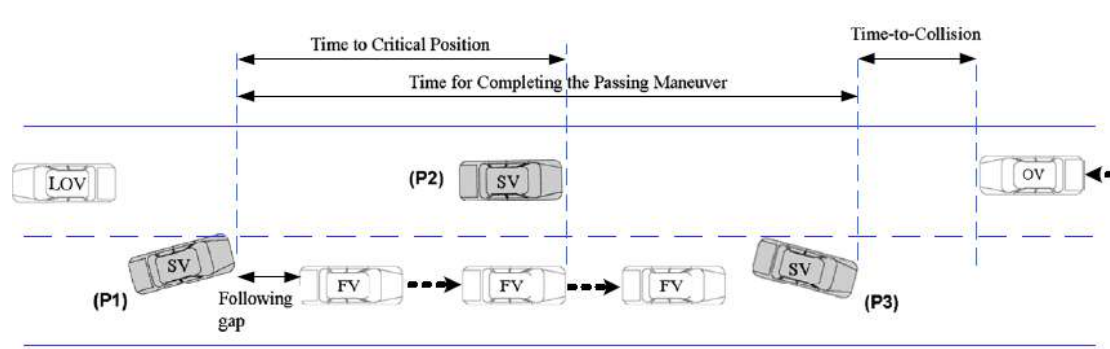
2.2.3 Modeling Drivers Passing Duration and distance in a virtual environment, 2013 [3]

Στόχος:

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

Μεθοδολογία:

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον προσομοιωτή. Ο προσομοιωτής οδήγησης συλλέγει δεδομένα σχετικά με τις ταχύτητες, τις θέσεις και την επιτάχυνση του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση καθώς και όλων των υπόλοιπων οχημάτων που υπάρχουν στο σενάριο. Με την επεξεργασία των δεδομένων αυτών μπορούν να υπολογιστούν άλλες μεταβλητές ενδιαφέροντος όπως οι σχετικές ταχύτητες και αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων. Στην συνέχεια, αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό σημαντικών μετρήσεων όπως την απόσταση μεταξύ του οχήματος (SV) που πραγματοποιεί την προσπέραση και του προπορευόμενου (FV), τη στιγμή της έναρξης της προσπέρασης και τον χρόνο που χρειάζεται για να συγκρουστεί με όχημα του αντίθετου ρεύματος (OV) κατά την ολοκλήρωση της προσπέρασης. Η εκκίνηση της προσπέρασης (P1) ορίστηκε ως όταν ο αριστερός μπροστινός τροχός του οχήματος διέρχεται από τον άξονα της οδού ενώ το τέλος της προσπέρασης (P2) ορίστηκε ως όταν ο πίσω αριστερός τροχός διέρχεται και πάλι από τον άξονα. Τα προηγούμενα φαίνονται στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1 Φάσεις προσπέρασης με διέλευση οχημάτων αντίθετης κατεύθυνσης

Αποτελέσματα:

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

2.2.4 Multiple Passing Maneuvers-New Design and Marking criteria to improve Safety, 2013 [4]Στόχος:

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ανάλυση των πολλαπλών προσπεράσεων καθώς και η σύγκριση με απλές προσπεράσεις. Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι είναι οι εξής:

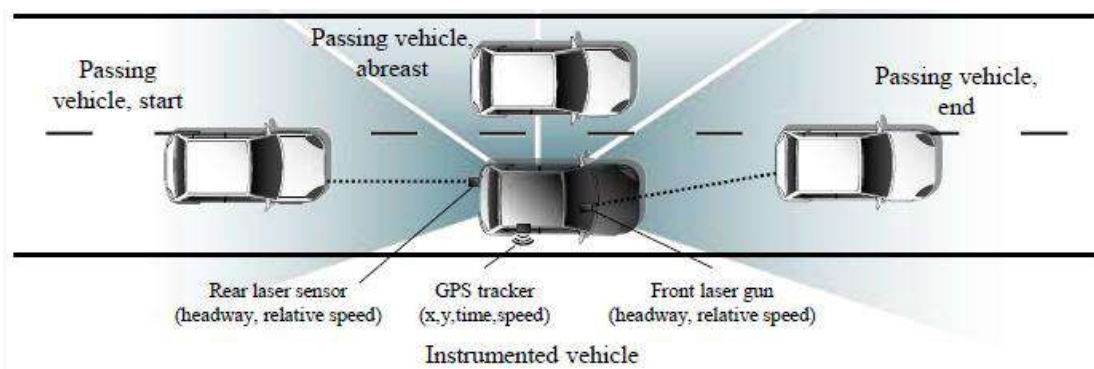
- Συλλογή δεδομένων απλών και πολλαπλών προσπεράσεων από δείγμα σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων.
- Σύγκριση της πορείας του οχήματος μεταξύ απλών και πολλαπλών προσπεράσεων.
- Αξιολόγηση των απαιτήσεων PSD (passing sight distance) για απλές και πολλαπλές προσπεράσεις και σύγκριση με τα υφιστάμενα πρότυπα PSD.
- Προσδιορισμός συγκρούσεων που σχετίζονται με τις πολλαπλές προσπεράσεις.

Μεθοδολογία:

Η έρευνα αυτή βασίζεται σε μετρήσεις που έγιναν σε οδικό περιβάλλον τόσο για απλές όσο και για πολλαπλές προσπεράσεις σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε δρόμους της περιοχής της Βαλένθια, χρησιμοποιώντας ένα όχημα στο οποίο τοποθετήθηκαν όργανα μέτρησης, καθώς και από εξωτερικές παρατηρήσεις σε συγκεκριμένα σταθερά σημεία. Η συλλογή των δεδομένων βασίστηκε σε καταγραφή βίντεο κατά τις προσπεράσεις υπό κανονικές συνθήκες. Για την καταγραφή αυτή χρησιμοποιήθηκαν δύο μεθοδολογίες.

Η πρώτη και πιο σημαντική μεθοδολογία, βασίστηκε σε ένα **όχημα εφοδιασμένο με όργανα μέτρησης**, το οποίο τοποθετήθηκε κατά μήκος οδικού τμήματος που περιλάμβανε περισσότερες από μία ζώνες προσπέρασης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Ο στόχος ήταν να το

προσπερνάνε άλλα οχήματα, συλλέγοντας έτσι τα δεδομένα των ελιγμών που πραγματοποιούσαν. Το ενισχυμένο όχημα (IV: instrumented vehicle), ήταν εξοπλισμένο με τέσσερις κάμερες ανάλυσης 720x576 pixel καλύπτοντας έτσι την πίσω, την αριστερή και την μπροστινή μεριά του οχήματος. Στο πίσω μέρος τοποθετήθηκε και μία μικρή κάμερα GoPRO υψηλής ευκρίνειας. Δύο LTI True Sense S200 laser rangefinders εγκαταστάθηκαν για τη μέτρηση των αποστάσεων των οχημάτων πίσω και μπροστά από το IV. Η θέση και η ταχύτητα του IV μετρήθηκε από ένα GPS. Η ταχύτητα του IV προσδιοριζόταν αναλόγως με την τοποθεσία που βρισκόταν και σε σχέση με την ταχύτητα που θα είχε σε εκείνη τη θέση κάποιο όχημα. Η ταχύτητα αυτή καθοριζόταν μέσω της δεύτερης μεθόδου που παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 2.2 Όχημα εφοδιασμένο με όργανα μέτρησης

Όσον αφορά στη δεύτερη μεθοδολογία, οι εξωτερικές παρατηρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας μία αρθρωτή πλατφόρμα, που ονομάζεται mobile traffic laboratory (MTL), του Πολυτεχνείου της Βαλένθια, η οποία έχει έξι κάμερες στο πάνω μέρος της. Το MTL τοποθετήθηκε δίπλα από διαφορετικές ζώνες προσπέρασης, με τη μεγέθυνση και την εστίαση της κάθε κάμερας να ελέγχεται επί τόπου μέσω ασύρματου δικτύου. Χρησιμοποιώντας τις κάμερες, λήφθηκαν βίντεο σχετικά με τις ζώνες προσπέρασης. Οι ζώνες αυτές καταγράφηκαν επίσης με το IV. Ο Πίνακας 2.3 συνοψίζει την μελέτη.

Πίνακας 2.3 Σύνοψη αποτελεσμάτων για ζώνες προσπέρασης

	Instrumented vehicle (IV)	External observations (MTL)	Total
Number of locations	8 road segments	2 locations	-
Data Collection duration	30 hours	17 hours	47 hours
Number of passing zones	114	4	114*
Number of maneuvers	414	1058	1472
Number of multiple maneuvers	66	238	304

*Passing zones observed with MTL are observed with IV too

Στην συνέχεια, τα δεδομένα αυτά κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με το αν ήταν απλές ή πολλαπλές προσπεράσεις, και εξετάστηκαν παραπάνω μεταβλητές που αφορούν την διάρκεια των ελιγμών, την απόσταση που διένυσε το όχημα στην αριστερή λωρίδα πριν ολοκληρώσει την προσπέραση, και την μεταβολή της ταχύτητας του.

Αποτελέσματα:

- Οι πολλαπλές προσπεράσεις απαιτούν περισσότερο χρόνο και απόσταση κατά την οποία το όχημα είναι στην αριστερή λωρίδα.
- Οι διπλές προσπεράσεις αποτελούν υψηλό ποσοστό του συνόλου των προσπεράσεων.
- Δεν υπάρχουν κριτήρια σχεδιασμού και σήμανσης για πολλαπλές προσπεράσεις.
- Οι πολλαπλές προσπεράσεις είναι λιγότερο ασφαλείς και πραγματοποιούνται λιγότερο σε μικρές ζώνες προσπέρασης.

Με βάση τα αποτελέσματα προτείνεται αλλαγή σήμανσης που αφορούν τις ζώνες προσπέρασης και τις ζώνες απαγόρευσης προσπέρασης σε τμήματα οδών στα οποία έχουν παρατηρηθεί πολλαπλές προσπεράσεις.

2.2.5 Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment, 2016 [5]

Στόχος:

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι να συγκρίνει τις παρατηρήσεις των προσπεράσεων ανάμεσα σε οδικό περιβάλλον και σε περιβάλλον προσομοιωτή οδήγησης. Αυτό μπορεί να βελτιώσει και τις δύο μεθόδους και να επικυρώσει την χρήση προσομοιωτή αντί για επί τόπου παρατηρήσεις. Πιο συγκεκριμένα καθορίστηκαν οι εξής στόχοι:

- Δημιουργία πανομοιότυπων συνθηκών οδήγησης, που αφορούν τη γεωμετρία της οδού και την κυκλοφορία, τόσο στο οδικό περιβάλλον όσο και σε αυτό του προσομοιωτή, με σκοπό την αντικειμενική σύγκριση μεταξύ των μεθόδων.
- Σύγκριση απόδοσης οδηγών κατά τις προσπεράσεις σε οδικό περιβάλλον και περιβάλλον προσομοιωτή (όπως: χρόνος προσπέρασης, διανυόμενη απόσταση και ταχύτητα).
- Σύγκριση της συμπεριφοράς των οδηγών στην πραγματοποίηση προσπέρασης με την παρουσία επερχόμενου οχήματος.

Οι υποκείμενες υποθέσεις είναι ότι σε περιβάλλον προσομοιωτή, παρατηρούνται πιο επικίνδυνες συμπεριφορές στις προσπεράσεις λόγω έλλειψης επικινδυνότητας καθώς και λόγω του ότι η περιορισμένη ανάλυση οθόνης μπορεί να κάνει δύσκολη την ανίχνευση οχημάτων αντίθετης τροχιάς, συμβάλλοντας σε μία πιο επικίνδυνη συμπεριφορά.

Μεθοδολογία:

Η μεθοδολογία βασίζεται στη σύγκριση σημαντικών μεταβλητών που χαρακτηρίζουν μία προσπέραση, δηλαδή τον χρόνο και την απόσταση που χρειάστηκε από την εκκίνηση μέχρι την ολοκλήρωση της προσπέρασης, καθώς και τον χρόνο ενδεχόμενης σύγκρουσης με όχημα αντίθετης τροχιάς. Αυτές οι μεταβλητές, λήφθηκαν από μελέτη σε οδικό περιβάλλον στην Ισπανία, καθώς και από σχετική μελέτη προσομοιωτή οδήγησης στο Ισραήλ.

Μελέτη σε οδικό περιβάλλον:

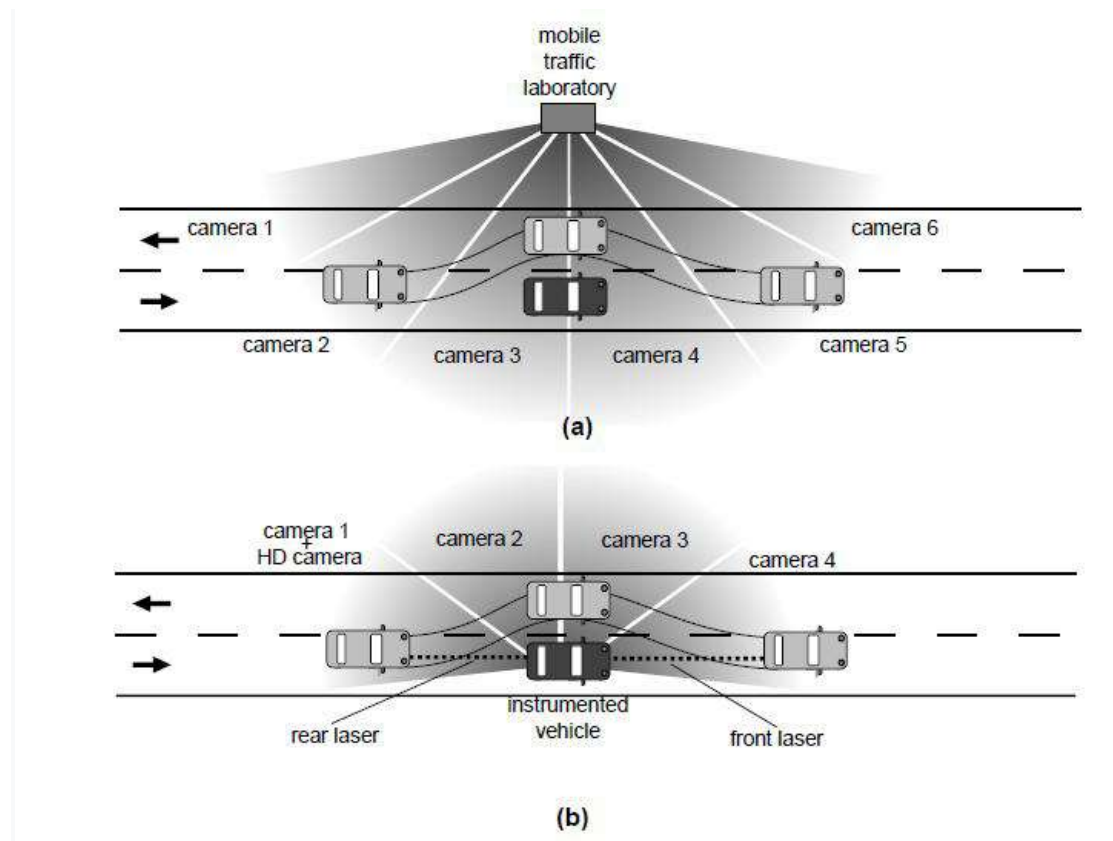
Η συγκεκριμένη μελέτη, έλαβε δεδομένα από 781 ελιγμούς χρησιμοποιώντας δύο μεθοδολογίες σε 10 τμήματα οδών δύο λωρίδων. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν την καταγραφή βίντεο των προσπεράσεων χωρίς την παρέμβαση των παρατηρητών. Οι μέθοδοι αυτές ήταν η **στατική** και η **δυναμική**.

Στατική μέθοδος:

Εγγραφή βίντεο από εξωτερικές κάμερες σταθερής θέσης σε 24 ζώνες προσπέρασης σε 8 τμήματα δρόμου. Η αρθρωτή πλατφόρμα, mobile traffic laboratory (MTL) , στάθμευσε δίπλα στην οδό δύο λωρίδων. Το MTL αποτελείται από έξι ψηφιακές βιντεοκάμερες εγκατεστημένες στην κορυφή σε ύψος 11 μέτρων.

Δυναμική μέθοδος:

Χρησιμοποιήθηκαν δύο οχήματα, ένα επιβατικό και ένα φορτηγό, με εγκατεστημένα όργανα μέτρησης. Στόχος ήταν να τα προσπεράσουν άλλα οχήματα συλλέγοντας δεδομένα αυτών των προσπεράσεων. Τα οχήματα οδηγήθηκαν σε 6 τμήματα οδών. Σε 4 από αυτά τα τμήματα εφαρμόστηκε και η **στατική μέθοδος**, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι η δυναμική μέθοδος δεν επηρέασε την συμπεριφορά του οδηγού. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης αυτής έδειξε ότι, δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων λαμβάνοντας πάντα υπόψη τους χρόνους προσπέρασης. Η Εικόνα 2.3 συνοψίζει τη διαδικασία συλλογής δεδομένων.



Εικόνα 2.3 Στατική και Δυναμική μέθοδος παρατήρησης προσπεράσεων

Παρατηρήθηκαν συνολικά 20 ζώνες διέλευσης με μήκος που κυμαίνεται μεταξύ 99 και 1.855 μέτρων χρησιμοποιώντας τη στατική μέθοδο. Η δυναμική μέθοδος παρείχε πολύ ακριβείς πληροφορίες για την απόσταση μεταξύ των οχημάτων κατά την πραγματοποίηση της προσπέρασης. Καταγράφηκαν συνολικά 848 τιμές αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων, από δείγμα 282 οδηγών, οι οποίοι χαρακτηρίστηκαν από το φύλο και την ηλικία τους.

Μελέτη σε περιβάλλον προσομοιωτή:

Σχεδιασμός πειράματος:

Σε αυτήν την μελέτη, έγινε χρήση του προσομοιωτή οδήγησης STISIM. Το σενάριο οδήγησης ήταν συνήθως σε τμήμα οδού δύο λωρίδων συνολικού μήκους 7.5 χιλιομέτρων, χωρίς διασταυρώσεις και με μηδενική κλίση εδάφους. Η κυκλοφορία και ο γεωμετρικός σχεδιασμός της οδού ποικίλλουν, ώστε να είναι σε θέση να εκτιμήσουν το αντίκτυπο τους στις διάφορες αποφάσεις και συμπεριφορές των οδηγών. Επιπρόσθετα, θεωρήθηκε καλός καιρός και συνθήκες ημέρας, δηλαδή καλή ορατότητα. Συνολικά δημιουργήθηκαν 16 διαφορετικά σενάρια που περιλάμβαναν 4 κύριους παράγοντες σε δύο επίπεδα όπως περιγράφεται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4 Παράγοντες δημιουργίας σεναρίων

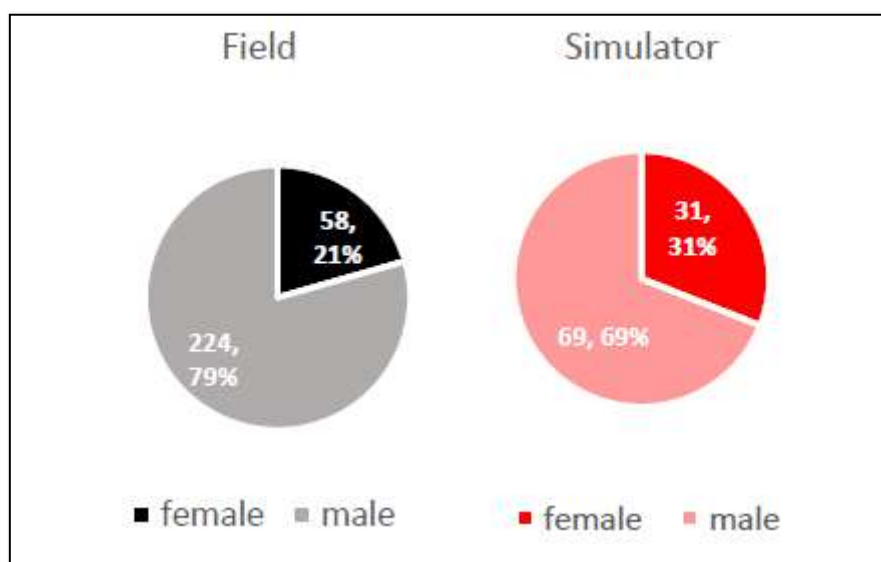
Factor	Level	
	High	Low
Geometric design	Lane width: 3.75 m, Shoulder width: 2.25 m	
	Curve radius: 1500-2500 m	Curve radius: 300-400 m
Passing gaps in the opposite lane	Drawn from truncated negative exponential distributions	
	Mean: 10.3 s	Mean: 18.0 s
	Min: 5.0 s, Max: 25.0 s	Min: 9.0 s., Max: 31.0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

Συμμετέχοντες:

Σχετικά με τους συμμετέχοντες, οι ενδιαφερόμενοι οδηγοί έπρεπε να πληρούν τα παρακάτω κριτήρια:

- Κατοχή διπλώματος οδήγησης τουλάχιστον 5 χρόνια.
- Να οδηγούν σε τακτική βάση.

Από τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να οδηγούν όπως συνηθίζουν στην πραγματικότητα, ενώ ολοκλήρωσαν ένα σενάριο εξοικείωσης για να συνηθίσουν τον προσομοιωτή. Ως αποτέλεσμα, στο πείραμα 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. Στην Εικόνα 2.4 φαίνεται η κατανομή των συμμετεχόντων σε οδικό περιβάλλον και σε περιβάλλον προσομοιωτή.



Εικόνα 2.4 Κατανομή συμμετεχόντων σε πραγματικό περιβάλλον και περιβάλλον προσομοιωτή

Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων:

Κύριος στόχος αυτής της μελέτης ήταν να καταγράψει τις συμπεριφορές και τις αποφάσεις των οδηγών να πραγματοποιήσουν ή να απορρίψουν κάποια ενδεχόμενη προσπάθεια, με γνώμονα την απόσταση του οχήματος τους από το προπορευόμενο όχημα καθώς και την απόσταση από το επερχόμενο, αντίθετης κατεύθυνσης όχημα, για τα διαφορετικά σενάρια κυκλοφορίας και γεωμετρίας οδού. Για την επίτευξη αυτού το στόχου, συλλέχθηκαν λεπτομερή δεδομένα πορείας των οχημάτων και των χαρακτηριστικών των οδηγών. Τα δεδομένα τροχιάς περιλάμβαναν ταχύτητες, θέσεις και επιτάχυνση του οχήματος και όλων των άλλων οχημάτων σε ανάλυση 0.1 second. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, υπολογίστηκαν αρκετές άλλες μεταβλητές ενδιαφέροντος, όπως σχετικές ταχύτητες και αποστάσεις μεταξύ οχημάτων. Οι προσπεράσεις που ολοκληρώθηκαν ήταν συνολικά 487.

Αποτελέσματα:

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο μεθόδων, οδηγούν στις ακόλουθες συστάσεις και προτάσεις για τη βελτίωση της χρήσης προσομοιωτών οδήγησης σε μελλοντικές μελέτες:

- Τα σενάρια προσομοιωτή οδήγησης για την μελέτη προσπεράσεων θα πρέπει να περιλαμβάνουν περιορισμούς ορατότητας, δηλαδή σενάρια για διαφορετικές καιρικές συνθήκες.
- Δημιουργία σεναρίων στον προσομοιωτή οδήγησης με πραγματικές κατανομές ταχύτητας, αφού στην συγκεκριμένη μελέτη οι ταχύτητες των οχημάτων που κλήθηκαν να προσπεράσουν ήταν αρκετά χαμηλές, με αποτέλεσμα η μέγιστη ταχύτητα που παρατηρήθηκε να μην ξεπερνά τα 60χλμ/ώρα.
- Τέλος για την επίτευξη πιο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων σε περιβάλλον προσομοιωτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ανταμοιβής για την ενθάρρυνση των συμμετεχόντων να οδηγούν σαν να είναι υπό πραγματικές συνθήκες.

2.2.6 Verification of the Existing Model for Passing Sight Distance on Single Two-Lane Rural Carriageways, 2015 [6]

Στόχος:

Ο στόχος της μελέτης αυτής είναι να επικυρώσει ή να βελτιώσει το μοντέλο ορατότητας προσπέρασης που χρησιμοποιείται αυτήν την στιγμή.

Μεθοδολογία:

Για την καταγραφή προσπεράσεων και όγκου κυκλοφορίας χρησιμοποιήθηκαν ένα αερομεταφερόμενο σύστημα καταγραφής δεδομένων μέτρησης (drone), το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.5, καθώς και ένα σύστημα ραντάρ αντίστοιχα. Με την επιλεγμένη μεθοδολογία, μπορούν να ληφθούν αποτελέσματα χωρίς να επηρεάζονται οι οδηγοί.



Εικόνα 2.5 Drone καταγραφής δεδομένων

Αποτελέσματα:

Σε αυτή τη μελέτη, καταγράφηκαν συνολικά 1.158 προσπεράσεις σε σχεδόν 90 ώρες πτήσης. Οι 938 από αυτές ήταν μεμονωμένες, δηλαδή κάποιος οδηγός προσπερνούσε μόνο ένα όχημα. Οι υπόλοιπες ήταν πολλαπλές. Η ανάλυση της ταχύτητας έδειξε ότι, κατά την προσπέραση, τα οχήματα ξεκινούν να επιταχύνουν μέσα στην δική τους λωρίδα πριν εισέλθουν στην αντίθετη λωρίδα και ξεκινήσουν τον ελιγμό. Έτσι κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- Μόλις το 50 % των οχημάτων ξεπερνούν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα και αυτό κατά το τέλος της προσπέρασης.
- Παρατηρήθηκε μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση με την ταχύτητα του προπορευόμενου.
- Η ορατότητα προσπέρασης εξαρτάται από το όχημα που πραγματοποιεί την προσπέραση και από το διερχόμενο όχημα αντίθετης λωρίδας που πλησιάζει.

- Προκείμενου να προκύψουν πληροφορίες για την κατανομή των ζωνών προσπέρασης και που επιτρέπεται ή όχι η πραγματοποίηση της, χρειάζεται ανάλυση του αριθμού των προσπεράσεων που πραγματοποιούνται σε σχέση με τον όγκο κυκλοφορίας, δηλαδή σε τι ποσοστό χαμηλού όγκου κυκλοφορίας η ανάγκη για προσπέραση αυξάνεται και σε τι ποσοστό υψηλού όγκου κυκλοφορίας η προσπέραση πρέπει να είναι απαγορευτική.

2.2.7 Passing Sight Distance Assessment through the Interaction of Road-Vehicle Parameters, 2019 [7]

Στόχος:

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ δυναμικών παραμέτρων του οχήματος και γεωμετρίας δρόμου κατά τη διάρκεια της προσπέρασης.

Μεθοδολογία:

Η ανάλυση στοχεύει να παραδώσει ένα εργαλείο για την τυποποίηση της διαδικασίας προσπέρασης στο συνεχώς εξελισσόμενο ADAS στα οχήματα. Η διαδικασία, υποθέτοντας συνθήκες ελεύθερης ροής, περιλαμβάνει τη συνεισφορά τριών οχημάτων.

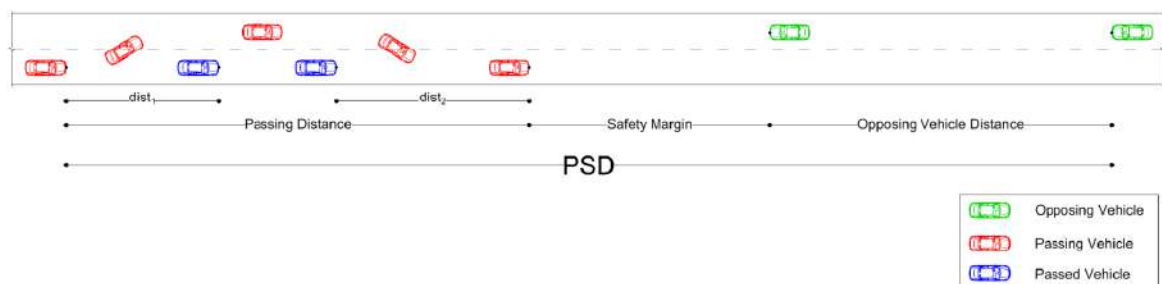
1. Το όχημα που πραγματοποιεί την προσπέραση.
2. Το προπορευόμενο όχημα.
3. Το όχημα αντίθετης κατεύθυνσης.

Και τα τρία οχήματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά κίνησης, όπου εφαρμόστηκαν τα ακόλουθα κριτήρια:

- η ταχύτητα και των τριών οχημάτων δεν υπερβαίνει ποτέ την καταγεγραμμένη ταχύτητα του δρόμου
- η κίνηση του οχήματος που προσπερνάται, βρίσκεται σε συνθήκες σταθερής ταχύτητας με τιμή μικρότερη του σχετικού ορίου.
- η κίνηση του οχήματος αντίθετης κατεύθυνσης, βρίσκεται επίσης σε συνθήκες σταθερής ταχύτητας με τιμή ίση του σχετικού ορίου της οδού.
- Η κίνηση του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση βρίσκεται σε φάση επιτάχυνσης. Ωστόσο, η αρχική τιμή ταχύτητας κατά τη φάση εκκίνησης ορίζεται ισοδύναμη με τη σχετική ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος και αυξάνεται συνεχώς έως ότου φτάσει στο όριο ταχύτητας για τον εν λόγω δρόμο, όπου έπειτα παραμένει σταθερή.
- η απόσταση (dist1) μεταξύ του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση και του προπορευόμενου, στην αρχική φάση της διαδικασίας προσπέρασης θεωρήθηκε 15m.

- η απόσταση (dist2) μεταξύ του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση και του προπορευόμενου, στην τελική φάση της διαδικασίας προσπέρασης θεωρήθηκε 30m.
- το περιθώριο ασφαλείας ορίστηκε στη σταθερή τιμή των 100m, η οποία στην πραγματικότητα μπορεί να ερμηνευτεί ως περιθώριο ασφαλείας περίπου 3,5 δευτερολέπτων για ταχύτητα 100km/h.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συνοψίζονται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6 Χαρακτηριστικά σεναρίου προσπέρασης

Δεδομένου ότι η ταχύτητα του διερχόμενου οχήματος θεωρείται σταθερή, όταν είναι γνωστή η επιτάχυνση του διερχόμενου οχήματος, μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα η σχετική απόσταση μεταξύ του διερχόμενου και του προπορευόμενου οχήματος. Στην συνέχεια έγινε μοντελοποίηση των δεδομένων και βρέθηκαν τα αποτελέσματα.

Αποτελέσματα:

- η διαφορά ταχύτητας (ΔV) μεταξύ του οχήματος που προσπερνάται και του σχετικού 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 διασταυρώσεις είναι επίσης παράγοντες που ενδεχομένως να προκαλέσουν επιπλέον προβλήματα.

Συμπερασματικά, ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία επιτάχυνσης, δημιουργώντας πρόσθετους περιορισμούς και, κατά συνέπεια, να επηρεάσει την απόδοση ασφαλείας του οχήματος.

2.2.8 Modeling Passing Behavior on Two-Lane Rural Highways-Evaluating Crash Risk under Different Geometric Configurations 2013 [8]

Στόχος:

Στην συγκεκριμένη μελέτη διερευνήθηκε το πως οι συνθήκες κυκλοφορίας επηρεάζουν τις προσπεράσεις, κάτω από διαφορετικές γεωμετρικές διαμορφώσεις και για διαφορετικές ομάδες οδηγών, σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι οδηγοί λαμβάνουν αποφάσεις για έναρξη της διαδικασίας προσπέρασης. Η έρευνα συγκέντρωσε δεδομένα:

- 1) Σε περιβάλλον προσομοιωτή.
- 2) Σε οδικό περιβάλλον.

Το σύνολο αυτών των δεδομένων θα βοηθήσει στην περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη μοντέλων με σκοπό τον προσδιορισμό των αποφάσεων των οδηγών να πραγματοποιήσουν μία προσπέραση σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων. Επιπλέον, θα βοηθούσε τους μηχανικούς σχεδιασμού οδών να κατανοήσουν και να προβλέψουν καλύτερα την συμπεριφορά των οδηγών. Αυτή η γνώση, θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην ασφάλεια και την ποιότητα εξυπηρέτησης των υπεραστικών οδών και να μειώσει τόσο το κοινωνικό όσο και το οικονομικό κόστος των συγκρούσεων.

Μεθοδολογία:

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω συγκεντρώθηκαν δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων: Δεδομένα βασισμένα σε **προσομοιωτή** και δεδομένα βασισμένα σε παρατηρήσεις και μετρήσεις σε **οδικό περιβάλλον** μέσω βίντεο.

Η μελέτη προσομοιωτή οδήγησης αφορούσε παράγοντες που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων σε *στρατηγικό* και *τακτικό* επίπεδο.

Σε *στρατηγικό* επίπεδο, εξετάστηκε εάν η πυκνότητα της επικείμενης κυκλοφορίας επηρέασε τις αποφάσεις των οδηγών να πραγματοποιήσουν μία προσπέραση.

Σε *τακτικό επίπεδο*, εξετάστηκε η επιρροή της γεωμετρίας του δρόμου και της απόστασης μεταξύ των οχημάτων στις αποφάσεις των οδηγών. Επιπλέον, εξετάστηκαν δείγματα τόσο έμπειρων όσο και λιγότερο έμπειρων οδηγών. Τέλος, μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του προσομοιωτή οδήγησης και των πραγματικών συνθηκών, μπορεί να διαπιστωθεί εάν οι συμπεριφορές των χρηστών του προσομοιωτή οδήγησης είναι αντιπροσωπευτικές της πραγματικής οδήγησης.

Αποτελέσματα:

- Η γεωμετρία της οδού επηρεάζει τις αποφάσεις για την πραγματοποίηση προσπέρασης, στον προσομοιωτή οδήγησης.
- Παρατηρήθηκε μείωση του αριθμού των πραγματοποιούμενων προσπεράσεων όταν ο όγκος κυκλοφορίας ήταν υψηλός.

- Οι οδηγοί που αντιμετωπίζουν χαμηλότερο όγκο κυκλοφορίας είναι πιο πιθανό να πραγματοποιήσουν επικίνδυνους ελιγμούς.
- Οι ευθυτενείς χαράξεις αυξάνουν την πιθανότητα πραγματοποίησης προσπεράσεων.
- Η προσπέραση σε ευθείες γίνεται συνήθως με χαμηλότερη ταχύτητα από τη μέγιστη επιτρεπόμενη.

Τα ευρήματα αυτά, οδηγούν στο τελικό συμπέρασμα ότι **η πραγματοποίηση ομαλής και ασφαλούς προσπέρασης βελτιώνεται για ευθυτενείς χαράξεις και ήπιες κλίσεις.**

2.2.9 Using Field and Simulation Data to Assess Passing Zone Behavior on Rural Two-Lane Highways, 2018 [9]

Στόχος:

Στόχος της μελέτης αυτής είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης της οριζόντιας και κατακόρυφης καμπυλότητας του δρόμου στην συμπεριφορά του οδηγού όσον αφορά στην πραγματοποίηση μίας προσπέρασης.

Μεθοδολογία:

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης της οριζόντιας και κατακόρυφης καμπυλότητας του δρόμου στην συμπεριφορά του οδηγού κατά την προσπέραση, πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων μέσω προσομοιωτή οδήγησης σε συνδυασμό με συλλογή δεδομένων από μετρήσεις σε οδικό περιβάλλον. Οι περιοχές που έγιναν οι μετρήσεις αφορούν το Τμήμα Μεταφορών και Δημόσιων Εγκαταστάσεων της Αλάσκας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε αυτές τις περιοχές, χρησιμοποιήθηκαν για την βελτίωση του προσομοιωτή οδήγησης.

Αποτελέσματα:

Οδικό περιβάλλον:

Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις έδειξαν ότι και στα τρία τμήματα της εθνικής οδού:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό των οχημάτων που πραγματοποίησαν προσπέραση ξεπέρασαν το όριο ταχύτητας κατά 10 mph (16,1 km/h).
- Η μέση αρχική ταχύτητα των οχημάτων που πραγματοποίησαν προσπέραση ξεπέρασε το όριο ταχύτητας κατά 2 mph (3,2 km/h).
- Σημαντικός ήταν ο αριθμός προσπεράσεων που ξεκίνησαν νωρίτερα και τελείωσαν αργότερα απ' ό,τι έπρεπε με αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν για περισσότερο χρόνο την αντίθετη λωρίδα σε σχέση με τις προσπεράσεις των οποίων η εκκίνηση και ο τερματισμός ήταν εντός ορίων.

Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι ενδέχεται να μην είναι ακατάλληλες οι ζώνες προσπέρασης αλλά να είναι ακατάλληλη η συμπεριφορά του

οδηγού, πράγμα το οποίο μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ασφάλεια.

Περιβάλλον προσομοιωτή:

Στη μελέτη του προσομοιωτή, φάνηκε ότι η οριζόντια και κατακόρυφη καμπυλότητα παίζουν σημαντικό ρόλο στα χαρακτηριστικά των προσπεράσεων, σε συνδυασμό με την ταχύτητα, τον συνολικό χρόνο και την απόσταση μεταξύ του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση και του επικείμενου οχήματος. Οι οδηγοί ήταν λιγότερο πιθανό να ξεκινήσουν κάποια προσπέραση σε δεξιόστροφες καμπύλες σε σχέση με ευθυγραμμίες ή αριστερόστροφες καμπύλες. Τέλος, η απόσταση του επικείμενου οχήματος από το όχημα που πραγματοποιεί την προσπέραση στην αρχή και στο τέλος της διαδικασίας, μπορεί να έχει επιπτώσεις που αφορούν στην ασφάλεια λόγω του κινδύνου συγκρούσεων όταν οι αποστάσεις αυτές είναι μικρές.

2.2.10 Passing Path Assessment based on Driving Simulator Experiment 2020 [10]

Στόχος:

Η συγκεκριμένη μελέτη ερευνά τη τροχιά προσπέρασης αυτόνομων οχημάτων μέσω προσομοιωτή οδήγησης, δίνοντας παραπάνω έμφαση στις πλευρικές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων στα κρίσιμα σημεία της προσπέρασης. Πιο συγκεκριμένα τα κρίσιμα σημεία αφορούν την Φάση 1 κατά την οποία το όχημα ξεκινάει την προσπέραση και την Φάση 3 όπου το όχημα επανέρχεται στην αρχική του λωρίδα κατά την ολοκλήρωση της προσπέρασης.

Μεθοδολογία:

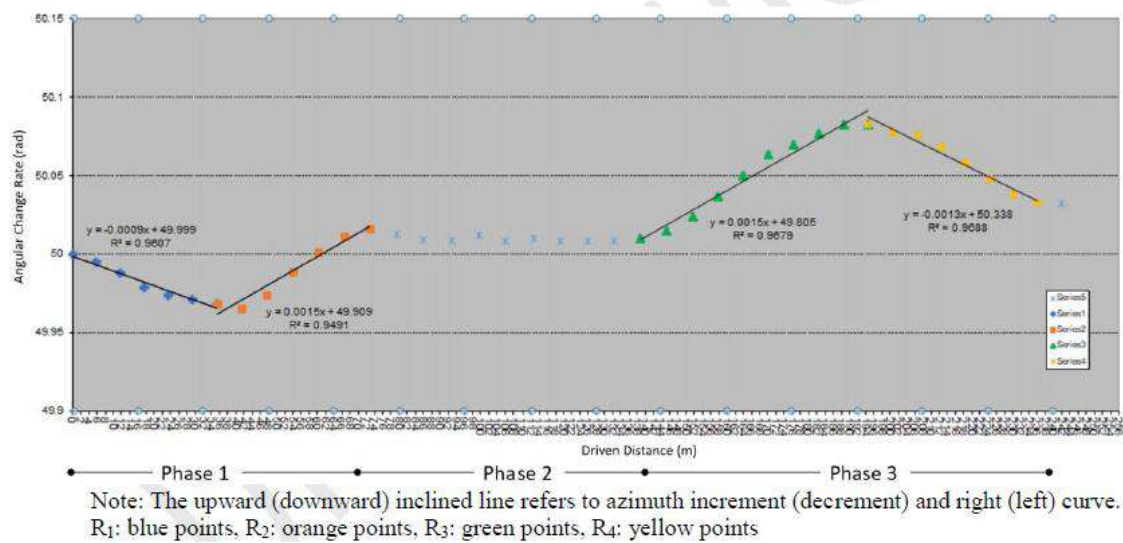
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, αφορά συνθήκες ελεύθερης ροής κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν προσπεράσεις μέσω προσομοιωτή οδήγησης με το σενάριο οδήγησης να χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- Κανένα από τα δύο οχήματα, το όχημα που πραγματοποιεί την προσπέραση και το προπορευόμενο, δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει τα όρια ταχύτητας που αναγράφονται.
- Η διαδικασία προσπέρασης πραγματοποιήθηκε για δύο διαφορετικά σενάρια ταχύτητας 70km/h και 90km/h.
- Το προπορευόμενο όχημα έχει σταθερή ταχύτητα 20km/h μικρότερη από το εκάστοτε όριο ταχύτητας.
- Το όχημα που πραγματοποιεί την προσπέραση εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση, χωρίς να ξεπερνά το όριο ταχύτητας κάθε σεναρίου.

Οι προσπεράσεις πραγματοποιήθηκαν σε προσομοιωτή οδήγησης από συνολικά 31 συμμετέχοντες εκ των οποίων 15 ήταν άντρες και 16 γυναίκες, ηλικίας από 20 έως 27 ετών. Οι έγκυρες προσπεράσεις που καταγράφηκαν και επεξεργάστηκαν ήταν στο σύνολο τους 63.

Τα δεδομένα που λήφθηκαν από τις δοκιμές στον προσομοιωτή, επεξεργάστηκαν μέσω του γωνιακού διαγράμματος στο οποίο φαίνεται η

τροχιά ελιγμού που καταγράφει το όχημα και οι τέσσερις ακτίνες που δημιουργούνται, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.7.



Εικόνα 2.7 Ακτίνες προσπέρασης γωνιακού διαγράμματος

Μεταξύ άλλων μεταβλητών που υπολογίστηκαν δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις μεταβλητές αυτές των πλευρικών αποστάσεων κατά τη φάση 1 (Εικόνα 2.8) και φάση 3 (Εικόνα 2.9). Πιο συγκεκριμένα:

Φάση 1



Εικόνα 2.8 Πρώτη φάση προσπέρασης

Κατά την πρώτη φάση της προσπέρασης, είναι κρίσιμο να βρεθούν οι πλευρικές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων στο σημείο στο οποίο μηδενίζεται η μεταξύ τους απόσταση, δηλαδή το σημείο εκείνο στο οποίο υπάρχει ενδεχόμενο σύγκρουσης μεταξύ των οχημάτων. Η **απόσταση X** στην Εικόνα 2.8, εκφράζει την απόσταση που διανύει το όχημα που πραγματοποιεί την προσπέραση μέχρι να μηδενιστεί η μεταξύ τους απόσταση. Στο σημείο αυτό, υπολογίζονται οι πλευρικές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων (**lateral safety margin**) καθώς και με το αριστερό άκρο του δρόμου (**lateral X**), ενώ βρέθηκε και ο **χρόνος** που χρειάστηκε για να φτάσει εκεί, μέσω του οποίου έγινε ο υπολογισμός της **ταχύτητας** και της **επιτάχυνσης** του σε εκείνο το σημείο. Τα παραπάνω υπολογίστηκαν με βάση τους τύπους:

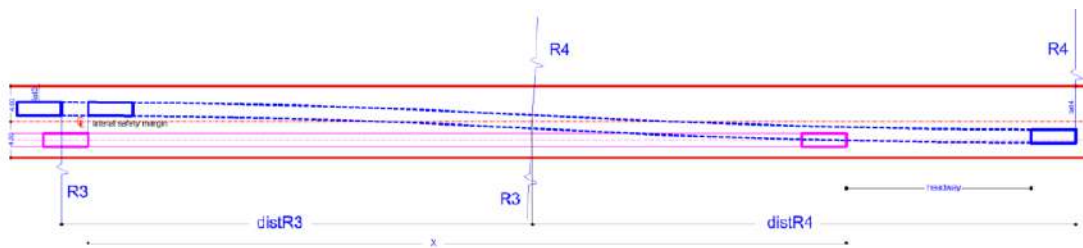
$$t = 3.6 \cdot \frac{X - \text{Headway}}{V - 20} \quad (2.1)$$

$$Vx = 3.6 \cdot \left(\frac{V}{3.6} + a \cdot t \right) \quad (2.2)$$

$$a = 2 \cdot \frac{X \cdot \left(\frac{V-20}{3.6} \right) \cdot t}{t^2} \quad (2.3)$$

Αντίστοιχα, για την **τρίτη φάση** της προσπέρασης έγινε υπολογισμός του X , για το οποίο θεωρήθηκε ότι και **τα δύο οχήματα κινούνται με σταθερή ταχύτητα**. Η απόσταση X , η οποία φαίνεται και στην Εικόνα 2.9, υπολογίστηκε με βάση τον τύπο:

$$3.6 \cdot \frac{X}{V - 20} = \frac{X + \text{Headway}}{V} \cdot 3.6 \quad (2.4)$$



Εικόνα 2.9 Τρίτη φάση προσπέρασης

Στη θέση αυτή υπολογίστηκαν αντίστοιχα και η πλευρική απόσταση μεταξύ των οχημάτων καθώς και με το αριστερό άκρο του δρόμου (**lateral safety margin & lateral X**).

Πρέπει να σημειωθεί, ότι για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των μεταβλητών όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5 Μέσες τιμές μεταβλητών

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

Αποτελέσματα:

Το σύνολο των αποτελεσμάτων για τις δύο αυτές φάσεις παρατίθεται παρακάτω με μορφή πινάκων (Πίνακας 2.6, Πίνακας 2.7, Πίνακας 2.8).

Πίνακας 2.6 Αποτελέσματα τιμών απόστασης X και εγκάρσιων αποστάσεων για την Φάση 1

Values (determined)	V=70km/h	V=90km/h
Point X lateral (latX) - Phase 1 (m)	3.05	2.75
X (m)	59.30	77.63
lateral safety margin (m)	0.75	1.05

Πίνακας 2.7 Αποτελέσματα τιμών χρόνου, επιτάχυνσης και ταχύτητας για την Φάση 1

Values	V=70km/h	V=90km/h
t (sec)	3.62	3.53
a – constant (m/sec ²)	1.37	1.44
V _X (km/h)	67.9	88.4

Πίνακας 2.8 Αποτελέσματα τιμών απόστασης X και εγκάρσιας απόστασης για την Φάση 3

Values (determined)	V=70km/h	V=90km/h
X (m)	72.5	73.50
lateral safety margin (m)	2.09	1.89

Η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των οχημάτων είναι μεγαλύτερη για την 3^η φάση της προσπέρασης, ενώ στην 1^η φάση είναι οριακή. Για τον λόγο αυτό προτείνεται και παραπάνω έρευνα στο συγκεκριμένο κομμάτι, ενώ ταυτόχρονα είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη και η επιρροή του ανθρώπινου παράγοντα.

3. Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρεται στο θεωρητικό υπόβαθρο μέσω του οποίου έγινε η **συλλογή** και στην συνέχεια η **επεξεργασία** των δεδομένων που αφορούν την παρούσα διπλωματική εργασία. Η συλλογή δεδομένων προσπέρασης έγινε μέσω **προσομοιωτή οδήγησης** για υπεραστική οδό δύο λωρίδων. Ακολούθησε η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων μέσω του **γωνιακού διαγράμματος** και στη συνέχεια έγινε εξαγωγή μοντέλων μέσω **γραμμικής και λογαριθμικής γραμμικής παλινδρόμησης** χρησιμοποιώντας γλώσσα προγραμματισμού **R studio**.

3.2 Προσομοιωτής οδήγησης

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

- Θέση οδηγού οχήματος μάρκας Ford , το οποίο περιλαμβάνει:
 - Κάθισμα οδηγού (ρυθμιζόμενο)
 - λεβιέ χειροκίνητων ταχυτήτων (5 ταχύτητες και όπισθεν)
 - Τιμόνι (D=27 cm)
 - χειρόφρενο
 - ζώνη ασφάλειας
 - μοχλό ένδειξης φλας (τοποθετημένος αριστερά)
 - μοχλός υαλοκαθαριστήρων (τοποθετημένος δεξιά)
 - Διακόπτης ρύθμισης φωτισμού
 - Διακόπτης ρύθμισης θέσης καθρεπτών
 - Ποδόπληκτρα: (συμπλέκτης, επιτάχυνσης, επιβράδυνσης)
 - Καντράν με ένδειξη ταχύτητας και στροφών



Εικόνα 3.1. Προσομοιωτής οδήγησης

- Τρείς οθόνες Plasma. Οι οθόνες ήταν τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη, με την μεσαία να βρίσκεται ακριβώς μπροστά από το κάθισμα του οδηγού (Εικόνα 3.2), απεικονίζοντας την εικόνα που έχει ο οδηγός όταν κοιτάει τον δρόμο κατά τη διάρκεια της κίνησης, και τις άλλες δύο οθόνες να είναι τοποθετημένες με πλάγιο τρόπο δεξιά και αριστερά απεικονίζοντας την εικόνα που έχει ο οδηγός όταν κοιτάει από τους πλαϊνούς καθρέπτες.
- Κεντρικό σύστημα υπολογιστή, το οποίο συνδέει τις οθόνες με το όχημα και καταγράφει τα χαρακτηριστικά της κάθε δοκιμής συλλέγοντας δεδομένα. Ο προσομοιωτής δίνει την δυνατότητα δημιουργίας πολλών διαφορετικών ρεαλιστικών σεναρίων και συνθηκών οδήγησης που αφορούν στην κυκλοφορία, στον τύπο της οδού καθώς και στις καιρικές συνθήκες. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, οι χρήστες πραγματοποίησαν προσπεράσεις σε υπεραστική οδό δύο λωρίδων χωρίς διέλευση υπερκείμενων οχημάτων το οποίο θα αναλυθεί λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.2 Προβολή οδικού τμήματος μέσω του προσομοιωτή οδήγησης

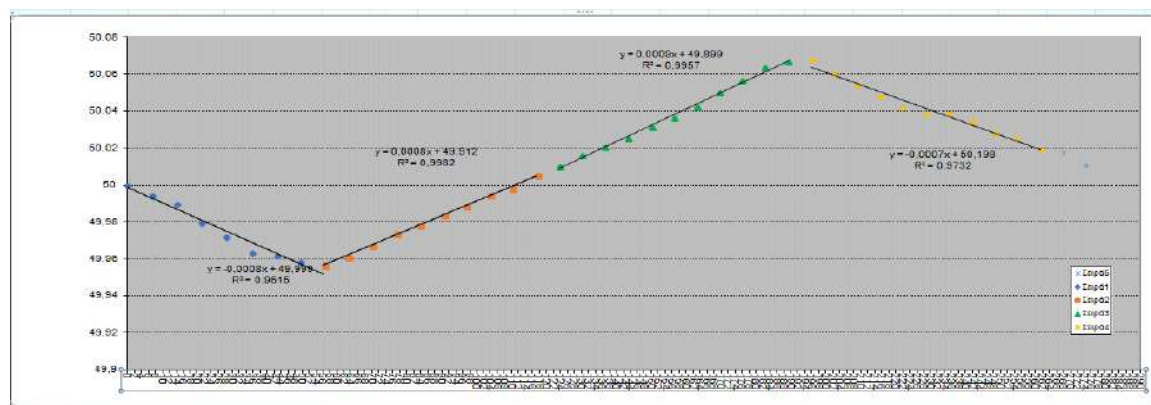
3.3 Γωνιακό Διάγραμμα

Το γωνιακό διάγραμμα εκφράζει μία μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό στοιχείων χάραξης από συντεταγμένες. Αποτελεί πολύ βασικό εργαλείο για την αναγνώριση και επεξεργασία των γεωμετρικών στοιχείων από τα οποία αποτελείται η τροχιά της προσπέρασης. Για την πραγματοποίησή αυτού, είναι απαραίτητη η γνώση των συντεταγμένων της

τροχιάς του οχήματος κατά τη διαδικασία προσπέρασης, οι οποίες προκύπτουν από την καταγραφή δεδομένων στον προσομοιωτή οδήγησης.

Η μέθοδος αυτή αναπτύσσεται σε υπολογιστικό φύλλο Excel, στο οποίο εκφράζονται οι χιλιομετρικές θέσεις κάθε σημείου και η σχέση του κάθε σημείου με το αζιμούθιο.

Στην περίπτωση του ελιγμού προσπέρασης, η τροχιά του ελιγμού δημιουργεί τέσσερις καμπύλες για την ολοκλήρωση του, για τις οποίες προσδιορίζονται οι ακτίνες καμπυλότητας. Πιο συγκεκριμένα, η κάθε μία ξεχωριστά προσδιορίζεται με βάση τη μεταβολή της γωνίας διεύθυνσης ως προς την απόσταση. Οι ακτίνες αυτές φαίνονται στην Εικόνα 3.3.

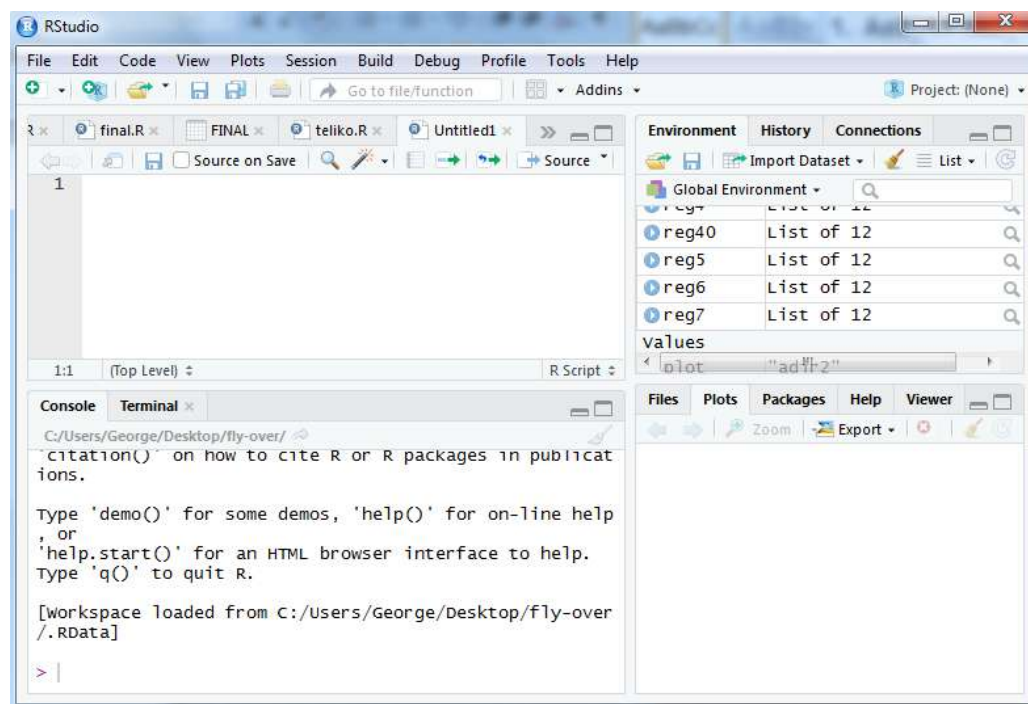


Εικόνα 3.3 Ακτίνες καμπυλότητας τροχιάς προσπέρασης

Η ανοδική πορεία αναπαριστά δεξιά στροφή σε αντίθεση με την καθοδική πορεία που αναπαριστά αριστερή. Ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2), για όλες τις καμπύλες προέκυψε άνω του 0.85, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι η υπόψη μέθοδος έχει ικανοποιητική ακρίβεια.

3.4 Υπολογιστικό περιβάλλον R

Η **R-studio** αποτελεί μία γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα με περιβάλλον που παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να κάνει υπολογιστική στατιστική και γραφήματα. Αρχικοί δημιουργοί ήταν οι Robert Gentleman και Ross Ihaka ενώ αργότερα συνέβαλλαν και άλλοι στην ανάπτυξή της. Παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία όπως είναι η δημιουργία τυχαίων δειγμάτων, διακριτές και συνεχείς μεταβλητές (Poisson, Gamma, Exponential κτλ), ελέγχους υποθέσεων, στατιστικά τεστ, δημιουργία γραφημάτων (ιστόγραμμα, qq plot και άλλα), προκειμένου να υλοποιηθεί μία στατιστική ανάλυση. Στην συγκεκριμένη μελέτη, γίνεται αξιοποίηση της R με σκοπό την προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης με τη δημιουργία γραμμικών μοντέλων, καθώς και τη δημιουργία διαγραμμάτων (boxplot) των μεταβλητών που κρίθηκε ότι επηρεάζουν την προσπέραση. Για την επίτευξη αυτού, χρησιμοποιήθηκε μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης (Linear regression) και λογαριθμικής γραμμικής παλινδρόμησης. Παρακάτω στην Εικόνα 3.4, φαίνεται το περιβάλλον προγραμματισμού R-studio.

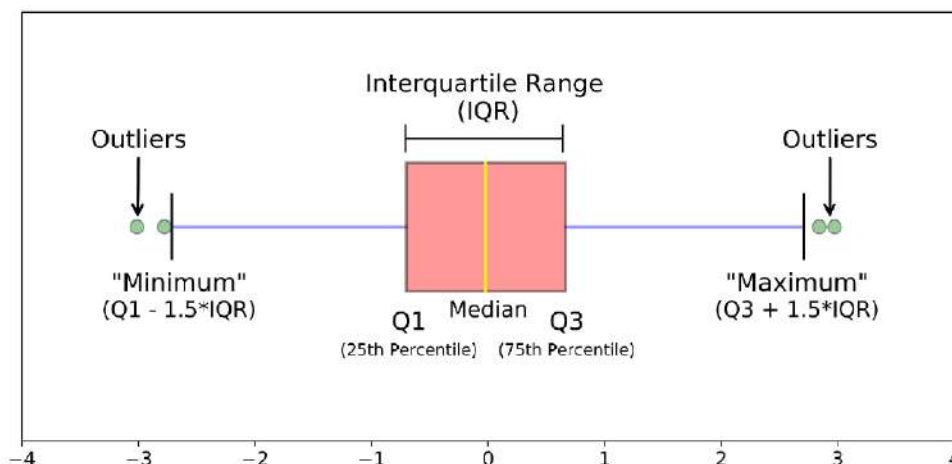


Εικόνα 3.4 R-studio

Στο πάνω αριστερά μέρος γράφεται ο κώδικας. Κάτω αριστερά στο Console εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Στο δεξί πάνω μέρος φαίνονται τα στοιχεία που εισέρχονται στο κώδικα και τέλος κάτω δεξιά εμφανίζονται τα διαγράμματα καθώς και πληροφορίες για τα υποπρογράμματα που χρησιμοποιούνται από την R-studio.

3.4.1 Boxplot

Το boxplot είναι ένας τρόπος γραφικής απεικόνισης αριθμητικών δεδομένων μίας σειράς παρατηρήσεων, που δημιουργείται με την εντολή `boxplot(name,y="name")`. Ένα παράδειγμα boxplot φαίνεται στην Εικόνα 3.5, όπου παριστάνει παρατηρήσεις κανονικής κατανομής.



Εικόνα 3.5 Ανάλυση Boxplot. Πηγή: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51?gi=66836ba2b673>

Q1 (First Quartile): Η τιμή Q1 είναι η μεσαία τιμή μεταξύ του μικρότερου αριθμού και της μέσης τιμής που αντιστοιχεί στο 25% των παρατηρήσεων.

Median: Η τιμή Median που φαίνεται με κίτρινη γραμμή, είναι η μέση τιμή του δείγματος και αντιστοιχεί στο 50% των παρατηρήσεων.

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

IQR (Interquartile Range): Εύρος μεταξύ Q1 και Q3.

Μέγιστη τιμή: *Maximum* ($Q3 + 1.5 \cdot IQR$)

Ελάχιστη τιμή: *Minimum* ($Q1 - 1.5 \cdot IQR$)

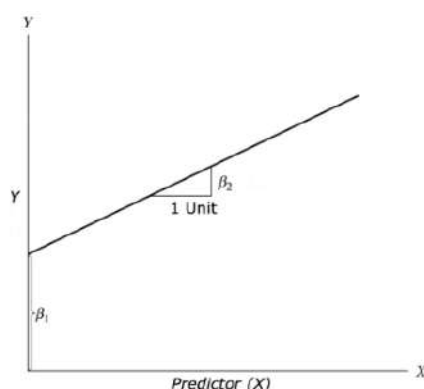
Outliers: Δείχνουν τις τιμές που είναι αρκετά μεγαλύτερες οι μικρότερες σε σχέση με το εύρος στο οποίο εμφανίζεται το υπόλοιπο δείγμα. Στην Εικόνα 3.5 απεικονίζονται με τη μορφή πράσινων κουκίδων.

3.4.2 Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης

Στόχος της, είναι η μοντελοποίηση μίας συνεχούς μεταβλητής Y ως μαθηματική συνάρτηση μίας ή περισσότερων μεταβλητών X , έτσι ώστε χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο να μπορούμε να υπολογίσουμε την μεταβλητή Y όταν είναι γνωστό μόνο το X . Αυτή η μαθηματική εξίσωση μπορεί να γενικευτεί ως εξής:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X + c$$

όπου, β_1 είναι η τομή και το β_2 είναι η κλίση. Αυτοί οι δύο συντελεστές ονομάζονται συντελεστές παλινδρόμησης, ενώ ο όρος c είναι ο όρος σφάλματος, δηλαδή το μέρος του Y το οποίο δεν μπορεί να εξηγήσει το μοντέλο. Η σχηματική απεικόνιση της εξίσωσης φαίνεται στην Εικόνα 3.6.



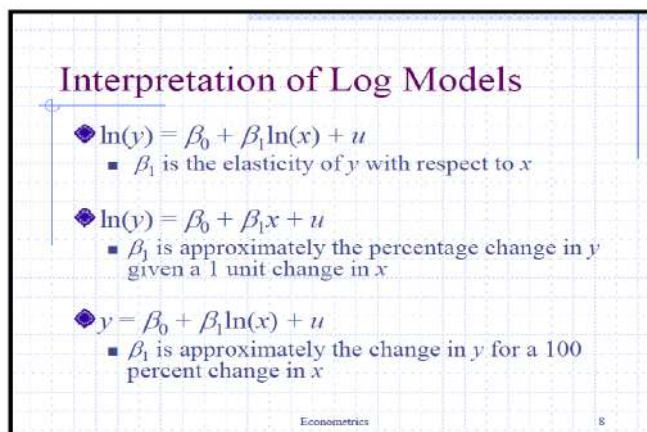
Εικόνα 3.6 Μορφή γραμμικού μοντέλου. Πηγή [12]

Η εκτίμηση των παραμέτρων στην γραμμική παλινδρόμηση πραγματοποιείται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

3.4.3 Λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση

Οι λογαριθμικοί μετασχηματισμοί μεταβλητών στα μοντέλα παλινδρόμησης είναι χρήσιμοι όταν δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Επιπρόσθετα, βοηθούν στη μετατροπή μίας μεταβλητής μεγάλης κλίσης σε διάγραμμα διασποράς με τιμές που έχουν πιο ήπια κλίση. Οι μαθηματικές σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφραστεί ένα λογαριθμικό μοντέλο φαίνονται στην Εικόνα 3.7, όπου ισχύει ότι:

- $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$
 - y : Εξαρτημένη μεταβλητή
 - β_0 : Σταθερός όρος
 - β_1 : συντελεστής λογαρίθμου της ανεξάρτητης μεταβλητής. Εκφράζει την ελαστικότητα της εξαρτημένης μεταβλητής y σε σχέση με την ανεξάρτητη μεταβλητή x .
- $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 x + u$
 - β_1 : ποσοστό μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής y για αλλαγή μιας μονάδας στην τιμή x .
- $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$
 - β_1 : μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής για 100% μεταβολή τιμής x .



Εικόνα 3.7 Μαθηματικές σχέσεις λογαριθμικών μοντέλων

3.5 Κριτήρια επιλογής μοντέλου

Υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέγεται ένα μοντέλο. Τα κριτήρια αυτά έχουν να κάνουν με τις τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών β_i , με την στατιστική σημαντικότητα (t-test), με τα μέτρα προσαρμογής (F-statistic, Std. Error, AIC, BIC), με την ποιότητα (R^2), με την συσχέτιση και με την τιμή σημαντικότητας (p-value).

3.5.1 Συντελεστές β_i

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

3.5.2 Student's t-test

Το t-test, γνωστό και ως Student's t-test, πήρε την ονομασία του από τον William Sealy Gosset ο οποίος προχώρησε ,για πρώτη φορά στην αγγλική λογοτεχνία, στη δημοσίευση του στο άρθρο με τίτλο Biometrika το 1908. Ο William, εργαζόμενος στην ζυθοποιία της Guinness στο Δουβλίνο, ενδιαφερόταν για τα προβλήματα των μικρών δειγμάτων – για παράδειγμα τις χημικές ιδιότητες του κριθαριού. Υιοθέτησε το ψευδώνυμο Student, αφού ο εργοδότης του προτιμούσε το προσωπικό να μην χρησιμοποιεί πραγματικά ονόματα κατά την δημοσίευση επιστημονικών άρθρων ενώ μία δεύτερη εκδοχή υποστηρίζει ότι η Guinness δεν ήθελε οι ανταγωνιστές τους να γνωρίζουν ότι χρησιμοποιούν το t-test για να καθορίσουν την ποιότητα της πρώτης ύλης.

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

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

Όπως φαίνεται, η τιμή του τυπικού σφάλματος (s.e: standard error) είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής του t. Δηλαδή όσο επιτυγχάνεται μείωση του τυπικού σφάλματος τόσο θα αυξάνεται και η τιμή του t. Το t μπορεί να πάρει θετικές και αρνητικές τιμές αφού εξαρτάται από το πρόσημο των συντελεστών παλινδρόμησης β_i. Οι μεγαλύτερες τιμές του t κατά απόλυτη τιμή, δείχνουν μεγαλύτερη στατιστική σημαντικότητα της εκάστοτε μεταβλητής που εξετάζεται. Πιο συγκεκριμένα για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, η τιμή του t είναι 1,96. Επομένως για να κριθεί μία μεταβλητή στατιστικά σημαντική και να συμπεριληφθεί στο δείγμα θα πρέπει η τιμή του t για την συγκεκριμένη αυτή μεταβλητή να είναι μεγαλύτερη του 1,96.

3.5.3 Μέτρα προσαρμογής

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

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

- Μέση τετραγωνική παλινδρόμηση: $MSR = \frac{\sum_i^n (y_i - \bar{y})}{(q-1)} = \frac{SST - SSE}{(q-1)}$
- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα: $MSE = \frac{SSE}{n-q}$
 - Άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων:
 $SSE = \sum ni(y_i - \hat{y}_i)$
 - Άθροισμα συνόλου τετραγώνων: $SST = \sum ni(y_i - \bar{y}_i)$
 - $\hat{y}_i$: Προσαρμοσμένη τιμή παρατήρησης i
 - $\bar{y}_i$: Μέση τιμή του Y
 - n: Αριθμός των παρατηρήσεων
 - q: Αριθμός των συντελεστών

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

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

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

- $AIC = -2 \cdot \ln(L) + 2 \cdot k$
- $BIC = -2 \cdot \ln(L) + k \cdot \ln(n)$
 - n: Αριθμός του δείγματος
 - k: Αριθμός παραμέτρων στο μοντέλο

3.5.4 Κριτήριο καλής προσαρμογής R^2 – Adjusted R^2

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

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

Οι όροι SSE και SST αναλύθηκαν παραπάνω.(Βλ. παράγραφο 3.5.3)

Πρόκειται για ένα στατιστικό μέτρο που δείχνει το πόσο κοντά είναι τα δεδομένα στην γραμμή παλινδρόμησης. Είναι ουσιαστικά, το ποσοστό της μεταβλητής απόκρισης που εξηγείται από ένα γραμμικό μοντέλο. Βρίσκεται πάντα μεταξύ 0% και 100%. Το 0% δείχνει ότι το μοντέλο δεν εξηγεί καμία από τις μεταβλητές δεδομένων απόκρισης σε αντίθεση με το 100% που δηλώνει ότι το μοντέλο εξηγεί όλη τη μεταβλητότητα των δεδομένων. Γενικά,

όσο υψηλότερο είναι το R^2 τόσο καλύτερα εκφράζει το μοντέλο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Το κριτήριο του **Προσαρμοσμένου (Adjusted) R^2** χρησιμοποιείται για τον καλύτερο έλεγχο της ποιότητας ενός μοντέλου, αφού όταν γίνεται πρόσθεση μεταβλητών στο μοντέλο, ο συντελεστής R^2 αυξάνεται συγκριτικά με το προηγούμενο μοντέλο λιγότερων μεταβλητών. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται το Προσαρμοσμένο R^2 το οποίο λαμβάνει υπόψη την χρήση περισσότερων μεταβλητών και διαμορφώνεται ανάλογα με τον αριθμό αυτών. Η σχέση που το εκφράζει είναι η παρακάτω:

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

Όπου ο όρος MST εκφράζει την μέση τιμή του συνόλου των τετραγώνων και δίνεται από την σχέση : $MST = \frac{SST}{n-1}$, όπου n ο αριθμός των παρατηρήσεων. Ο όρος MSE αναλύθηκε παραπάνω (Βλ. παράγραφο 3.4.3)

3.5.5 Τιμή σημαντικότητας p-value

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

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

Εικόνα 3.8 Στατιστική σημαντικότητα μεταβλητών (p-value)

4. Συλλογή δεδομένων από συμμετέχοντες

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο οργανώθηκε το πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης ως προς τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους συμμετέχοντες.

Ο τρόπος οργάνωσης των ελιγμών προσπάθειας για τους συμμετέχοντες καθώς και η σχετική ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων που συλλέχθηκαν δίδονται σε επόμενο κεφάλαιο.

4.2 Μέθοδος συλλογής στοιχείων

Για την πραγματοποίηση της εν λόγω μελέτης, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσπάθειας σε προσομοιωτή οδήγησης.

Αρχικά, δημιουργήθηκε το σενάριο προσπάθειας το οποίο αφορούσε υπεραστική οδό δύο λωρίδων χωρίς διέλευση οχημάτων αντίθετης κατεύθυνσης.

Μετά τη δημιουργία και τη δοκιμή σωστής λειτουργίας του σεναρίου, ακολούθησε η αναζήτηση των συμμετεχόντων. Επιλέχθηκαν οδηγοί νεαρής ηλικίας οι οποίοι ενημερώθηκαν για το σενάριο και τους περιορισμούς σε ότι αφορά τα όρια ταχύτητας. Επίσης, πριν την έναρξη καταγραφής δεδομένων προηγήθηκε ένα σενάριο εξοικείωσης των οδηγών με τον προσομοιωτή.

Ο συνολικός αριθμός των συμμετεχόντων ήταν 31 άτομα, εκ των οποίων οι 15 είναι άντρες και οι 16 γυναίκες.

Οι συμμετέχοντες είχαν ηλικία από 20 έως 27 με μέσο όρο ηλικίας τα 24 έτη. Ο μέσος όρος ηλικίας των ανδρών ήταν τα 24 έτη και των γυναικών 23 έτη.

Η εμπειρία οδήγησης των συμμετεχόντων ήταν 5 έτη κατά μέσο όρο. Οι άντρες θεωρούνται πιο έμπειροι, αφού ο μέσος όρος οδήγησης τους ήταν 6 έτη συγκριτικά με τις γυναίκες που ήταν 3 έτη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση και ανάλυση των δεδομένων έγινε ενιαία χωρίς να δοθεί βαρύτητα στα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Πριν την έναρξη της διαδικασίας των δοκιμών αυτών, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να απαντήσουν σε κάποιες ερωτήσεις που τους παρουσιάστηκαν σε μορφή ερωτηματολογίου. Στόχος του ερωτηματολογίου, ήταν η δημιουργία του προφίλ οδήγησης του καθενός. Οι ερωτήσεις που περιλάμβανε ήταν:

1. Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα

- i. Φύλο
- ii. Ηλικία

2. Εμπειρία οδήγησης συμμετέχοντα

- i. Έτη κατοχής διπλώματος οδήγησης
- ii. Χρόνια οδήγησης
- iii. Σύνολο ημερών οδήγησης την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον

- iv. Διανυθέντα χιλιόμετρα την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον
- v. Σύνολο ημερών οδήγησης το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον
- vi. Διανυθέντα χιλιόμετρα το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον

3. Συμπεριφορά οδήγησης συμμετέχοντα

- i. Τήρηση ορίων ταχύτητας κατά την οδήγηση σε αστικό περιβάλλον
- ii. Τήρηση ορίων ταχύτητας κατά την οδήγηση σε υπεραστικό περιβάλλον
- iii. Συμφωνεί ή διαφωνεί με τα υπάρχοντα όρια ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον
- iv. Υπέρβαση ορίου ταχύτητας κατά την διάρκεια της προσπάθειας προπορευόμενου οχήματος, σε υπεραστικό περιβάλλον.

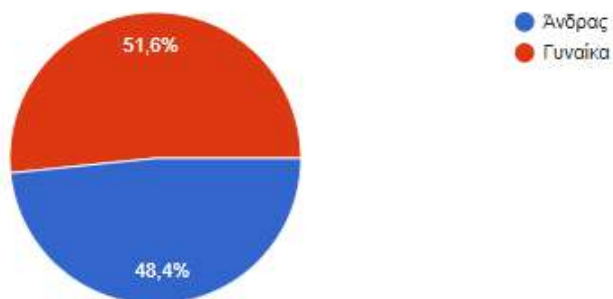
4. Ιστορικό οδικών παραβιάσεων και ατυχημάτων συμμετέχοντα

- i. Αριθμός προστίμων που έχει λάβει για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας
- ii. Αριθμός ατυχημάτων στα οποία έχει εμπλακεί ο συμμετάσχων οδηγός με:
 - a. Υλικές ζημιές
 - b. Παθόντες

Το σύνολο των απαντήσεων του ερωτηματολογίου παρατίθεται παρακάτω με μορφή γραφημάτων (Εικόνα 4.1 έως Εικόνα 4.15).

Φύλο

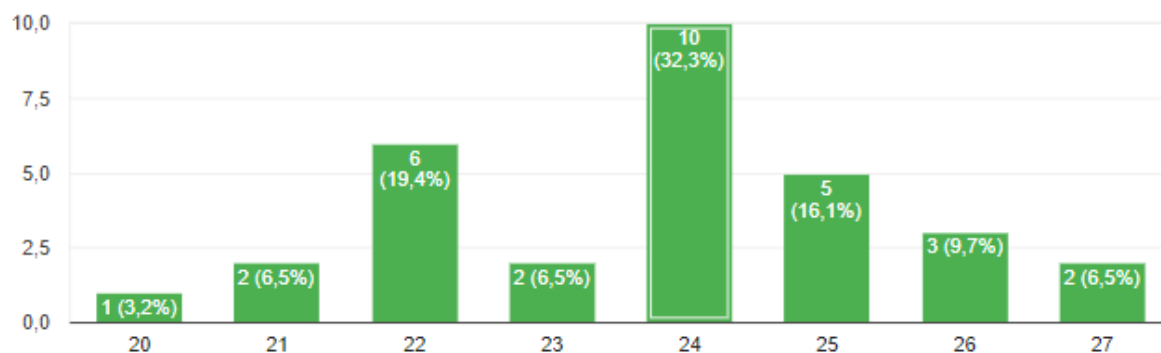
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.1 Κατανομή φύλου

Ηλικία

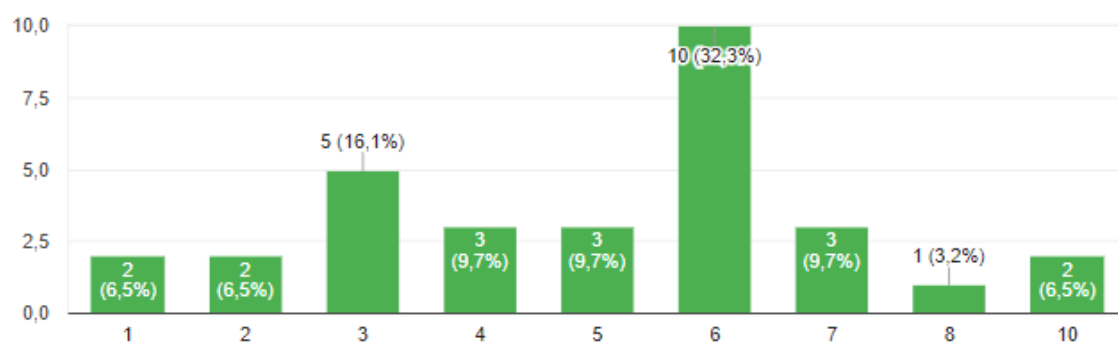
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.2 Κατανομή ηλικίας

Πόσα έτη έχετε δίπλωμα οδήγησης;

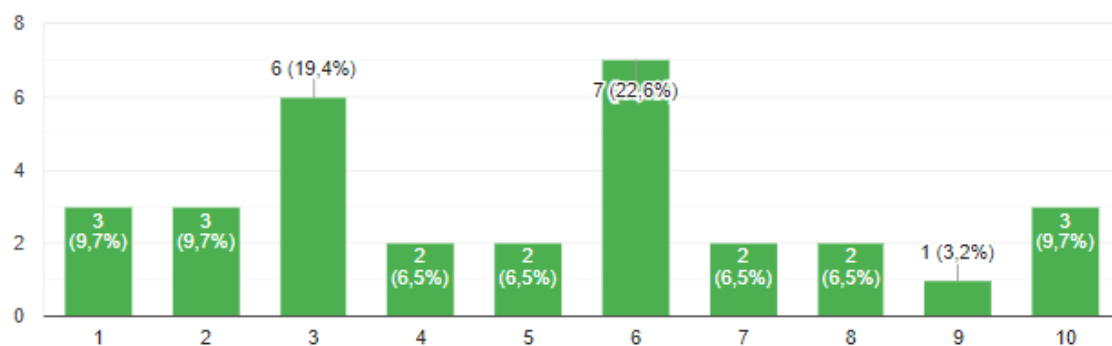
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.3 Διάρκεια κατοχής διπλώματος

Πόσα χρόνια οδηγείτε;

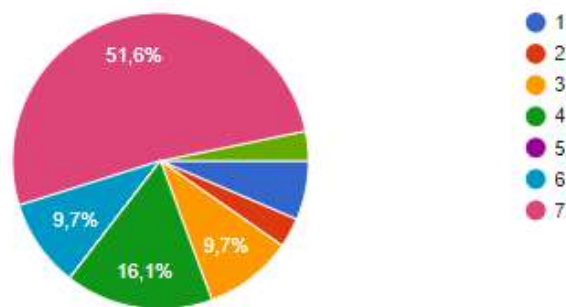
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.4 Εμπειρία οδήγησης σε έτη

Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον;

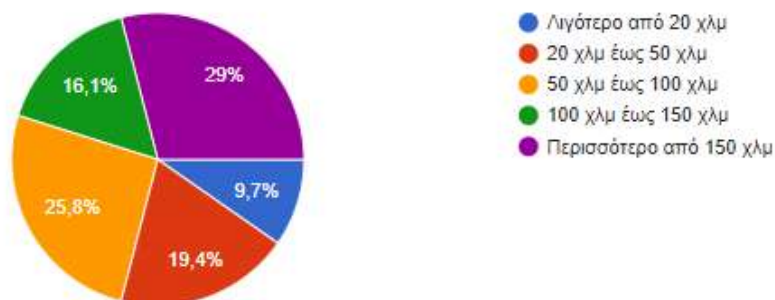
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.5 Διάρκεια οδήγησης μετρημένη σε μέρες ανά βδομάδα, σε αστικό περιβάλλον

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον;

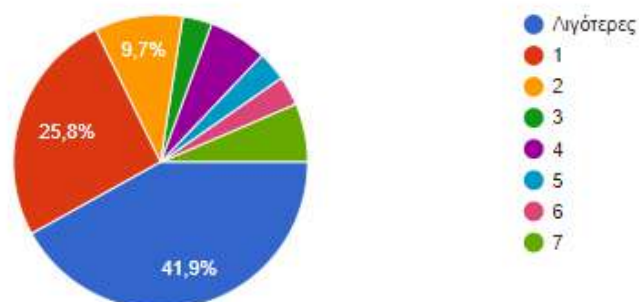
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.6 Διανυόμενα εβδομαδιαία χιλιόμετρα σε αστικό περιβάλλον

Πόσες ημέρες οδηγείτε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον;

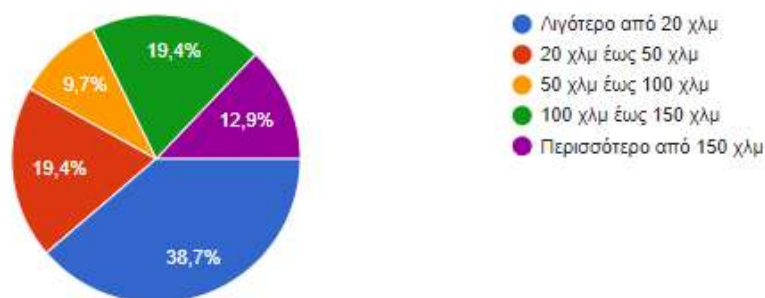
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.7 Διάρκεια οδήγησης σε ημέρες ανά μήνα, σε υπεραστικό περιβάλλον

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον;

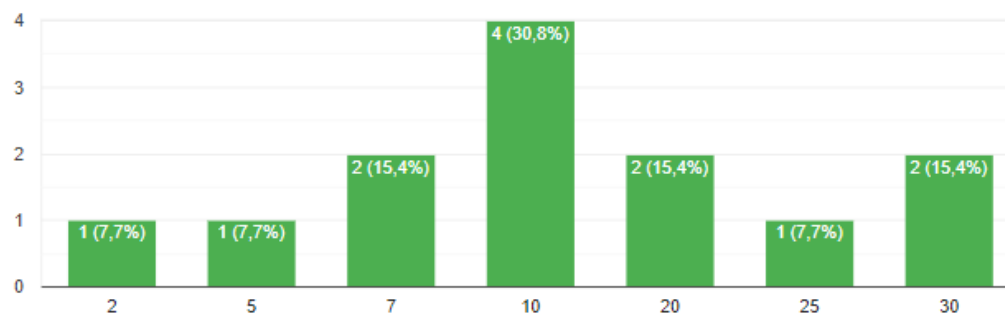
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.8 Διανυθέντα χιλιόμετρα ανά μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον

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

13 απαντήσεις

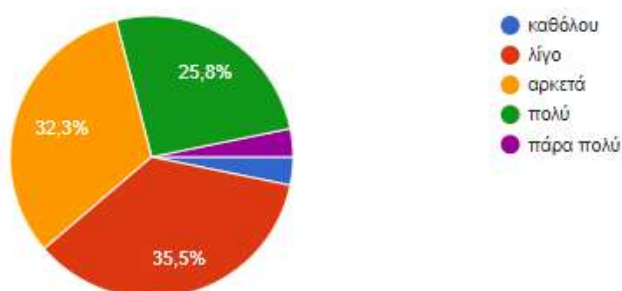


Εικόνα 4.9 Διάρκεια οδήγησης σε ημέρες ανά έτος σε υπεραστικό περιβάλλον

Η παραπάνω ερώτηση τέθηκε μόνο σε όσους έδωσαν την απάντηση «Λιγότερες» στην ερώτηση «Πόσες μέρες οδηγείτε τον μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον».

Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε αστικό περιβάλλον;

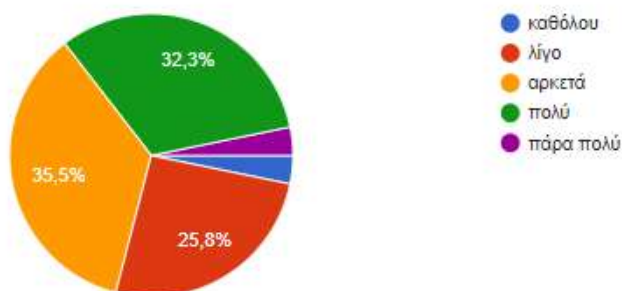
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.10 Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε αστικό περιβάλλον

Τηρείτε τα όρια ταχύτητας κατά την οδήγηση σε υπεραστικό περιβάλλον;

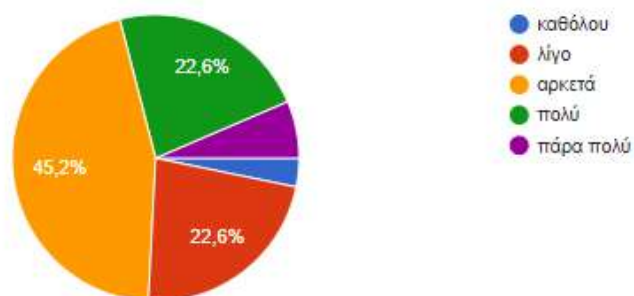
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.11 Συχνότητα τήρησης ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον

Θεωρείτε ότι τα όρια ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον είναι σωστά;

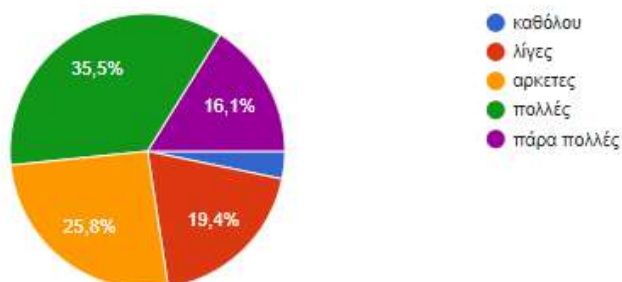
31 απαντήσεις



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;

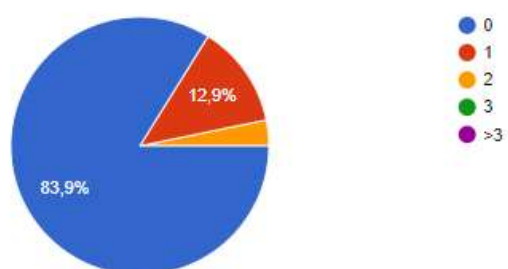
31 απαντήσεις



Εικόνα 4.13 Ποσοστά υπέρβασης ορίων ταχύτητας σε υπεραστικό περιβάλλον

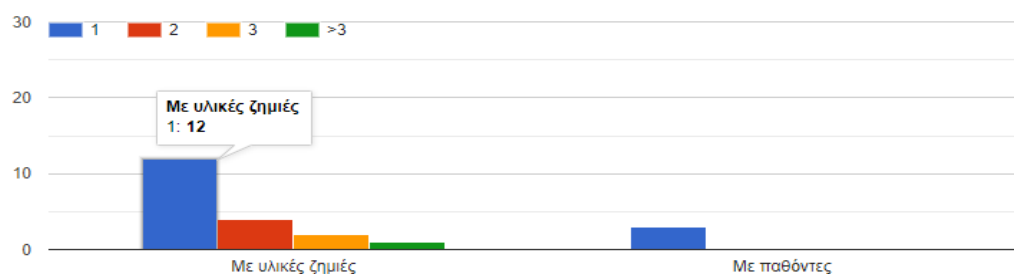
Πόσες φορές έχετε λάβει πρόστιμο για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας;

31 απαντήσεις



Εικόνα 4.14 Ποσοστά προστίμων για υπέρβαση ορίων ταχύτητας

Σε πόσα ατυχήματα έχετε εμπλακεί ως οδηγός;



Εικόνα 4.15 Εμπλοκή σε ατύχημα με υλικές ζημιές ή παθόντες

5. Καταγραφή και Επεξεργασία Δεδομένων Προσπέρασης

5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά τη μεθοδολογία μέσω της οποίας έγινε αρχικά η καταγραφή και στη συνέχεια η κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων έτσι ώστε να ληφθούν τα τελικά αποτελέσματα για την πραγματοποίηση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

5.2 Προσδιορισμός τροχιάς προσπέρασης μέσω προσομοιωτή οδήγησης

Αρχικά, έπρεπε να γίνει ο προσδιορισμός της τροχιάς προσπέρασης ώστε να μελετηθεί. Η μέθοδος, η οποία επιλέχθηκε για τον προσδιορισμό της τροχιάς και την καταγραφή των δεδομένων, ήταν η χρήση του προσομοιωτή οδήγησης με τη δημιουργία κατάλληλου σεναρίου.

Το σενάριο που δημιουργήθηκε αφορούσε υπεραστική οδό δύο λωρίδων χωρίς διέλευση οχημάτων από την αντίθετη κατεύθυνση. Στο σενάριο υπήρχαν τρία οχήματα τα οποία ο εκάστοτε οδηγός καλείται να προσπεράσει. Τα οχήματα αυτά είχαν απόσταση μεταξύ τους περίπου 100 μέτρα. Στην αρχή της διαδικασίας όλα τα οχήματα, μαζί και αυτό του χρήστη, έχουν μηδενική ταχύτητα. Στη συνέχεια, τα προπορευόμενα από αυτό του χρήστη οχήματα, φτάνουν σταδιακά και διατηρούν τις μέγιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες που τους έχουν δοθεί από τον προγραμματισμό του σεναρίου οι οποίες ήταν τα 50km/h, 60km/h, 70km/h. Κατά την εκκίνηση της διαδικασίας η οδός περιλαμβάνει αρκετές στροφές ενώ στην συνέχεια ξεκινάει μία μεγάλη ευθεία 1500 μέτρων. Η οδηγία που δόθηκε στους οδηγούς ήταν να ξεκινήσουν την προσπέραση όταν θα ξεκινήσει και το ευθύγραμμο αυτό τμήμα, με σκοπό την καλύτερη καταγραφή των δεδομένων από τον προσομοιωτή, αφού σε καμπύλα τμήματα δεν είναι δυνατή η σωστή ερμηνεία του γωνιακού διαγράμματος. Κάθε οδηγός, αφού έκανε μία δοκιμαστική προσπάθεια στην αρχή για την καλύτερη εξοικείωση με τον προσομοιωτή, κατά την οποία δεν λήφθηκαν υπόψη τα δεδομένα, επανέλαβε την διαδικασία άλλες τρεις φορές με το όριο ταχύτητας του να είναι 20 km/h πάνω από την ταχύτητα των προπορευόμενων οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, το όριο ταχύτητας του χρήστη ήταν 70km/h, 80km/h, 90km/h για κάθε σενάριο αντίστοιχα.

Σε κάθε ένα από τα σενάρια ο οδηγός πραγματοποίησε δύο με τρεις προσπεράσεις αφού αρκετές φορές δεν κατάφερε να προσπεράσει και τα τρία οχήματα πριν τελειώσει το μήκος του δρόμου εντός του οποίου γινόταν η καταγραφή των δεδομένων. Συνολικά καταγράφηκαν 211 ελιγμοί προσπέρασης από 31 χρήστες. Από το συνολικό δείγμα των 211 προσπεράσεων, αποκλείστηκαν από τη στατιστική ανάλυση οι ελιγμοί κατά τους οποίους οι χρήστες είχαν ξεπεράσει το όριο ταχύτητας περισσότερο από 10km/h, καθώς και ελιγμοί που ξεκίνησαν πριν την αρχή του ευθύγραμμου τμήματος αλλά κατά τη διάρκεια οριζοντιογραφικής καμπύλης.

5.2.1 Τρόπος καταγραφής δεδομένων

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας προσπέρασης μέσω του προσομοιωτή καταγράφονται τα δεδομένα σε μορφή αρχείου κειμένου (.txt). Η ονομασία των αρχείων αυτών είναι Logfiles. Η καταγραφή γίνεται 60 φορές το δευτερόλεπτο. Κάθε ένα από τα αρχεία περιλαμβάνει 33 στήλες δεδομένων. Από αυτά τα στοιχεία επιλέχθηκαν μόνο ορισμένες στήλες, τα στοιχεία των οποίων κρίθηκαν απαραίτητα για την παρούσα διπλωματική εργασία. Το σύνολο των δεδομένων που παρέιχε ο προσομοιωτής παρατίθεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 Δεδομένα προσομοιωτή

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	Drigh	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

Τα δεδομένα που επιλέχθηκαν για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν τα εξής:

- **X-pos:** χιλιομετρική θέση του οχήματος του χρήστη (m).
- **Dleft:** Εγκάρσια απόσταση το οχήματος του χρήστη από το αριστερό άκρο του δρόμου (m).
- **Headway:** Απόσταση οχήματος χρήστη από το προπορευόμενο όχημα (m).
- **Time:** Χρονική στιγμή πραγματοποίησης πειράματος (s).
- **Speed:** Ταχύτητα οχήματος χρήστη (km/h).
- **Acceleration:** Επιτάχυνση οχήματος χρήστη (km/h^2).

5.3 Ακτίνες τροχιάς προσπέρασης και επεξεργασία μέσω Γωνιακού διαγράμματος

Εν συνεχεία των προηγούμενων, τα δεδομένα που καταγράφηκαν μέσω του προσομοιωτή οδήγησης, έπρεπε να επεξεργαστούν έτσι ώστε να ακολουθήσει η δημιουργία των μοντέλων. Για την επεξεργασία αυτή, έγινε χρήση του γωνιακού διαγράμματος σε υπολογιστικό φύλλο Microsoft Excel, το οποίο αποτελούταν από τρία φύλλα.

Φύλλο 1: Στο πρώτο φύλλο (Log 1) γίνεται εισαγωγή των δεδομένων των Logfile (αρχείο κειμένου). Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα της προσπέρασης φιλτραρίστηκαν με κατάλληλες συνθήκες μέσω κώδικα σε γλώσσα Visual Basic for Applications (VBA), έτσι ώστε να γίνεται η καταγραφή τους για κάθε 0,3 δευτερόλεπτα σε σχέση με τις πιο πυκνές μετρήσεις που υπήρχαν αρχικά, δηλαδή καταγραφή δεδομένων 60 φορές το δευτερόλεπτο. Η χρονική διαφορά των 0,3 δευτερολέπτων ορίστηκε μέσω της μακρο-εντολής «Time Filter» που φαίνεται στην Εικόνα 5.1 στο μπλε πλαίσιο.

[illegible]

Φύλλο 2: Μετά τον ορισμό καταγραφής δεδομένων κάθε 0,3s, δημιουργήθηκε το δεύτερο φύλλο Excel (Log 2) , όπου εκεί καταγράφονται οι τιμές των μεταβλητών μετά το φιλτράρισμα τους με την χρονική αυτή διαφορά. Επίσης, στο φύλλο αυτό, δημιουργήθηκε και ένα διάγραμμα σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων στο οποίο απεικονίζεται η τροχιά που διαγράφει ο εκάστοτε οδηγός για την πραγματοποίηση του ελιγμού προσπέρασης. Κάθε μία προσπέραση (συνολικά για κάθε σενάριο οι προσπεράσεις ήταν τουλάχιστον δύο και σε ορισμένες περιπτώσεις τρεις) αποτελείται από 30 έως 50 σημεία τα οποία φαίνονται στο διάγραμμα με την μορφή μπλε κουκίδων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.2.



Για κάθε προσπέραση σημειώθηκε το πρώτο και το τελευταίο σημείο της και στην συνέχεια με την εισαγωγή των τιμών των σημείων αυτών στα «**Start point of overtaking**» και «**End point of overtaking**» έγινε η απομόνωση της προσπέρασης από την συνολική πορεία έτσι ώστε να γίνει επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων.

Φύλλο 3: Αφού περαστούν τα σημεία αρχής και τέλους της προσπέρασης όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δημιουργείται το τρίτο φύλλο Excel (gon), στο οποίο υπάρχει απομονωμένο το εύρος της προσπέρασης. Αρχικά, γίνεται υπολογισμός των τεσσάρων ακτινών της προσπέρασης όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3, Παράγραφος 3.3).

Στη συνέχεια για κάθε μία εκ των τεσσάρων καμπύλων ορίζεται το εύρος των χιλιομετρικών θέσεων του αζιμούθιου της. Για διευκόλυνση το εύρος κάθε ακτίνας έχει οριστεί με διαφορετικό χρώμα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.3. Πιο συγκεκριμένα:

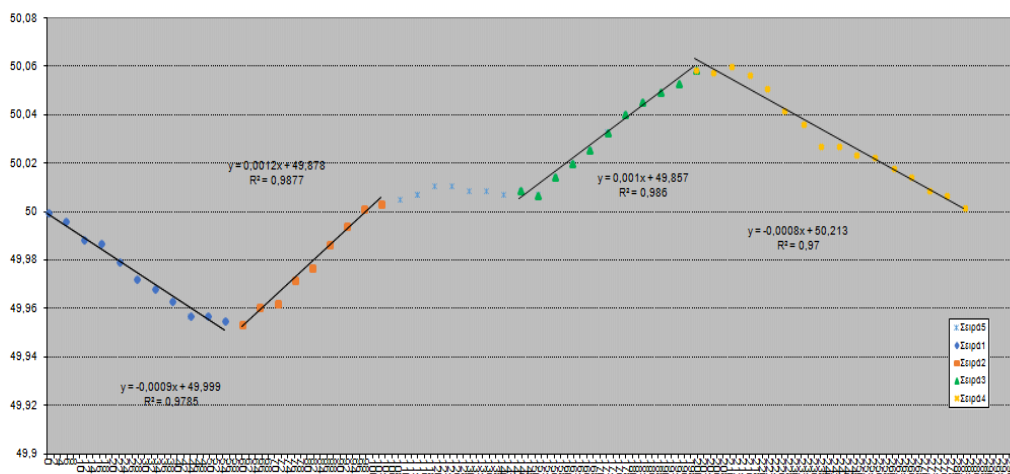
- R_1 : Μπλε
- R_2 : Πορτοκαλί
- R_3 : Πράσινο
- R_4 : Κίτρινο

7989	12,670	49,991	49,991	49,991	49,991
8007	19,021	49,984	49,984	49,984	49,984
8025	25,373	49,975	49,975	49,975	49,975
8043	31,746	49,965	49,965	49,965	49,965
8061	38,111	49,961	49,961	49,961	49,961
8079	44,498	49,956	49,956	49,956	49,956
8097	50,886	49,949	49,949	49,949	49,949
8115	57,287	49,947	49,947	49,947	49,947
8133	63,698	49,944	49,944	49,944	49,944
8151	70,110	49,946	49,946	49,946	49,946
8169	76,532	49,953	49,953	49,953	49,953
8187	82,961	49,961	49,961	49,961	49,961
8205	89,388	49,974	49,974	49,974	49,974
8223	95,831	49,978	49,978	49,978	49,978
8241	102,284	49,986	49,986	49,986	49,986
8259	108,735	49,991	49,991	49,991	49,991
8277	115,186	49,997	49,997	49,997	49,997
8296	122,006	50,003	50,003	50,003	50,003
8314	128,476	50,009	50,009	50,009	50,009
8332	134,946	50,022	50,022	50,022	50,022
8350	141,437	50,032	50,032	50,032	50,032
8368	147,929	50,043	50,043	50,043	50,043
8386	154,424	50,051	50,051	50,051	50,051
8404	160,920	50,059	50,059	50,059	50,059
8422	167,399	50,062	50,062	50,062	50,062
8440	173,859	50,068	50,068	50,068	50,068
8458	180,302	50,068	50,068	50,068	50,068
8476	186,744	50,068	50,068	50,068	50,068
8494	193,196	50,067	50,067	50,067	50,067
8512	199,638	50,061	50,061	50,061	50,061
8530	206,078	50,051	50,051	50,051	50,051
8548	212,514	50,042	50,042	50,042	50,042
8566	218,949	50,034	50,034	50,034	50,034
8584	225,381	50,027	50,027	50,027	50,027
8602	231,812	50,027	50,027	50,027	50,027
8620	238,244	50,020	50,020	50,020	50,020

Εικόνα 5.3 Υπολογιστικό φύλλο γωνιακού διαγράμματος

Έπειτα, δημιουργείται μία γραμμή τάσης με επίπεδο αξιοπιστίας R^2 , με μαθηματική έκφραση της μορφής $y = a \cdot x + b$.

Στην Εικόνα 5.4, φαίνονται οι τέσσερις γραμμές τάσεων με τα αντίστοιχα χρώματα. Κάθε μία γραμμή προσαρμόζεται έτσι ώστε η τιμή του R^2 να βρίσκεται όσο πιο κοντά γίνεται στο 1. Επισημαίνεται ότι η ακτίνα για κάθε γραμμή τάσης προκύπτει από τη σχέση $R=1/a$.



Εικόνα 5.4 Γωνιακό διάγραμμα

Τα ενδιάμεσα σημεία μεταξύ R_2 , R_3 δείχνουν το ευθύγραμμο τμήμα που υπάρχει καθώς το όχημα έχει ξεκινήσει την προσπέραση και βρίσκεται στην αντίθετη λωρίδα παράλληλα στο όχημα που επιδιώκει να προσπεράσει.

Στη συνέχεια, σημειώθηκε για κάθε ακτίνα το συνολικό της μήκος (RL), η μέση ταχύτητα και επιτάχυνση της καθώς και για την πρώτη και την τελευταία ακτίνα σημειώθηκε η απόσταση που είχε το όχημα του χρήστη ως προς το όχημα που επιδιώκει να προσπεράσει. Πιο συγκεκριμένα, η απόσταση για την πρώτη ακτίνα μετράται τη χρονική στιγμή που το όχημα ξεκινάει την αλλαγή λωρίδας, ενώ για την τελευταία ακτίνα μετράται τη χρονική στιγμή που έχει επανέλθει πλήρως στην λωρίδα που ήταν αρχικά. Οι μεταβλητές αυτές προήλθαν άμεσα από τα δεδομένα του προσομοιωτή. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για 211 προσπεράσεις.

5.4 Διαχωρισμός ελιγμών προσπεράσεων

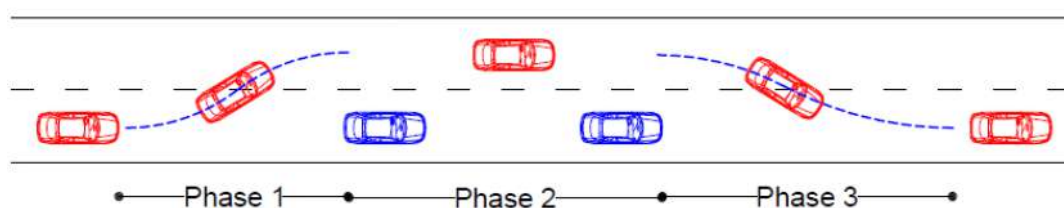
Κατά την διάρκεια της εύρεσης των μεταβλητών, παρατηρήθηκε ότι στην πρώτη από τις τρεις συνολικά προσπεράσεις που πραγματοποιούσε ο χρήστης για κάθε ένα σενάριο, το όχημα ακολουθούσε το προπορευόμενο και όταν εισέρχονταν στο ευθύγραμμο τμήμα ξεκινούσε την προσπέραση με επιταχυνόμενη κίνηση μέχρι και να την ολοκληρώσει. Στην συνέχεια, επειδή συνήθως το όχημα ήδη κινούνταν με το όριο ταχύτητας, η πραγματοποίηση της 2^{ης} και 3^{ης} (κάποιες φορές) προσπεράσεως γινόταν υπό συνθήκες σταθερής ταχύτητας. Οι προσπεράσεις αυτού του είδους αποτελούν ενδιαφέρον κομμάτι μελέτης αφού πραγματοποιούνται πολύ συχνά από οδηγούς. **Το αντικείμενο μελέτης της διπλωματικής αυτής εργασίας αφορά αυτές τις προσπεράσεις σταθερής ταχύτητας (flyover).**

Ο διαχωρισμός των προσπεράσεων αυτών, έγινε με βάση την ταχύτητα. Όταν η ταχύτητα ήταν περίπου σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του ελιγμού τότε η προσπέραση θεωρούταν ότι πραγματοποιείται με τελείως σταθερή ταχύτητα και λαμβανόταν υπόψη στο συνολικό δείγμα.

Ο συνολικός αριθμός των προσπεράσεων σταθερής ταχύτητας ήταν 72. Για τις 72 αυτές προσπεράσεις υπολογίστηκαν διάφορες μεταβλητές με σκοπό την στατιστική τους ανάλυση μέσω του R-studio αλλά και σύγκριση με μεταβλητές επιταχυνόμενων προσπεράσεων.

5.5 Επιλογή μεταβλητών

Ο ελιγμός προσπέρασης μπορεί να θεωρηθεί ότι πραγματοποιείται σε τρεις φάσεις. Στην 1^η φάση (Phase 1), το όχημα του οδηγού ξεκινάει τον ελιγμό προσπέρασης και πραγματοποιεί αλλαγή λωρίδας. Στην δεύτερη φάση (Phase 2), το όχημα βρίσκεται στην λωρίδα αντίθετης κυκλοφορίας κινούμενο παράλληλα με το όχημα που επιχειρεί να προσπεράσει και κατά την 3^η φάση (Phase 3) επανέρχεται στην αρχική λωρίδα και ολοκληρώνει την προσπέραση. Όλα αυτά, φαίνονται συνοπτικά στην Εικόνα 5.5.



Εικόνα 5.5 Φάσεις τροχιάς προσπέρασης

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν για την στατιστική μελέτη που αναλύεται παρακάτω είναι:

- Απόσταση του οχήματος από το προπορευόμενο κατά την εκκίνηση του ελιγμού. (**Headway 1**)
- Απόσταση του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση σε σχέση με αυτό που αφήνει να το προσπεράσουν κατά το τέλος του ελιγμού (**Headway 4**)
- Πλευρικές(εγκάρσιες) αποστάσεις του οχήματος από το αριστερό άκρο του δρόμου σε χαρακτηριστικά σημεία. Πιο συγκεκριμένα:
 - Εκκίνηση πρώτης φάσης (**lateral 1**)
 - Λήξη πρώτης φάσης (**lateral 2**)
 - Εκκίνηση τρίτης φάσης(**lateral 3**)
 - Λήξη τρίτης φάσης (**lateral 4**)
- Εγκάρσιες αποστάσεις του οχήματος με το αριστερό άκρο του δρόμου αλλά και μεταξύ των οχημάτων σε κρίσιμα σημεία για την αποφυγή σύγκρουσης (**lateral X, lateral safety margin**)
- Η **απόσταση X** για την 1^η και την 3^η φάση αντίστοιχα.

5.5.1 Υπολογισμός πλευρικών αποστάσεων

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων κρίθηκε ότι, σημαντικό ρόλο στην ερμηνεία των ελιγμών έχουν οι μεταβλητές που αφορούν εγκάρσιες αποστάσεις των οχημάτων τόσο μεταξύ τους όσο και από τα άκρα του δρόμου. Πιο συγκεκριμένα, ένα σημαντικό ζήτημα που προκύπτει είναι η αποφυγή της σύγκρουσης μεταξύ των οχημάτων την στιγμή που το όχημα περνάει στην άλλη λωρίδα και τη στιγμή που επιστρέφει στην αρχική του λωρίδα κατά την ολοκλήρωση της προσπέρασης (Φάση 1 & Φάση 3, αντίστοιχα).

Φάση 1^η : Για την πρώτη φάση και σύμφωνα με τα παραπάνω πρέπει να ελεγχθεί το σημείο στο οποίο η μεταξύ απόσταση των οχημάτων μηδενίζεται (σημείο ενδεχόμενης σύγκρουσης), το οποίο απέχει **απόσταση X** από την αρχή της προσπέρασης του οχήματος. Εκτός από την απόσταση αυτή X, είναι σημαντικό να βρεθεί σε εκείνο το σημείο η εγκάρσια απόσταση του οχήματος από το αριστερό άκρο του δρόμου (**lateral X**) και ακόμα πιο σημαντικό και ενδιαφέρον είναι ο υπολογισμός της εγκάρσιας απόστασης μεταξύ των οχημάτων στο σημείο αυτό (**lateral safety margin**). Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.6.



Εικόνα 5.6 Βασικά γεωμετρικά στοιχεία υπολογισμού για την Φάση 1

Η απόσταση X καθώς και οι εγκάρσιες αποστάσεις μετρήθηκαν μέσω των γεωμετρικών στοιχείων της οδού για τα τρία διαφορετικά σενάρια ταχυτήτων των 70km/h, 80km/h, 90km/h. Επιπρόσθετα, υπολογίστηκε και ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει σε εκείνο το σημείο, μέσω της Εξίσωσης χρόνου 5.1 για όχημα που κινείται με σταθερή ταχύτητα.

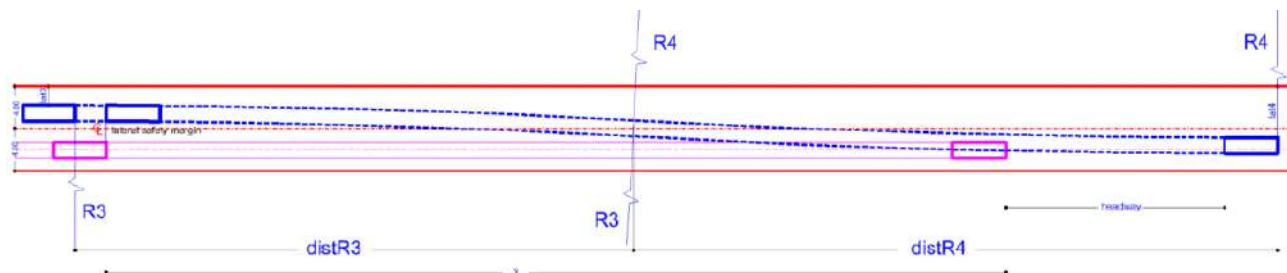
$$t = 3.6 \cdot \frac{X}{V} \quad (5.1)$$

όπου η απόσταση X προσδιορίζεται από την Εξίσωση 5.2 ως εξής:

$$3.6 \cdot \frac{X}{V} = 3.6 \cdot \frac{X - \text{Headway}}{V - 20} \quad (5.2)$$

Φάση 3^η: Στην τρίτη φάση της προσπέρασης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχει επίσης το ίδιο πρόβλημα και γι' αυτό απαιτείται και εκεί υπολογισμός των εγκάρσιων αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων αλλά και με

τα άκρα του δρόμου, τη στιγμή που η απόσταση μεταξύ των οχημάτων είναι μηδενική (σημείο ενδεχόμενης σύγκρουσης). Τα γεωμετρικά στοιχεία που υπολογίστηκαν φαίνονται στην Εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.7 Βασικά γεωμετρικά στοιχεία υπολογισμού για την Φάση 3

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο υπολογισμός της απόστασης X όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.7, υπολογίζεται από την Εξίσωση 5.3, που προκύπτει από την εξίσωση του χρόνου που χρειάζεται κάθε όχημα για να φτάσει στο σημείο μηδενισμού της απόστασης τους.

$$3.6 \cdot \frac{X}{V-20} = \frac{X+Headway}{V} \cdot 3.6 \quad (5.3)$$

Μετά τον υπολογισμό της απόστασης X και για τις δύο φάσεις (Φάση 1, Φάση 3) μέσω του αρχείου Excel για κάθε μία από τις προσπεράσεις, γίνεται εύρεση στοιχείων της στήλης Dleft που βρίσκεται στο δεύτερο φύλλο Excel κάθε προσπέρασης. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι η “VLOOKUP” η οποία είναι μια πιο σύντομη εναλλακτική διαδικασία, εμφωλευμένων επαναληπτικών μεθόδων.

Η εντολή χρειάζεται τέσσερα δεδομένα:

1. Το στοιχείο που θα αναζητήσει. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο αριθμός είναι το εκάστοτε X το οποίο υπάρχει στο φύλλο gon.
2. Από που να το αναζητήσει. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η αναζήτηση γίνεται στο φύλλο Log 2.
3. Από ποια στήλη να επιστρέψει τον αριθμό που αντιστοιχεί στη γραμμή στην οποία βρίσκεται το στοιχείο X . Στη συγκεκριμένη περίπτωση η στήλη είναι αυτή του Dleft.
4. Να γίνει αναζήτηση για την ακριβή τιμή του στοιχείου, που επιτυγχάνεται με την πληκτρολόγηση της φράσης FALSE. Αν η πληκτρολόγηση ήταν η φράση TRUE τότε θα υπήρχε το ενδεχόμενο να γινόταν αναζήτηση για τιμή που έχει ίδιο ακέραιο μέρος αλλά διαφορετικό δεκαδικό.

Στη συνέχεια με δεδομένο πλέον το Dleft και αφαιρώντας από αυτό 2m υπολογίζεται το lateral X , μέσω της Εξίσωσης 5.4.

$$(lateral\ X) = Dleft - 2 \quad (5.4)$$

δηλαδή η εγκάρσια απόσταση του οχήματος από το αριστερό άκρο του δρόμου. Έπειτα μέσω της γεωμετρίας του δρόμου και έχοντας πλέον γνωστό το lateral X , υπολογίζεται η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των οχημάτων (lateral

safety margin) μέσω της Εξίσωσης 5.5. Το συνολικό πλάτος του δρόμου είναι 8 m , ενώ το πλάτος κάθε οχήματος 1,5 m. Επίσης το αρχικά προπορευόμενο όχημα παραμένει σε σταθερή πλευρική απόσταση από το δεξί άκρο του δρόμου στα 1,2 m. Επομένως:

$$(lateral\ safety\ margin) = 8 - (1,5 + 1,5 + 1,2 + (lateral\ X)) \quad (5.5)$$

5.5.2 Αποτελέσματα

Και για τις δύο αυτές φάσεις (Φάση 1, Φάση 3) τα αποτελέσματα που αφορούν τις κρίσιμες τιμές των μεγεθών που υπολογίστηκαν για τα τρία σενάρια ταχυτήτων παρατίθενται παρακάτω σε μορφή πινάκων (Πίνακας 5.3, Πίνακας 5.4). Επιπρόσθετα, στον Πίνακα 5.2 φαίνονται οι τιμές των μεταβλητών που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων, των ακτινών R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , των αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων κατά την εκκίνηση ($Headway_1$) και την ολοκλήρωση ($Headway_4$) της προσπάθειας καθώς και των πλευρικών αποστάσεων από το αριστερό άκρο του δρόμου (lat_1 , lat_2 , lat_3 , lat_4).

Πίνακας 5.2 Τιμή μεταβλητών 50% (αντιστοιχεί στο 50% των παρατηρήσεων)

Median Values (outputs)	V=70km/h	V=80km/h	V=90km/h
$R_1(m)$	962	1218	1242
$R_2(m)$	855	1559	1169
$R_3(m)$	702	1037	868
$R_4(m)$	919	1044	1156
$Headway_1$ (initial at beginning of R_1 – Phase1 (m))	14,3	14,7	15
$Headway_4$ (final at ending of R_4) – Phase 3 (m)	25	23	21
lat_1 – (initial) – Phase 1 (m)	4,86	4,88	4,78
lat_2 – (final) – Phase 1 (m)	1,64	1,4	1,865
lat_3 – (initial) – Phase 3 (m)	1,58	1,26	1,815
lat_4 – (final) – Phase 3 (m)	5,08	5,05	4,86

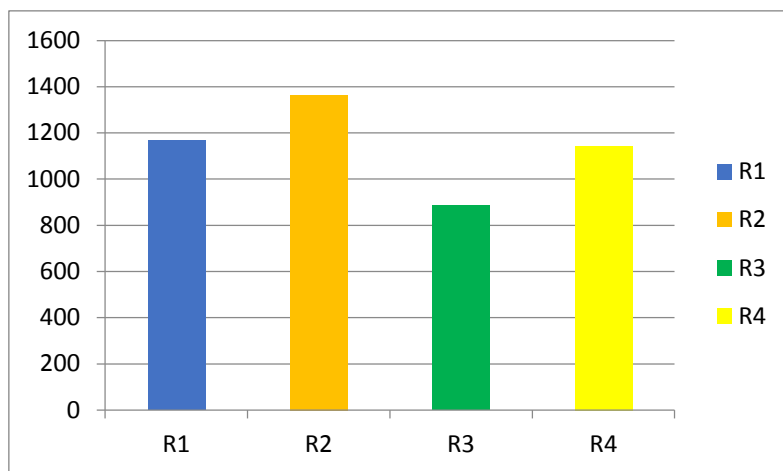
Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα μεταβλητών για την Φάση 1

Values (determined)	V=70km/h	V=80km/h	V=90km/h
Point X lateral($latX$)-Phase 1 (m)	3,31	3,11	3,04
X(m)	50	59	67,5
Lateral safety margin (m)	0,5	0,7	0,76
t(sec)	2,57	2,65	2,7

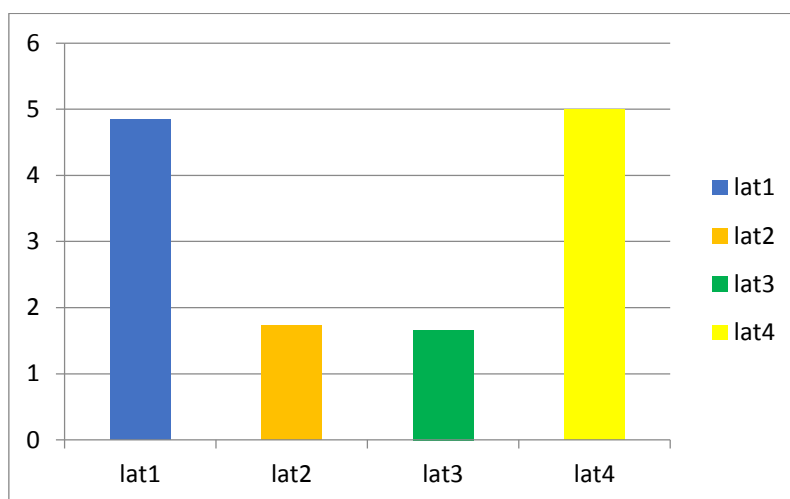
Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα μεταβλητών για την Φάση 3

Values (determined)	V=70km/h	V=80km/h	V=90km/h
X (m)	62,5	69	73,5
Lateral safety margin (m)	2,22	2,54	1,98

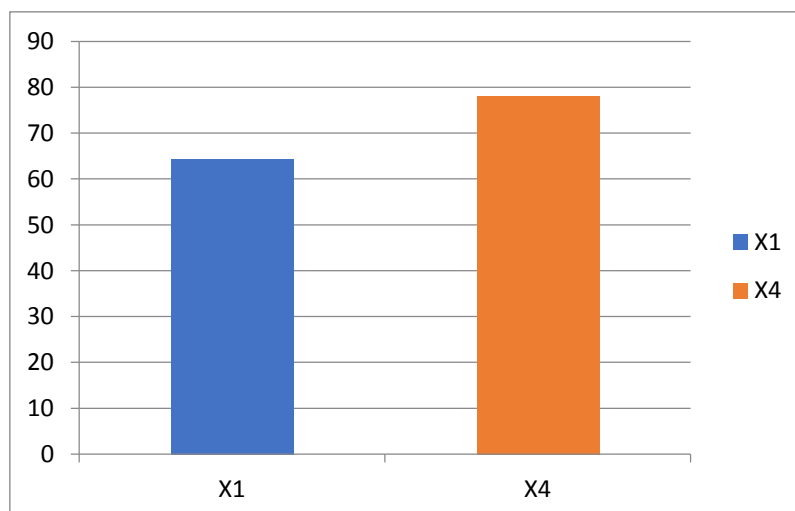
Παρακάτω φαίνονται τα γραφήματα των τιμών των μεταβλητών που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων (Εικόνα 5.8 έως Εικόνα 5.12).



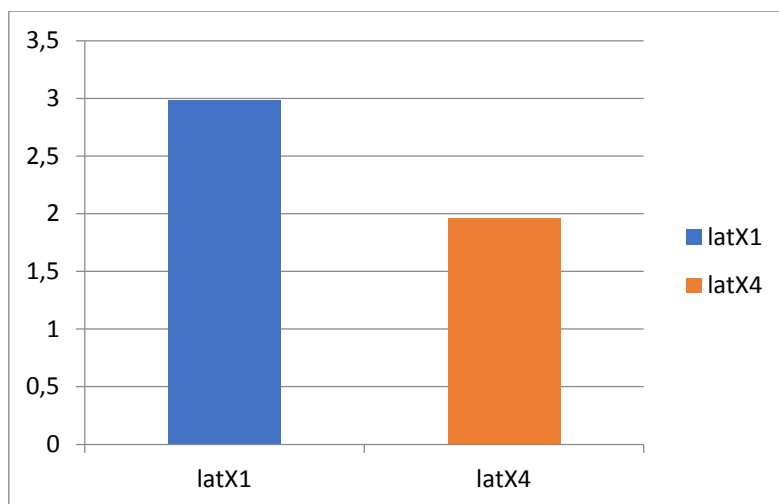
Εικόνα 5.8 Τιμές ακτίνων που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων



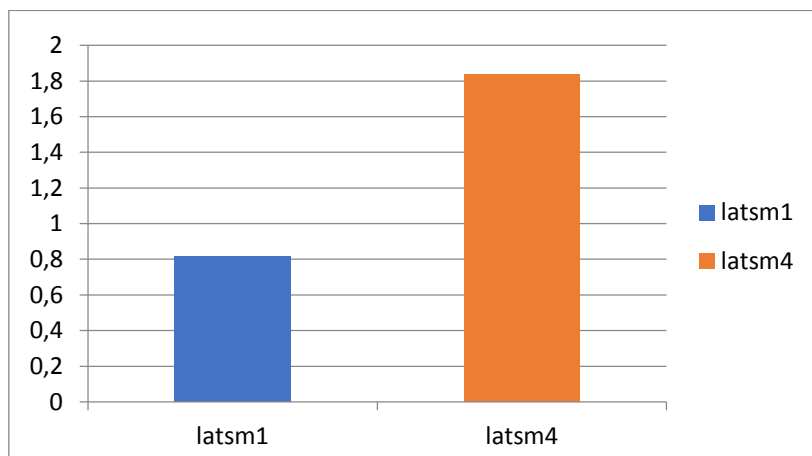
Εικόνα 5.9 Τιμές πλευρικών αποστάσεων από το αριστερό άκρο του δρόμου που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων



Εικόνα 5.10 Τιμές που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων διανυθέντων αποστάσεων μέχρι τον μηδενισμό της απόστασης μεταξύ των οχημάτων



Εικόνα 5.11 Τιμές πλευρικών αποστάσεων από το αριστερό άκρο του δρόμου που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων στα σημεία μηδενισμού των Headway



Εικόνα 5.12 Τιμές πλευρικών αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων στα σημεία μηδενισμού των Headway

Όπου:

- **X1** η απόσταση που διένυσε ο οδηγός μέχρι το μηδενισμό της απόστασης μεταξύ των οχημάτων κατά την 1^η φάση της προσπέρασης.
- **X4** η απόσταση που διένυσε το προπορευόμενο όχημα από το μηδενισμό της απόστασης μεταξύ των οχημάτων κατά την 3^η φάση της προσπέρασης μέχρι και την ολοκλήρωση του ελιγμού.
- **latX1, latX4** οι πλευρικές αποστάσεις στις θέσεις μηδενισμού της απόστασης μεταξύ των οχημάτων για την 1^η και την 3^η φάση αντίστοιχα.

Οι μεταβλητές **latsm1**(lateral safety margin 1), **latsm4** (lateral safety margin 4) μετρήθηκαν σύμφωνα με την Εξίσωση 5.5.

5.6 Στατιστική μελέτη και προτυποποίηση προσπέρασης

5.6.1 Εισαγωγή στοιχείων στην R

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο Excel, που περιέχει όλα τα δεδομένα των προσπεράσεων σταθερής ταχύτητας που αναφέρθηκαν παραπάνω για κάθε μία ακτίνα. Πιο συγκεκριμένα για κάθε ακτίνα (R_1, R_2, R_3, R_4) αντιστοιχούν οι εξής μεταβλητές:

- Εγκάρσιες αποστάσεις από το αριστερό άκρο του δρόμου (**lateral 1, lateral 2, lateral 3, lateral 4**)
- Μήκος τόξου ακτίνας (**Radius length 1, Radius length 2, Radius length 3, Radius length 4**)

Επειδή η ταχύτητα είναι σταθερή και η επιτάχυνση μηδενική, οι μεταβλητές αυτές δεν λήφθηκαν υπόψη.

Στα δεδομένα των ακτινών R_1, R_4 συμπεριλαμβάνονται αντίστοιχα και τα **Headway 1, Headway 4** η επεξήγηση των οποίων αναφέρεται παραπάνω.

Επιπρόσθετα στο Excel συμπεριλαμβάνονται και οι εξής μεταβλητές οι οποίες δεν αφορούν μόνο σε μία συγκεκριμένη ακτίνα. Αναλυτικότερα:

Φάση 1:

- Απόσταση X1
- Lateral X1
- Lateral safety margin 1

Φάση 3:

- Απόσταση X4
- Lateral X4
- Lateral safety margin 4

Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή του αρχείου Excel στην R-studio. Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση της εντολής *readxl*, η οποία δίνει τη δυνατότητα αναγνώρισης αρχείων τύπου .xlsx. Πρώτα γίνεται η εγκατάσταση του πακέτου *read excel* με την εντολή *install.packages(readxl)* και έπειτα με την χρήση της πλέον εγκατεστημένης εντολής *read_excel* και δίνοντας το κατάλληλο path εισάγεται το excel στην πλατφόρμα της R. Το path καθώς και η εγκατάσταση της εντολής φαίνονται στην Εικόνα 5.13.

```
install.packages("readxl")  
FINAL<- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-over\\RESULTS\\FINAL.xlsx")
```

Εικόνα 5.13 Μορφή κώδικα για εντολή *read_excel*

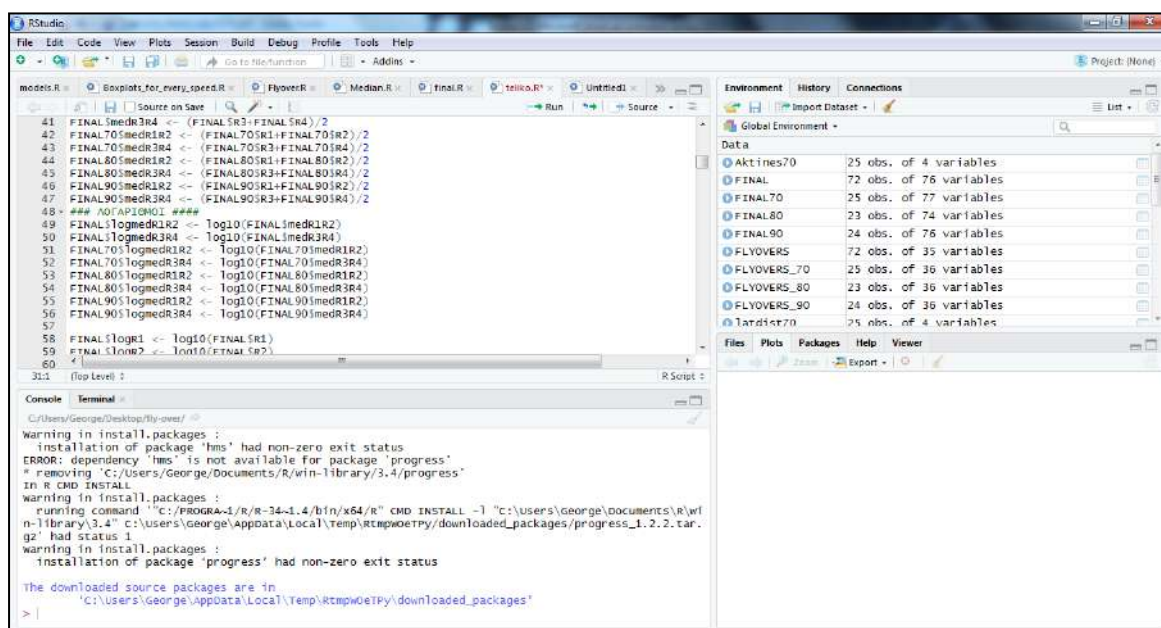
Με τον τρόπο αυτό, το αρχείο Excel με τα δεδομένα, το οποίο αποτελείται από 72 γραμμές και 22 στήλες, βρίσκεται πλέον στην πλατφόρμα της R και η ονομασία του για την παρούσα διπλωματική ορίστηκε ως «**FINAL**». Ένα ενδεικτικό τμήμα του πίνακα φαίνεται στην Εικόνα 5.14.

	R1	HW1	lat1	RL1	X1	t	R2	RL2	lat2	latSm1	latX1	R3	RL3	lat3	R4
1	926	10.8571...	4.62	31	38.00000	1.954286	954	30	2.67	0.31	3.49	939	38	2.53	1311
2	1285	15.5714...	4.67	62	54.50000	2.802857	1487	56	1.16	0.38	3.42	759	40	1.11	1396
3	264	12.5714...	4.97	27	44.00000	2.262857	518	45	1.48	1.14	2.66	157	25	1.54	204
4	212	9.542857	4.86	22	33.40000	1.717714	563	35	1.64	0.49	3.31	247	29	1.54	186
5	1872	24.2857...	4.57	57	85.00000	4.371429	3000	77	1.17	1.42	2.38	1280	65	1.15	1533
6	390	15.0571...	5.79	20	52.70000	2.710286	508	12	2.68	0.45	3.35	258	29	2.68	825
7	1024	13.4285...	4.75	35	47.00000	2.417143	1029	25	1.42	0.33	3.47	1100	25	1.36	2126
8	1351	13.2285...	4.02	25	46.30000	2.381143	2006	21	1.73	0.87	2.93	702	12	1.63	616
9	673	13.7142...	4.93	42	48.00000	2.468571	750	37	1.54	0.48	3.32	705	49	1.51	655
10	1126	14.0000...	4.69	54	49.00000	2.520000	804	42	1.42	0.55	3.25	1098	50	1.58	1317
11	1049	12.4571...	5.27	31	43.60000	2.242286	943	37	2.69	0.32	3.48	660	36	2.63	652
12	976	21.2857...	5.63	40	74.50000	3.831429	2116	62	2.88	0.29	3.51	711	39	2.82	640
13	904	36.2857...	4.61	48	127.00000	6.531429	961	42	1.78	2.23	1.57	1288	55	1.13	1434
14	864	14.3142...	5.45	50	50.10000	2.576571	747	40	1.92	0.34	3.46	685	46	1.86	919
15	1042	18.4571...	4.73	54	64.60000	3.322286	855	38	1.92	0.80	3.00	938	43	1.91	1421
16	1518	17.6571...	5.12	51	61.80000	3.178286	2296	60	1.17	0.23	3.57	1022	65	0.99	1708

Εικόνα 5.14 Ενδεικτικό τμήμα πίνακα FINAL

5.6.2 Κώδικας

Με το αρχείο excel να βρίσκεται πλέον στην πλατφόρμα της R-studio, επόμενο βήμα είναι η σύνταξη του κώδικα με σκοπό τη δημιουργία γραμμικών μοντέλων και διαφόρων διαγραμμάτων για την καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία των μεταβλητών. Η μορφή του κώδικα φαίνεται στην Εικόνα 5.15.



Εικόνα 5.15 Πλατφόρμα R-studio

Σε πρώτο στάδιο γίνεται χρήση της εντολής *library()* στο πάνω αριστερά μέρος της Εικόνας 5.15, στο οποίο γράφεται ο κώδικας. Η εντολή *library(όνομα πακέτου)* ανακαλεί ήδη εγκατεστημένα υποπρογράμματα της R τα οποία είναι απαραίτητα για την δημιουργία του τελικού κώδικα. Κάποια από τα σημαντικότερα υποπρογράμματα παρατίθενται παρακάτω:

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

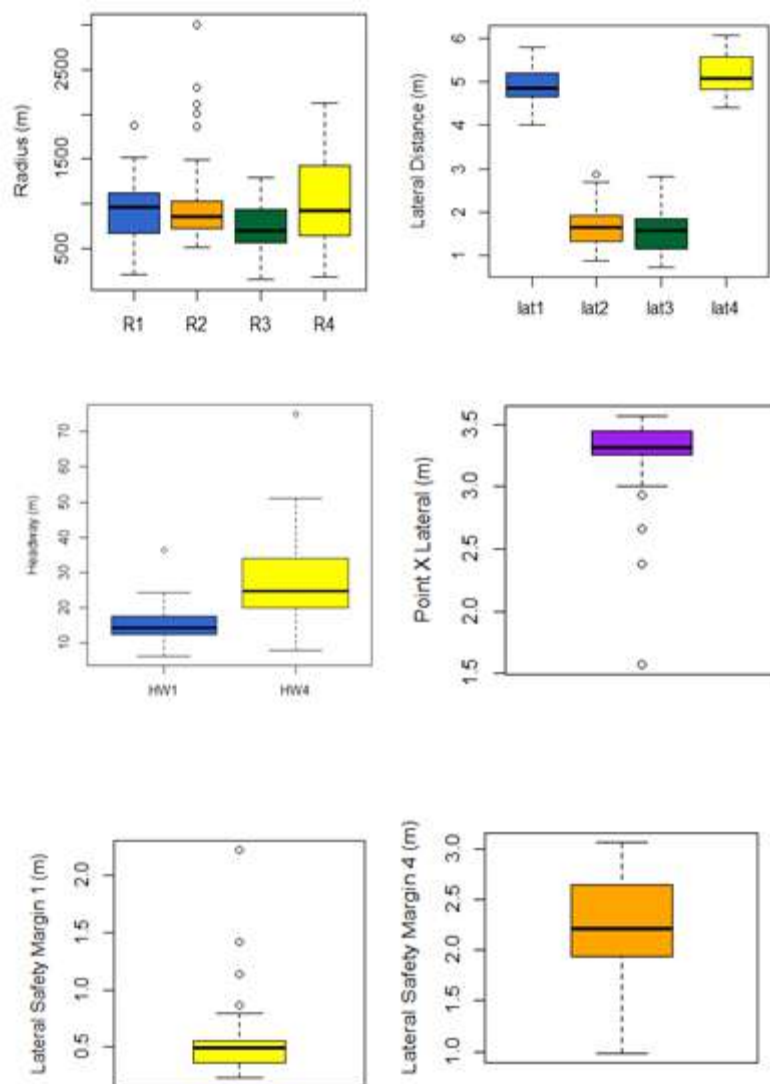
Αφού γίνει εισαγωγή του Excel στην R, εισάγονται ακόμα τρία αρχεία μορφής Excel (Εικόνα 5.16), στα οποία γίνεται διαχωρισμός των δεδομένων με βάση τα σενάρια ταχύτητας. Δηλαδή, εκτός από το αρχείο **FINAL** το οποίο περιέχει το σύνολο των δεδομένων, δημιουργήθηκαν και τα αρχεία **FINAL70**, **FINAL80**, **FINAL90** στα οποία εμπεριέχονται τα δεδομένα για 70km/h, 80km/h και 90/km/h αντίστοιχα. Αυτό είχε ως στόχο, αφού βρεθεί το τελικό μοντέλο για τον ενοποιημένο πίνακα, να γίνει περαιτέρω διερεύνηση για το πιο σενάριο ταχύτητας ερμηνεύουν καλύτερα οι μεταβλητές.

```
FINAL<- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-over\\RESULTS\\FINAL.xlsx")
FINAL70 <- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-over\\RESULTS\\FINAL70.xlsx")
FINAL80 <- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-over\\RESULTS\\FINAL80.xlsx")
FINAL90 <- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-over\\RESULTS\\FINAL90.xlsx")
```

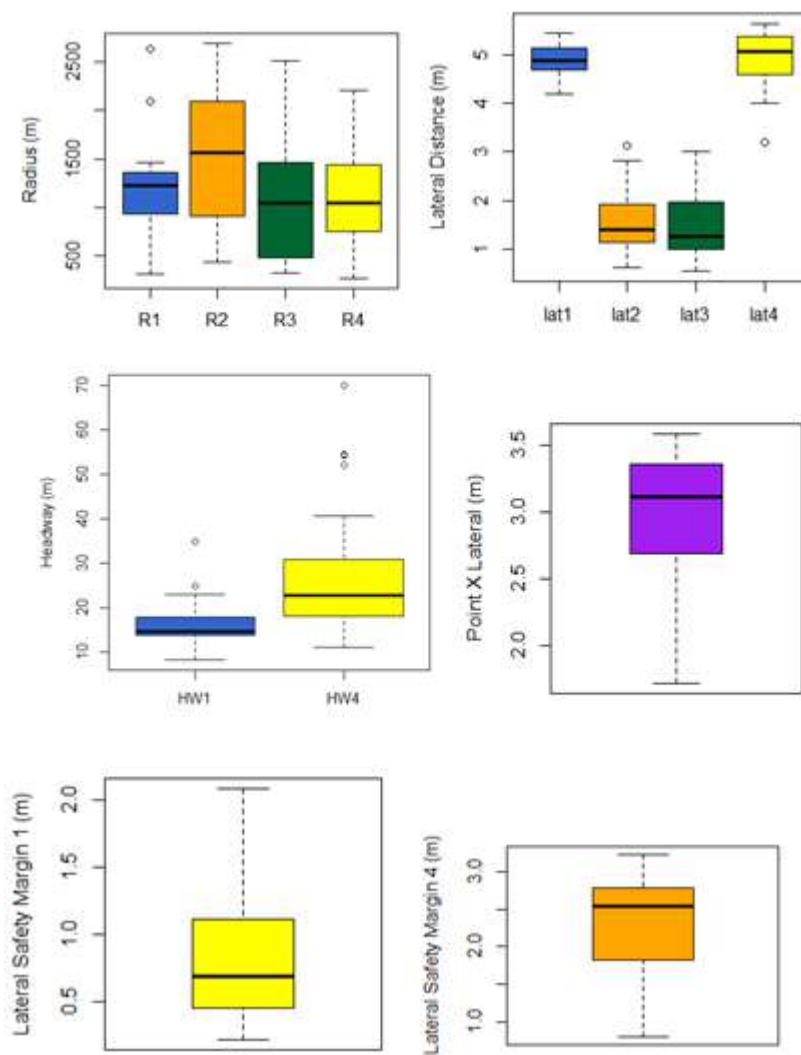
Εικόνα 5.16 Εισαγωγή excel στην R-studio

Έπειτα, μέσω της εντολής *boxplot(name, y="name")* δημιουργούνται *boxplot* για κάθε μεταβλητή, τα οποία φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 5.17 έως Εικόνα 5.19). Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν για κάθε σενάριο ταχύτητας *boxplots* για:

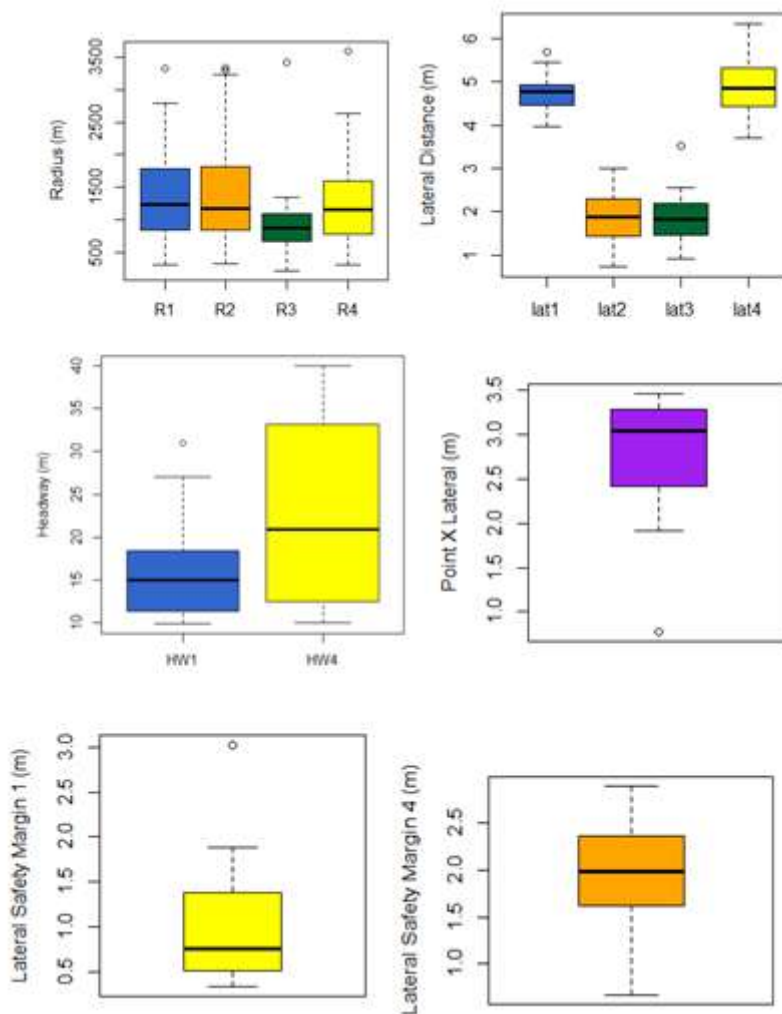
- Ακτίνες (R_1 , R_2 , R_3 , R_4).
- Headway (HW1, HW4).
- Εγκάρσιες αποστάσεις (lat1, lat2, lat3, lat4).
- Εγκάρσια απόσταση στο μηδενισμού της απόστασης μεταξύ των οχημάτων για την Φάση 1 και την Φάση 3 (latX).
- Εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων στα σημεία μηδενισμού της μεταξύ τους απόστασης (lat_{sm}1, lat_{sm}4).



Εικόνα 5.17 Βοχplot μεταβλητών για ταχύτητα $V=70\text{km/h}$



Εικόνα 5.18 Βοχplot μεταβλητών για ταχύτητα $V=80\text{km/h}$



Εικόνα 5.19 Boxplot μεταβλητών για ταχύτητα $V=90\text{km/h}$

Με τον τρόπο αυτό γίνεται εξαγωγή διαφόρων στοιχείων όπως η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη τιμή του δείγματος. Ο τρόπος με τον οποίο ερμηνεύονται τα boxplot και οι πληροφορίες που δίνουν παρουσιάζονται αναλυτικά στην **Παράγραφο 3.4.1**.

Συνεχίζοντας, επειδή σε ορισμένες από τις προσπεράσεις η απόσταση μεταξύ των οχημάτων για την πρώτη φάση, μηδενιζόταν κάποιες φορές κατά τη διάρκεια της R_1 και άλλες κατά τη διάρκεια της R_2 , αυτό ώθησε στην ανάγκη δημιουργίας μεταβλητών που να εμπεριέχουν τις ακτίνες ανά δυο, αφού τα σημεία μηδενισμού της απόστασης αποτελούν τα σημεία ενδιαφέροντος για την εύρεση των διάφορων ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των τελικών μοντέλων. Για τον λόγο αυτό, έγινε υπολογισμός των **μέσων όρων των ακτινών**.

Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκαν καινούριες μεταβλητές με σκοπό να επιτευχθεί καλύτερο ποιοτικά μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν

οι λογάριθμοι και τα τετράγωνα των ήδη υπάρχοντων δεδομένων. Ο κώδικας με τον οποίο επιτεύχθηκε αυτό φαίνεται ενδεικτικά στις Εικόνες 5.20 και 5.21.

```

46 - ### ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΙ ###
47 FINAL$logmedR1R2 <- log10(FINAL$medR1R2)
48 FINAL$logmedR3R4 <- log10(FINAL$medR3R4)
49 FINAL70$logmedR1R2 <- log10(FINAL70$medR1R2)
50 FINAL70$logmedR3R4 <- log10(FINAL70$medR3R4)
51 FINAL80$logmedR1R2 <- log10(FINAL80$medR1R2)
52 FINAL80$logmedR3R4 <- log10(FINAL80$medR3R4)
53 FINAL90$logmedR1R2 <- log10(FINAL90$medR1R2)
54 FINAL90$logmedR3R4 <- log10(FINAL90$medR3R4)
55
56 FINAL$logR1 <- log10(FINAL$R1)
57 FINAL$logR2 <- log10(FINAL$R2)
58 FINAL$logR3 <- log10(FINAL$R3)
59 FINAL$logR4 <- log10(FINAL$R4)
60 FINAL$logRL1 <- log10(FINAL$RL1)
61 FINAL$logRL2 <- log10(FINAL$RL2)
62 FINAL$logRL3 <- log10(FINAL$RL3)
63 FINAL$logRL4 <- log10(FINAL$RL4)
64 FINAL$logHw1 <- log10(FINAL$Hw1)
65 FINAL$loglat1 <- log10(FINAL$lat1)
66 FINAL$loglatX1 <- log10(FINAL$latX1)
67 FINAL$logt <- log10(FINAL$t)
68 FINAL$loglat2 <- log10(FINAL$lat2)
69 FINAL$loglatSm1 <- log10(FINAL$latSm1)
70 FINAL$loglat3 <- log10(FINAL$lat3)

```

Εικόνα 5.20 Δημιουργία λογαρίθμων στην R-studio

```

152 ##### ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ ###
153 FINAL$R12 <- (FINAL$R1)**2
154 FINAL$R22 <- (FINAL$R2)**2
155 FINAL$R32 <- (FINAL$R3)**2
156 FINAL$R42 <- (FINAL$R4)**2
157 FINAL$RL12 <- (FINAL$RL1)**2
158 FINAL$RL22 <- (FINAL$RL2)**2
159 FINAL$RL32 <- (FINAL$RL3)**2
160 FINAL$RL42 <- (FINAL$RL4)**2
161 FINAL$Hw12 <- (FINAL$Hw1)**2
162 FINAL$lat12 <- (FINAL$lat1)**2
163 FINAL$latX12 <- (FINAL$latX1)**2
164 FINAL$t2 <- (FINAL$t)**2
165 FINAL$lat22 <- (FINAL$lat2)**2
166 FINAL$latSm12 <- (FINAL$latSm1)**2
167 FINAL$lat32 <- (FINAL$lat3)**2
168 FINAL$Hw42 <- (FINAL$Hw4)**2
169 FINAL$lat42 <- (FINAL$lat4)**2
170 FINAL$X42 <- (FINAL$X4)**2
171 FINAL$latSm42 <- (FINAL$latSm4)**2
172 FINAL$X12 <- (FINAL$X1)**2
173 FINAL$latX42 <- (FINAL$latX4)**2
174 FINAL$V2 <- (FINAL$V)**2
175 FINAL$X22 <- (FINAL$X2)**2

```

Εικόνα 5.21 Δημιουργία τετραγώνων στην R-studio

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένας τελικός πίνακας με 72 γραμμές και 76 στήλες, κάποιες από τις οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.22.

logR1	logR2	logR3	logR4	logRL1	logRL2	logRL3	logRL4	logHW1	loglat1	loglatX1	logt
2.966611	2.979548	2.972666	3.117603	1.491362	1.477121	1.579784	1.568202	0.7781513	0.6646420	0.542825427	0.3624825
3.108903	3.172311	2.880242	3.144885	1.792392	1.748188	1.602060	1.819544	1.0000000	0.6693169	0.487138375	0.5733358
2.421604	2.714330	2.195900	2.309630	1.431364	1.653213	1.397940	1.477121	0.9542425	0.6963564	0.198657087	0.6566730
2.326336	2.750508	2.392697	2.269513	1.342423	1.544068	1.462398	1.204120	0.9542425	0.6866363	0.214843848	0.6635125
3.272306	3.477121	3.107210	3.185542	1.755875	1.886491	1.812913	1.819544	1.3617278	0.6599162	0.139879086	0.8907563
2.591065	2.705864	2.411620	2.916454	1.301030	1.079181	1.462398	1.531479	0.6989700	0.7626786	0.506505032	0.7764106
3.010300	3.012415	3.041393	3.327563	1.544068	1.397940	1.397940	1.602060	1.1139434	0.6766936	0.245512668	0.7085908
3.130655	3.302331	2.846337	2.789581	1.397940	1.322219	1.079181	1.505150	1.1461280	0.6042261	0.190331698	0.8396037
2.828015	2.875061	2.848189	2.816241	1.623249	1.568202	1.690196	1.591065	1.0791812	0.6928469	0.187520721	0.7582456
3.051538	2.905256	3.040602	3.119586	1.732394	1.623249	1.698970	1.806180	0.9542425	0.6711728	0.201397124	0.7477535
3.020775	2.974512	2.819544	2.814248	1.491362	1.568202	1.556303	1.230449	0.8450980	0.7218106	0.419955748	0.6768764
2.989450	3.325516	2.851870	2.806180	1.602060	1.792392	1.591065	1.447158	1.2041200	0.7505084	0.469822016	0.7918309
2.956168	2.982723	3.109916	3.156549	1.681241	1.623249	1.740363	1.778151	1.5563025	0.6637009	0.212187604	0.7549596
2.936514	2.873321	2.835691	2.963316	1.698970	1.602060	1.662758	1.681241	0.9542425	0.7363965	0.307496038	0.7323938
3.017868	2.931966	2.972203	3.152594	1.732394	1.579784	1.633468	1.740363	0.7781513	0.6748611	0.334453751	0.7604225
3.181272	3.360972	3.009451	3.232488	1.707570	1.778151	1.812913	1.845098	1.2304489	0.7092700	0.130333768	0.9026555
2.977724	2.746634	2.770115	2.712650	1.826075	1.518514	1.591065	1.518514	1.0000000	0.7160033	0.181843588	0.7918309
2.748188	2.760422	2.387390	2.774517	1.447158	1.643453	1.342423	1.740363	0.7781513	0.6232493	0.348304863	0.3758464

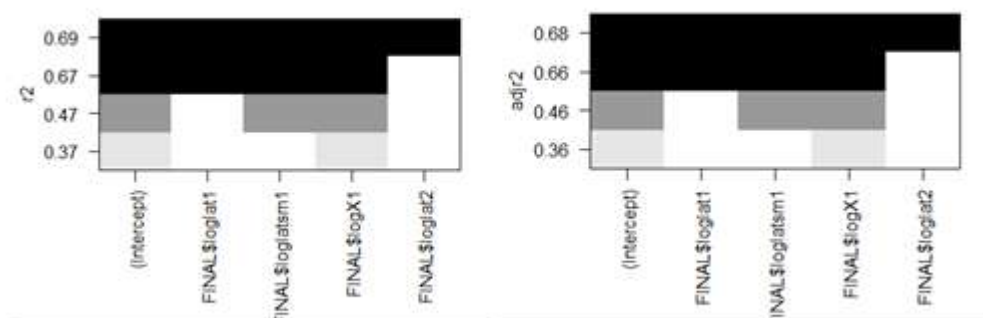
Εικόνα 5.22 Ενδεικτικό τμήμα τελικού πίνακα δεδομένων

Πλέον, υπάρχουν αρκετά στοιχεία έτσι ώστε να γίνει η εύρεση των μοντέλων. Ως εξαρτημένη μεταβλητή χρησιμοποιήθηκε αυτή που εκφράζει τη μέση ακτίνα των ελιγμών στη Φάση 1 και Φάση 3 αντίστοιχα.

Αρχικά χρησιμοποιώντας την εντολή *regsubsets*, της οποίας η μορφή φαίνεται στην Εικόνα 5.23, δημιουργείται ένα διάγραμμα μέσω του οποίου φαίνεται η τιμή του R^2 ή του προσαρμοσμένου R^2 , ενώ επίσης μπορεί κανείς να διακρίνει και τη συσχέτιση των μεταβλητών (Εικόνα 5.24).

```
reg1=regsubsets(FINAL$medRIR2 ~ FINAL$loglat1 + FINAL$loglatism1 +FINAL$logX1 +FINAL$loglat2,
nbest=1, nvmax=30, data= FINAL, weights=NULL)
plot(reg1,scale="r2")
```

Εικόνα 5.23 Μορφή εντολής regsubsets



Εικόνα 5.24 Διαγράμματα R^2 , Προσαρμοσμένου R^2

Μέσω του διαγράμματος αυτού, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει διαχωρισμός των μεταβλητών με βάση την στατιστική σημαντικότητα τους σε σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ποιοτικότερου μοντέλου.

Τέλος, ως τελευταίο κομμάτι του κώδικα χρησιμοποιείται η εντολή `lm()` εντός της οποίας δημιουργείται το μοντέλο με εξαρτημένη μεταβλητή το μέσο όρο των ακτινών και ανεξάρτητες τις μεταβλητές που αναφέρθηκαν στη **Παράγραφο 5.6.1**. Η μορφή της εντολής φαίνεται στην Εικόνα 5.25.

```
reg2=lm(FINAL$logmedR1R2 ~ FINAL$loglat1 + FINAL$loglatism1 +FINAL$logx1 +FINAL$loglat2)
summary(reg2)
AIC(reg2)
BIC(reg2)
```

Εικόνα 5.25 Κώδικας δημιουργίας τελικού μοντέλου

Αφού γραφτεί η εντολή και τοποθετηθούν οι μεταβλητές, χρησιμοποιώντας την εντολή `summary()`, εμφανίζονται τα αποτελέσματα της Εικόνας 5.26.

```
Call:
lm(formula = FINAL$logmedR1R2 ~ FINAL$loglat1 + FINAL$loglatism1 +
    FINAL$logx1 + FINAL$loglat2)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.33364 -0.08535 -0.00137  0.08377  0.22717

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    2.37331    0.31810   7.461 2.25e-10 ***
FINAL$loglat1  -3.02335    0.45785  -6.603 7.72e-09 ***
FINAL$loglatism1 -0.55928    0.07743  -7.223 6.04e-10 ***
FINAL$logx1     1.51333    0.12675  11.940 < 2e-16 ***
FINAL$loglat2   -0.20910    0.09738  -2.147  0.0354 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1242 on 67 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6949,    Adjusted R-squared:  0.6767
F-statistic: 38.15 on 4 and 67 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Εικόνα 5.26 Αποτελέσματα εντολής `lm`, τελικό μοντέλο

Στην αρχή φαίνεται η μορφή του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε ή αλλιώς η φόρμουλα μέσω της οποίας δημιουργήθηκε το μοντέλο. Επίσης, κάτω αριστερά εμφανίζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η επιρροή τους στην εξαρτημένη μεταβλητή. Αναλόγως με τα αστερία που εμφανίζονται στο δεξί μέρος, αναδεικνύεται η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών. Η καλύτερη συσχέτιση είναι αυτή των τριών αστεριών όπως εξηγείται και στην **Παράγραφο 3.5.3**.

Η διαδικασία αυτή, επαναλήφθηκε για τη δημιουργία οχτώ συνολικά μοντέλων.

5.6.3 Στατιστικά ποιοτικό μοντέλο

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

Όπως έχει προαναφερθεί, η τιμή του R^2 προκύπτει από τη χρήση των εντολών *regsubsets* και *lm()*. Η επιλογή του μοντέλου συνδέεται άμεσα με το πόσο κοντά είναι η τιμή του R^2 στο 1.

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

Με βάση αυτά έγινε η επιλογή των τελικών μοντέλων που παρουσιάζονται παρακάτω.

5.6.4 Αποτελέσματα

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

Η επιλογή των μεταβλητών για τη δημιουργία των τελικών μοντέλων έγινε μετά από πλήθος δοκιμών έτσι ώστε να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών. Τα τελικά αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 5.27 έως Εικόνα 5.34).

R- PHASE 1 MODEL				
Call:				
lm(formula = FINAL\$logmedR1R2 ~ FINAL\$loglat1 + FINAL\$loglatm1 + FINAL\$logX1 + FINAL\$loglat2)				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,33364	-0,08535	-0,00137	0,08377	0,22717
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2,37E+00	3,18E-01	7,46E+00	2,25E-10 ***
FINAL\$loglat1	-3,02E+00	4,58E-01	-6,60E+00	7,72E-09 ***
FINAL\$loglatm1	-5,59E-01	7,74E-02	-7,22E+00	6,04E-10 ***
FINAL\$logX1	1,51E+00	1,27E-01	1,19E+01	2,00E-16 ***
FINAL\$loglat2	-2,09E-01	9,74E-02	-2,15E+00	3,54E-02 *
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0.1242 on 67 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0.6949, Adjusted R-squared: 0.6767				
F-statistic: 38,15 on 4 and 67 DF, p-value: < 2,2e-16				

Εικόνα 5.27 Μοντέλο Μέσου όρου μεταξύ R_1 , R_2

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R_1, R_2 .

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1):

$$\log R_{12}(m) = 2,37 - 3,02 \cdot \log lat1(m) - 5,59 \cdot 10^{-1} \cdot \log latsm1(m) + 1,51 \cdot \log X1(m) - 2,09 \cdot 10^{-1} \cdot \log lat2(m) \quad (5.6)$$

$R^2=0.6949$, Προσαρμοσμένο $R^2=0.6767$

- **R₁, R₂:** Πρώτη και δεύτερη ακτίνα αντίστοιχα για την 1^η φάση της προσπέρασης.
- **lat1:** Εγκάρσια απόσταση του οχήματος του οδηγού από το αριστερό άκρο του δρόμου κατά την αρχή της R₁
- **X1:** Η απόσταση που διανύει το όχημα του οδηγού μέχρι να μηδενιστεί η απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων (Headway=0).
- **lat_{sm1}** (lateral safety margin): Εγκάρσια απόσταση μεταξύ των οχημάτων τη στιγμή που βρίσκεται στο σημείο μηδενισμού της απόστασης μεταξύ των οχημάτων.
- **lat2:** Εγκάρσια απόσταση του οχήματος του οδηγού από το αριστερό άκρο του δρόμου κατά την ολοκλήρωση της R₂.

Στη συνέχεια, για την 1^η φάση της προσπάθειας έγινε διαχωρισμός και δημιουργία μοντέλων με βάση τα 3 διαφορετικά σενάρια ταχύτητας. (70km/h, 80km/h, 90km/h).

R- PHASE 1 MODEL, V=70km/h				
Call:				
lm(formula = FINAL70\$logmedR1R2 ~ FINAL70\$loglat1 + FINAL70\$loglat1sm1 + FINAL70\$logX1)				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,233688	-0,072057	-0,00623	0,061538	0,28675
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3,07E+00	4,72E-01	6,51E+00	1,90E-06 ***
FINAL70\$loglat1	-4,08E+00	8,29E-01	-4,93E+00	7,11E-05 ***
FINAL70\$loglat1sm1	-6,98E-01	1,41E-01	-4,96E+00	6,61E-05 ***
FINAL70\$logX1	1,47E+00	1,98E-01	7,39E+00	2,86E-07 ***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0,1168 on 21 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,7275, Adjusted R-squared: 0.6886				
F-statistic: 18,69 on 3 and 21 DF, p-value: < 3,867e-06				
AIC= -30,77681 BIC= -24,68243				

Εικόνα 5.28 Μοντέλο μέσου όρου R_1 , R_2 για $V=70\text{km/h}$

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R_1 , R_2 για ταχύτητα 70km/h.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1, $V=70\text{km/h}$):

$$\log R_{12}(m) = 3,07 - 4,08 \cdot \log \text{lat}1(m) - 6,98 \cdot 10^{-1} \cdot \log \text{lat}1\text{sm}1(m) + 1,47 \cdot \log X1(m) \quad (5.7)$$

$R^2=0.7275$, Προσαρμοσμένο $R^2=0.6886$

R- PHASE 1 MODEL, V=80km/h					
Call:					
lm(formula = FINAL80\$logmedR1R2 ~ FINAL80\$loglat1 + FINAL80\$loglatsm1 + FINAL80\$logX1)					
Residuals:					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-0,17424	-0,06148	-0,01337	0,0866	0,1782	
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	2,52E+00	6,01E-01	4,19E+00	4,94E-04	***
FINAL80\$loglat1	-4,09E+00	9,38E-01	-4,36E+00	3,39E-04	***
FINAL80\$loglatsm1	-5,52E-01	1,34E-01	-4,12E+00	5,85E-04	***
FINAL80\$logX1	1,84E+00	2,65E-01	6,95E+00	1,26E-06	***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0,1145 on 19 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.7315, Adjusted R-squared: 0.6891				AIC= -28,80677	
F-statistic: 17.26 on 3 and 19 DF, p-value: < 1,181e-05				BIC= -23,1293	

Εικόνα 5.29 Μοντέλο μέσου όρου R_1 , R_2 για $V=80\text{km/h}$

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R_1 , R_2 για $V=80\text{km/h}$.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1, $V=80\text{km/h}$):

$$\log R_{12}(m) = 2,52 - 4,09 \cdot \log lat1(m) - 5,52 \cdot 10^{-1} \cdot \log latsm1(m) + 1,84 \cdot \log X1(m) \quad (5.8)$$

$R^2=0.7315$, Προσαρμοσμένο $R^2=0.6891$

R- PHASE 1 MODEL, V=90km/h					
Call:					
lm(formula = FINAL90\$logmedR1R2 ~ FINAL90\$lat1 + FINAL90\$loglatsm1 + FINAL90\$logX1)					
Residuals:					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-0,272947	-0,059294	-0,00078	0,073763	0,2235	
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	2,19E+00	6,16E-01	3,55E+00	2,02E-03	**
FINAL90\$loglat1	-2,24E+00	7,76E-01	-2,88E+00	9,22E-03	**
FINAL90\$loglatsm1	-5,10E-01	1,27E-01	-4,01E+00	6,85E-04	***
FINAL90\$logX1	1,30E+00	2,30E-01	5,64E+00	1,60E-05	***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0,1373 on 20 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0,6469, Adjusted R-squared: 0.594				AIC= -21,57038	
F-statistic: 12.22 on 3 and 20 DF, p-value: 9,175e-05				BIC= -15,68011	

Εικόνα 5.30 Μοντέλο μέσου όρου R_1, R_2 για $V=90\text{km/h}$

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R_1, R_2 για $V=90\text{km/h}$.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1, $V=90\text{km/h}$):

$$\log R_{12}(m) = 2,19 - 2,24 \cdot \log lat1(m) - 5,10 \cdot 10^{-1} \cdot \log latsm1(m) + 1,30 \cdot \log X1(m) \quad (5.9)$$

$R^2=0.6469$, Προσαρμοσμένο $R^2=0.594$

R- PHASE 3 MODEL					
Call:					
lm(formula = FINAL\$logmedR3R4 ~ FINAL\$logX2 + FINAL\$latism42 + FINAL\$lat42)					
Residuals:					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-0,43225	-0,12085	0,02128	0,11361	0,35415	
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1,39E+00	2,70E-01	5,15E+00	2,38E-06	***
FINAL\$logX2	1,06E+00	1,52E-01	6,96E+00	1,68E-09	***
FINAL\$latism42	-3,52E-02	9,82E-03	-3,58E+00	6,40E-04	***
FINAL\$lat42	-1,25E-02	3,65E-03	-3,42E+00	1,06E-03	**
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0,1746 on 68 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0,4499, Adjusted R-squared: 0.4256					
F-statistic: 18,54 on 3 and 68 DF, p-value: 6,794e-09					
					AIC=-41,13169
					BIC=-29,74836

Εικόνα 5.31 Μοντέλο Μέσου όρου μεταξύ R₃, R₄

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R₃, R₄.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 3):

$$R_{34}(m) = 1,39 + 1,06 \cdot \log X2(m) - 3,52 \cdot 10^{-2} \cdot \text{latism}4^2(m^2) - 1,25 \cdot 10^{-2} \cdot \text{lat}4^2(m^2) \quad (5.10)$$

R²=0.4499, Προσαρμοσμένο R²=0.4256

- **R₃, R₄:** Τρίτη και τέταρτη ακτίνα αντίστοιχα για την τρίτη φάση της προσπέρασης.
- **X2:** Απόσταση που διανύει το όχημα από τη στιγμή που η μεταξύ απόσταση των οχημάτων είναι μηδενική κατά την τρίτη φάση, μέχρι το τέλος της προσπέρασης.(X4+Headway4)
- **latism4:** Εγκάρσια απόσταση μεταξύ των οχημάτων όταν η απόσταση τους είναι μηδενική (Headway=0) κατά την τρίτη φάση της προσπέρασης.
- **lat3:** Εγκάρσια απόσταση του οχήματος από το αριστερό άκρο του δρόμου κατά την αρχή της R₁.
- **lat4:** Εγκάρσια απόσταση του οχήματος από το αριστερό άκρο του δρόμου κατά την ολοκλήρωση της προσπέρασης (ολοκλήρωση της R₄)

Στη συνέχεια, για την 3^η φάση της προσπέρασης έγινε διαχωρισμός και δημιουργία μοντέλων με βάση τα 3 διαφορετικά σενάρια ταχύτητας. (70km/h, 80km/h, 90km/h).

R- PHASE 3 MODEL V=70km/h					
Call:					
lm(formula = FINAL70\$logmedR3R4 ~ FINAL70\$logX2 + FINAL70\$loglat4 + FINAL70\$loglat3)					
Residuals:					
Min	1Q	Median	3Q	Max	
-0,39251	-0,06879	0,03291	0,07854	0,2922	
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	2,22E+00	6,33E-01	3,51E+00	2,07E-03	**
FINAL70\$logX2	1,42E+00	2,42E-01	5,88E+00	7,84E-06	***
FINAL70\$loglat4	-3,19E+00	8,16E-01	-3,91E+00	8,05E-04	***
FINAL70\$loglat3	1,08E+00	3,16E-01	3,43E+00	2,54E-03	**
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0,6644 on 21 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0,6644, Adjusted R-squared: 0,6165					
F-statistic: 13,86 on 3 and 21 DF, p-value: 3,308e-05					
					AIC=-17,32154
					BIC=-11,22716

Εικόνα 5.32 Μοντέλο μέσου όρου R_3 , R_4 για $V=70\text{km/h}$

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R_3 , R_4 για $V=70\text{km/h}$.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 3, $V=70\text{km/h}$):

$$R_{34}(m) = 2,22 + 1,42 \cdot \log X2(m) - 3,19 \cdot \log lat4(m) + 1,08 \cdot \log lat3(m) \quad (5.11)$$

$R^2=0.6644$, Προσαρμοσμένο $R^2=0.6165$

R- PHASE 3 MODEL V=80km/h				
Call:				
lm(formula = FINAL80\$logmedR3R4 ~ FINAL80\$X2 + FINAL80\$latism4)				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,32182	-0,11558	0,01016	0,12483	0,31463
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2,77E+00	1,19E-01	2,33E+01	5,82E-16 ***
FINAL80\$X2	4,62E-03	1,34E-03	3,46E+00	2,48E-03 **
FINAL80\$latism4	-1,05E-01	4,78E-02	-2,19E+00	4,03E-02 *
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0,1774 on 20 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,3817, Adjusted R-squared: 0,3199				
F-statistic: 6,174 on 2 and 20 DF, p-value: 0,00816				
AIC=-9,490795				
BIC=-4,948818				

Εικόνα 5.33 Μοντέλο μέσου όρου R₃, R₄ για V=80km/h

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R₃, R₄ για V=80km/h.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 3,V=80km/h):

$$R_{34}(m) = 2,77 + 4,62 \cdot 10^{-3} \cdot X2(m) - 1,05 \cdot 10^{-1} \cdot latism4(m) \quad (5.12)$$

R²=0.3817, Προσαρμοσμένο R²=0.3199

R- PHASE 3 MODEL V=90km/h				
Call:				
lm(formula = FINAL90\$logmedR3R4 ~ FINAL90\$logX2 + FINAL90\$latX42)				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,34413	-0,14651	0,03876	0,09633	0,30519
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1,10E+00	5,05E-01	2,18E+00	4,11E-02 *
FINAL90\$logX2	9,10E-01	2,43E-01	3,75E+00	1,19E-03 **
FINAL90\$latX42	3,43E-02	1,34E-02	2,57E+00	1,80E-02 *
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0,1739 on 21 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,4043, Adjusted R-squared: 0,3475				
F-statistic: 7,126 on 2 and 21 DF, p-value: 0,004344				
AIC=-11,0652				
BIC=-6,352988				

Εικόνα 5.34 Μοντέλο μέσου όρου R₃, R₄ για V=90km/h

Από την παραπάνω Εικόνα προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον μέσο όρο των ακτινών R₃, R₄ για V=90km/h.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 3,V=90km/h):

$$R_{34}(m) = 1,10 + 9,10 \cdot 10^{-1} \cdot \log X2(m) - 3,43 \cdot 10^{-2} \cdot latX4^2(m^2) \quad (5.13)$$

R²=0.4043, Προσαρμοσμένο R²=0.3475

6. Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Η συγκεκριμένη Διπλωματική εργασία, έχει ως σκοπό τη **προτυποποίηση της τροχιάς προσπέρασης αυτόνομων οχημάτων κινούμενα με σταθερή ταχύτητα μέσω προσομοιωτή οδήγησης**.

Μετά την παρουσίαση του στόχου της διπλωματικής ακολούθησε η **βιβλιογραφική ανασκόπηση**, στην οποία παρουσιάζονται συναφείς έρευνες με αυτές της διπλωματικής. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ο στόχος κάθε έρευνας, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τέλος η εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία **συλλογής δεδομένων μέσω του προσομοιωτή οδήγησης**. Στο πείραμα έλαβαν μέρος 31 οδηγοί εκ των οποίων 15 ήταν άντρες και 16 γυναίκες, ηλικίας από 20 έως 27 ετών. Αρχικά, έγινε διανομή και συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, όπως φαίνεται στο **Παράρτημα Α**, με σκοπό τη δημιουργία ατομικού προφίλ του καθενός και καθεμίας από τους συμμετέχοντες, που αφορούν την οδήγηση σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον, την εμπλοκή σε ατυχήματα, την τήρηση και συμμόρφωση με τα όρια ταχύτητας κλπ. Το σενάριο του πειράματος αφορούσε υπεραστική οδό δύο λωρίδων χωρίς επερχόμενη κυκλοφορία για τρία διαφορετικά όρια ταχύτητας 70km/h, 80km/h & 90km/h.

Ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τον προσομοιωτή. Αρχικά, μέσω του **γωνιακού διαγράμματος**, προσδιορίστηκε η τιμή των ακτινών καμπυλότητας για κάθε φάση προσπέρασης (2 φάσεις, δύο ακτίνες ανά φάση). Για κάθε ακτίνα καμπυλότητας βρέθηκαν διάφορες μεταβλητές όπως ταχύτητα, επιτάχυνση, απόσταση του οχήματος που πραγματοποιεί την προσπέραση από το προπορευόμενο κ.α. Στη συνέχεια, ακολούθησε η εύρεση μεταβλητών οι οποίες δεν προέκυπταν άμεσα από τον προσομοιωτή. Οι μεταβλητές αυτές αφορούσαν τις πλευρικές αποστάσεις του οχήματος που πραγματοποίησε την προσπέραση σε σχέση το προπορευόμενο όχημα καθώς και με την οριογραμμή της οδού.

Έγινε προσπάθεια προτυποποίησης της τροχιάς προσπέρασης και η **δημιουργία στατιστικών μοντέλων** με τη μέθοδο της **γραμμικής παλινδρόμησης** και της **λογαριθμικής γραμμικής παλινδρόμησης**. Επειδή κάποιες μεταβλητές επηρέαζαν ταυτόχρονα δύο ακτίνες, ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε ο μέσος όρος των ακτινών ανά δύο και ως ανεξάρτητες οι διάφορες πλευρικές και οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων.

Η τελική μορφή των μοντέλων για τις Φάσεις 1,3 φαίνονται στις Εικόνες 6.1, 6.2 αντίστοιχα, καθώς και η συσχέτιση των μεταβλητών παρατίθενται συνοπτικά στον Πίνακα 6.1.

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1):

$$\log R_{12}(m) = 2,37 - 3,02 \cdot \log lat1(m) - 5,59 \cdot 10^{-1} \cdot \log latsm1(m) + 1,51 \cdot \log X1(m) - 2,09 \cdot 10^{-1} \cdot \log lat2(m)$$

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1, V=70km/h):

$$\log R_{12}(m) = 3,07 - 4,08 \cdot \log lat1(m) - 6,98 \cdot 10^{-1} \cdot \log latsm1(m) + 1,47 \cdot \log X1(m)$$

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1, V=80km/h):

$$\log R_{12}(m) = 2,52 - 4,09 \cdot \log lat1(m) - 5,52 \cdot 10^{-1} \cdot \log latsm1(m) + 1,84 \cdot \log X1(m)$$

Τελική μορφή μοντέλου(Φάση 1, V=90km/h):

$$\log R_{12}(m) = 2,19 - 2,24 \cdot \log lat1(m) - 5,10 \cdot 10^{-1} \cdot \log latsm1(m) + 1,30 \cdot \log X1(m)$$

Εικόνα 6.1 Τελική μορφή μοντέλων για τη Φάση 1 (Εξισώσεις 5.6 έως 5.9)

Τελική μορφή μοντέλου (Φάση 3):

$$R_{34}(m) = 1,39 + 1,06 \cdot \log X2(m) - 3,52 \cdot 10^{-2} \cdot latsm4^2(m^2) - 1,25 \cdot 10^{-2} \cdot lat4^2(m^2)$$

Τελική μορφή μοντέλου (Φάση 3, V=70km/h):

$$R_{34}(m) = 2,22 + 1,42 \cdot \log X2(m) - 3,19 \cdot \log lat4(m) + 1,08 \cdot \log lat3(m)$$

Τελική μορφή μοντέλου (Φάση 3, V=80km/h):

$$R_{34}(m) = 2,77 + 4,62 \cdot 10^{-3} \cdot X2(m) - 1,05 \cdot 10^{-1} \cdot latsm4(m)$$

Τελική μορφή μοντέλου (Φάση 3, V=90km/h):

$$R_{34}(m) = 1,10 + 9,10 \cdot 10^{-1} \cdot \log X2(m) - 3,43 \cdot 10^{-2} \cdot latX4^2(m^2)$$

Εικόνα 6.2 Τελική μορφή μοντέλων για τη Φάση 3 (Εξισώσεις 5.10 έως 5.13)

Πίνακας 6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων R^2 , Προσαρμοσμένου R^2

Εξαρτημένη μεταβλητή	R^2	Προσαρμοσμένο R^2
R_{12}	0.6949	0.6767
$R_{12}, (V=70km/h)$	0.7275	0.6886
$R_{12}, (V=80km/h)$	0.7315	0.6891
$R_{12}, (V=90km/h)$	0.6469	0.594
R_{34}	0.4499	0.4256
$R_{34}, (V=70km/h)$	0.6644	0.6165
$R_{34}, (V=80km/h)$	0.3817	0.3199
$R_{34}, (V=90km/h)$	0.4043	0.3475

6.2 Συμπεράσματα

Το σύνολο των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, συνοψίζονται στα εξής:

1. Από τα δεδομένα που λήφθηκαν μέσω του προσομοιωτή και του ερωτηματολογίου διαπιστώθηκε ότι αν και τελικώς το δείγμα δεν διαχωρίστηκε με βάση το φύλο, υπήρχαν εμφανείς διαφορές ανάμεσα σε γυναίκες και άντρες. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι γυναίκες φαίνεται να οδηγούν πιο προσεκτικά και συντηρητικά, αφού είχαν πιο ομαλές μεταβάσεις στις φάσεις της προσπέρασης διατηρώντας την ταχύτητα τους γενικά κάτω από το σχετικό όριο.
- Η εμπειρία οδήγησης των αντρών ήταν αρκετά μεγαλύτερη από αυτή των γυναικών, ακόμα και όταν κατείχαν το δίπλωμα οδήγησης για παρόμοιο χρονικό διάστημα.

2. Μέσω της εύρεσης των μεταβλητών των **αποστάσεων X** κατά τις φάσεις 1 & 3, καθώς και των μεταβλητών των εγκάρσιων αποστάσεων (**lateral X, lateral safety margin**) για τις προσπεράσεις σταθερής ταχύτητας που μελετώνται στην εν λόγω διπλωματική εργασία, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Το όχημα στην πρώτη φάση μπορεί να πραγματοποιήσει την προσπέραση με ασφάλεια, όταν ο χρόνος (t) που χρειάζεται για να διανύσει την απόσταση X στο εκάστοτε σενάριο ταχύτητας είναι μεγαλύτερος από αυτόν που αναγράφεται στον **Πίνακα 5.3** της Παραγράφου **5.5.2**. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να πραγματοποιήσει την προσπέραση με ασφάλεια όταν:
 - Για V=70km/h, t > 2,57 sec
 - Για V=80km/h, t > 2,65 sec
 - Για V=90km/h, t > 2,7 sec
- Η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των οχημάτων (lateral safety margin) είναι μεγαλύτερη στην 3^η φάση της προσπέρασης σε σχέση με την 1^η φάση, όπως φαίνεται στην σύγκριση μεταξύ των Πινάκων (**Πίνακας 5.3 & Πίνακας 5.4**). Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση μεταξύ των εγκάρσιων αποστάσεων για τις Φάσεις 1,3 φαίνεται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2 Σύγκριση εγκάρσιων αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων για τις Φάσεις 1,3

Values	V=70km/h	V=80km/h	V=90km/h
Lateral Safety Margin(Φάση 1 ^η) (m)	0,5	0,7	0,76
Lateral Safety Margin (Φάση 3 ^η) (m)	2,22	2,54	1,98

Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί στο ότι οι οδηγοί κατά την 1^η φάση της προσπέρασης, έχοντας το όχημα που επιδιώκουν να προσπεράσουν να προπορεύεται, μπορούν να ξεκινήσουν την προσπέραση τους πιο

ελεγχόμενα και πιο κοντά σε αυτό, σε σχέση με την 3^η φάση της προσπέρασης όπου το όχημα δεν βρίσκεται πλέον στο οπτικό τους πεδίο και με τα βοηθητικά μέσα (καθρέφτες) δεν μπορούν να προσδιορίσουν την ακριβή απόσταση μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, διατηρούν μεγαλύτερες πλευρικές αποστάσεις για λόγους ασφαλείας. Επίσης παρατηρήθηκε ότι δεν βιάζονται να επιστρέψουν στην αρχική τους λωρίδα.

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα αντίστοιχης έρευνας **Passing Path Assessment based on Driving Simulator Experiment 2020 [10]**, όπου οι προσπεράσεις έλαβαν χώρα σε συνθήκες επιτάχυνσης, παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Οι τιμές που αντιστοιχούν στο 50% των παρατηρήσεων των μεταβλητών (R_1, R_2, R_3, R_4 , Headway1, Headway4, lat1, lat2, lat3, lat4) έχουν παρόμοιες τιμές και στις δύο περιπτώσεις.
- Μικρή απόκλιση υπάρχει επίσης και στις εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων (lateral safety margin) κατά την 3^η φάση της προσπέρασης. Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση μεταξύ των εγκάρσιων αποστάσεων για την 3^η Φάση της προσπέρασης φαίνεται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3 Σύγκριση εγκάρσιων αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων για τη Φάση 3

3 ^η Φάση Προσπέρασης	Διπλωματική εργασία	Αντίστοιχη έρευνα
Lateral Safety Margin (V=70km/h) (m)	2,22	2,09
Lateral Safety Margin (V=90km/h) (m)	1,98	1,89

Αυτό οφείλεται στο ότι στην αντίστοιχη έρευνα, κατά την 3^η Φάση της προσπέρασης, τα οχήματα έχουν φτάσει την οριακή ταχύτητα που τους επιτρέπεται και πλέον κινούνται με σταθερή ταχύτητα. Επομένως, οι προσπεράσεις είναι πλέον σταθερής ταχύτητας και για τις δύο έρευνες γι' αυτό και είναι αναμενόμενο να καταλήξουν σε παραπλήσια αποτελέσματα.

- Παρόμοιες ήταν και οι τιμές των πλευρικών αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων κατά την 1^η φάση της προσπέρασης, όπως φαίνεται στη σύγκριση των Πινάκων (**Πίνακας 2.6 & Πίνακας 5.3**). Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση μεταξύ των εγκάρσιων αποστάσεων για την 1^η Φάση της προσπέρασης φαίνεται στον Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4 Σύγκριση εγκάρσιων αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων για τη Φάση 1

1 ^η Φάση Προσπέρασης	Διπλωματική εργασία	Αντίστοιχη έρευνα
Lateral Safety Margin (V=70km/h) (m)	0,5	0,75
Lateral Safety Margin (V=90km/h) (m)	0,76	1,05

Αυτό δείχνει ότι οι οδηγοί δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τον τρόπο κίνησης τους, δηλαδή από το αν θα πραγματοποιούν επιταχυνόμενη κίνηση ή κίνηση με σταθερή ταχύτητα, για τις πλευρικές αποστάσεις που επιλέγουν να κρατήσουν από το όχημα που επιχειρούν να προσπεράσουν.

Ένα επιπρόσθετο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι **δοκιμές στον προσομοιωτή** είναι αρκετά **αξιόπιστες** αφού οι οδηγοί, αν και σε ψηφιακό περιβάλλον, έδειξαν να μην επηρεάζονται αλλά να λειτουργούν όπως σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, διατηρώντας το αίσθημα κινδύνου ατυχήματος.

3. Από την **στατιστική ανάλυση** των τελικών δεδομένων και τη **δημιουργία στατιστικών μοντέλων**, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι μεταβλητές των **πλευρικών αποστάσεων** τόσο από το αριστερό άκρο του δρόμου όσο και μεταξύ των οχημάτων φάνηκε να **επηρεάζουν σημαντικά τα μοντέλα**.
- Μεταβλητές όπως η **ταχύτητα** και η **επιτάχυνση** κρίθηκαν στατιστικά **μη σημαντικές**, αναμενόμενο αφού οι προσπεράσεις είναι σταθερής ταχύτητας.
- Η μεταβλητή του μήκους τόξου προσπέρασης (**Radius Length**) , δεν λήφθηκε υπόψη στα τελικά μοντέλα αφού **συσχετίζεται άμεσα με τις εγκάρσιες αποστάσεις** του οχήματος και μετά από μαθηματικό υπολογισμό διαπιστώθηκε ότι ο προσομοιωτής δεν ήταν αρκετά αξιόπιστος σε σχέση με τη μέτρηση της συγκεκριμένης μεταβλητής.
- **Στατιστικά σημαντικές** ήταν και οι μεταβλητές των **αποστάσεων X**.

4. Οι τιμές του **Προσαρμοσμένου R^2** , οι οποίες είναι συγκεντρωμένες στον Πίνακας 6.1 για τα διάφορα μοντέλα που δημιουργήθηκαν δίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η συσχέτιση των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των μοντέλων σε σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή, είναι μεγαλύτερη στη **Φάση 1** από ότι στη **Φάση 3**. (**0.6767 & 0.4256 αντίστοιχα**). Και στις δύο περιπτώσεις, τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.
- Η τιμή του **Προσαρμοσμένου R^2** για την 1^η φάση είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με την 3^η φάση. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι οι οδηγοί έκαναν πιο απότομα την εναλλαγή από το αντίθετο ρεύμα στην αρχική λωρίδα κατά την ολοκλήρωση της προσπέρασης.
- Μετά τον διαχωρισμό με βάση την ταχύτητα , παρατηρήθηκε ότι στη **Φάση 3**, οι μεταβλητές είχαν **μεγαλύτερη συσχέτιση** με τις μετρήσεις των **70km/h**, όπου:
 - Για $V=70\text{km/h}$, **Προσαρμοσμένο $R^2= 0,6165$**
 - Για $V=80\text{km/h}$, **Προσαρμοσμένο $R^2= 0,3199$**
 - Για $V=90\text{km/h}$, **Προσαρμοσμένο $R^2= 0,3475$**

Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η προσπέραση με όριο ταχύτητας τα 70km/h, ήταν η πρώτη προσπέραση (πέρα από την δοκιμαστική) που πραγματοποιούσε ο εκάστοτε οδηγός. Για τον λόγο αυτό, έδινε μεγαλύτερη προσοχή στην ομαλή μετάβαση του τόσο στην εκκίνηση όσο και στην ολοκλήρωση της.

Ένα γενικότερο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ο **ανθρώπινος παράγοντας** έχει καθοριστικό ρόλο. Το πείραμα βασίστηκε σε δεδομένα που δημιουργήθηκαν από πραγματικούς οδηγούς. Για τον λόγο αυτό, είναι αναμενόμενο να υπάρχουν διαφορές στην συμπεριφορά του καθενός και καθεμίας σε σχέση με την εκτέλεση μίας προσπέρασης με αποτέλεσμα να υπάρχουν **αποκλίσεις** των μεταβλητών σε ότι αφορά την **γραμμικότητα** τους.

6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

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

- Δημιουργία σεναρίου στον προσομοιωτή οδήγησης, όπου θα υπάρχει επερχόμενη κυκλοφορία με σκοπό να συλλεχθούν καινούριες μεταβλητές όπως η ταχύτητα του επερχόμενου οχήματος, το μήκος ορατότητας κ.α. Με τον τρόπο αυτό θα υπάρχει μία πιο ρεαλιστική οπτική σε ότι αφορά τις προσπεράσεις, αφού συνήθως στην πραγματικότητα υπάρχει επερχόμενο όχημα.
- Μετρήσεις σε οδικό περιβάλλον και σύγκριση αποτελεσμάτων με αυτά του προσομοιωτή.
- 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.
- Δημιουργία σεναρίων στον προσομοιωτή για μεγαλύτερες διαφορές ταχυτήτων ανά σενάριο. Για παράδειγμα, στατιστική ανάλυση για ταχύτητες των 50km/h, 70km/h, 90km/h όπου θα δώσουν μία πιο σαφή εικόνα για την διαφορετική συμπεριφορά που αναπτύσσουν οι οδηγοί και την ομαλότητα της μετάβασης τους για τις διάφορες ταχύτητες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Perez-Zuriaga Ana Maria PhD, Camacho-Torregrosa Francisco Javier PhD Candidate, Garcia Alfredo Professor, Llorca-Garcia Carlos PhD Candidate, Moreno-Chou Ana Tsui PhD Candidate [2013] “Analyzing Speeding Behavior in Two-Lane Rural Roads”, Universitat Politecnica de Valencia
2. Moreno Chou, Llorca Garcia, Lenorzer, Casas, Garcia Garcia [2015] “Desing Criteria for Minimum Passing Zone Lengths: Operational Efficiency and Safety Considerations”, Universitat Politecnica de Valencia
3. Haneen Farah, [2013] “Modeling Drivers Passing Duration and distance in a virtual environment”, Department of Transport Sciences, Stockholm Sweden
4. Carlos Llorca PhD Candidate, Ana Tsui Moreno PhD Candidate, Alfredo Garcia Professor, Ana Maria Perez-Zuriaga PhD, Francisco Javier Camacho Torregrosa PhD Candidate, Highway Enginnering Research Group[2013], “Multiple Passing Maneuvers-New Design and Marking criteria to improve Safety”, Universitat Poltecnica de Valencia
5. Carlos Llorca PhD Highway Enginnering Research Group Universitat Politecnica de Valencia, Haneen Farah PhD Department of Transport and Planning Faculty of Civil Enginnering and Geosciences Delft University of Technology[2016] “Passing Behavior on Two-Lane Roads in a Real and in a Simulated environment”
6. Anne Vettters Dresden University of Technology, Thomas Jaehrig Federal Highway Research Institute[2015] “Verification of the Existing Model for Passing Sight Distance on Single Two-Lane Rural Carriageways”
7. Stergios Mavromatis,Vassilios Matragos, Rania Liza, Konstantinos Apostoleris, Lazaros Grammatikopoulos, George Yannis[2019] “Passing Sight Distance Aseessment Through The Interaction of Road-Vehicle Parameters” National Technical University of Athens
8. Brian P. Dyre, Michael Dixon, Alexander Grover, Mark Meyer, Jacob Rember and Ahmed Abdel-Rahim [2013] “Modeling Passing Behavior on Two-Lane Rural Highways-Evaluating Crash Risk Under Different Geometric Configurations” University of Idaho
9. Nathan P. Belz, Keving Chang and Regan Hansen [2018] “Using Field and Simulation Data to Assess Passing Zone Behavior on Rural Two-Lane Highways” Department of Civil & Environmental Engineering

10. Stergios Mavromatis, Vassilis Matragos, Konstantinos Apostoleris and Alexandros Alvertis [2020] “Passing Path Assessment based on Driving Simulator Experiment” School of Civil Engineering, National Technical University of Athens
11. Αλβέρτης Αλέξανδρος [2020] “Διερεύνηση της τροχιάς οχημάτων κατά τη διαδικασία προσπέρασης με χρήση προσομοιωτή οδήγησης”, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
12. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, <http://www.transport.ntua.gr/wp-content/uploads/ntua-dt-profile-jul2019.pdf>
13. R-Statistics, <http://rstatistics.co/LinearRegression.html?fbclid=IwAR2jnMMkNt8w7b0uPC4kq3E6sdpx48iYHtmjOnBW18SoB0GLU3-WPxgqBdU>
14. Towards Data Science, Michael Galarnyk, Sep 12, 2018, <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Ενότητα 1 από 7

Γενικά στοιχεία συμμετέχοντα

Περιγραφή φόρμας

Ηλικία *

Κείμενο σύντομης απάντησης

Φύλο *

☐ Άνδρας

☐ Γυναίκα

Σας αρέσει η οδήγηση; *

☐ Ναι

☐ Όχι

Ενότητα 2 από 7

Οδική εμπειρία συμμετέχοντα (Α' μέρος)

Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσα έτη έχετε δίπλωμα οδήγησης; *

Κείμενο σύντομης απάντησης

Πόσα χρόνια οδηγείτε; *

Κείμενο σύντομης απάντησης

Πόσες ημέρες οδηγείτε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον; *

Αν επιλέξετε την επιλογή λιγότερες

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ 6

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε την εβδομάδα σε αστικό περιβάλλον; *

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

Ενότητα 3 από 7

Οδική εμπειρία συμμετέχοντα (Β' μέρος)

Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσες ημέρες οδηγείτε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον; *

Αν επιλέξετε την επιλογή λιγότερες

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

Πόσα χιλιόμετρα διανύετε το μήνα σε υπεραστικό περιβάλλον; *

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

Ενότητα 4 από 7

Λιγότερες ημέρες οδήγησης σε αστικό περιβάλλον



Περιγραφή (προαιρετικό)

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

Κείμενο σύντομης απάντησης

Ενότητα 5 από 7

Λιγότερες ημέρες οδήγησης σε υπεραστικό περιβάλλον



Περιγραφή (προαιρετικό)

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

Κείμενο σύντομης απάντησης

Ενότητα 6 από 7

Οδική συμπεριφορά συμμετέχοντα



Περιγραφή (προαιρετικό)

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

- ☐ καθόλου
- ☐ λίγο
- ☐ αρκετά
- ☐ πολύ
- ☐ πάρα πολύ

:::

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

- ☐ καθόλου
- ☐ λίγο
- ☐ αρκετά
- ☐ πολύ
- ☐ πάρα πολύ

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

- ☐ καθόλου
- ☐ λίγο
- ☐ αρκετά
- ☐ πολύ
- ☐ πάρα πολύ

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

- ☐ καθόλου
- ☐ λίγες
- ☐ αρκετές
- ☐ πολλές
- ☐ πάρα πολλές

Ενότητα 7 από 7

Ιστορικό οδικών συμβάντων συμμετέχοντα



Περιγραφή (προαιρετικό)

Πόσες φορές έχετε λάβει πρόστιμο για υπέρβαση των ορίων ταχύτητας: *

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ >3

Σε πόσα ατυχήματα έχετε εμπλακεί ως οδηγός: *

	0	1	2	3	>3
Με υλικές ζημι...	☐	☐	☐	☐	☐
Με παθόντες	☐	☐	☐	☐	☐

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**ΚΩΔΙΚΑΣ**

```

install.packages("ggplot2")
install.packages("ggthemes")
install.packages("plyr")
install.packages("dplyr")
install.packages("lattice")
install.packages("plotly")
install.packages("leaps")
install.packages("GGally")
install.packages("car")
install.packages("lmtest")
install.packages("readxl")
install.packages("pkgconfig")

library(ggplot2)
library(ggthemes)
library(plyr)
library(dplyr)
library(lattice)
library(plotly)
library(leaps)
library(GGally)
library(car)
library(lmtest)
library(readxl)

FINAL<- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\REsults\\FINAL.xlsx")
FINAL70 <- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\REsults\\FINAL70.xlsx")
FINAL80 <- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\REsults\\FINAL80.xlsx")
FINAL90 <- read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\REsults\\FINAL90.xlsx")

##BOXPLOTS_70###
Aktines70<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\REsults\\Aktines_70.xlsx")
latdist70<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\REsults\\latdist70.xlsx")
HW70<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\REsults\\HW70.xlsx")

par(mfrow=c(1,1))
boxplot(Aktines70,ylab="Radius
(m)",col=c("#3366CC","orange","#006633","yellow"))
boxplot(FINAL70$latX1,ylab="Point X Lateral (m)",col=c("purple"))
boxplot(latdist70,ylab="Lateral Distance (m)",
col=c("#3366CC","orange","#006633","yellow"))
boxplot(HW70,ylab="Headway (m)",col=c("#3366CC","yellow"))
boxplot(FINAL70$latism1,ylab="Lateral Safety Margin 1 (m)",
,col=c("yellow"))
boxplot(FINAL70$latism4,ylab="Lateral Safety Margin 4 (m)",
,col=c("orange"))

```

```

##BOXPLOTS_80##

Aktines80<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\Results\\Aktines_80.xlsx")
latdist80<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\Results\\latdist80.xlsx")
HW80<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\Results\\HW80.xlsx")

par(mfrow=c(1,1))
boxplot(Aktines80,ylab="Radius
(m)",col=c("#3366CC","orange","#006633","yellow"))
boxplot(FINAL80$latX1,ylab="Point X Lateral (m)",col=c("purple"))
boxplot(latdist80,ylab="Lateral Distance (m)",
col=c("#3366CC","orange","#006633","yellow"))
boxplot(HW80,ylab="Headway (m)",col=c("#3366CC","yellow"))
boxplot(FINAL80$latism1,ylab="Lateral Safety Margin 1 (m)",
,col=c("yellow"))
boxplot(FINAL80$latism4,ylab="Lateral Safety Margin 4 (m)",
,col=c("orange"))

##BOXPLOTS_90##

Aktines90<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\Results\\Aktines_90.xlsx")
latdist90<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\Results\\latdist90.xlsx")
HW90<-read_excel("C:\\Users\\George\\Desktop\\fly-
over\\Results\\HW90.xlsx")

par(mfrow=c(1,1))
boxplot(Aktines90,ylab="Radius
(m)",col=c("#3366CC","orange","#006633","yellow"))
boxplot(FINAL90$latX1,ylab="Point X Lateral (m)",col=c("purple"))
boxplot(latdist90,ylab="Lateral Distance (m)",
col=c("#3366CC","orange","#006633","yellow"))
boxplot(HW90,ylab="Headway (m)",col=c("#3366CC","yellow"))
boxplot(FINAL90$latism1,ylab="Lateral Safety Margin 1 (m)",
,col=c("yellow"))
boxplot(FINAL90$latism4,ylab="Lateral Safety Margin 4 (m)",
,col=c("orange"))

### ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΑΚΤΙΝΩΝ ###
FINAL$medR1R2 <- (FINAL$R1+FINAL$R2)/2
FINAL$medR3R4 <- (FINAL$R3+FINAL$R4)/2
FINAL70$medR1R2 <- (FINAL70$R1+FINAL70$R2)/2
FINAL70$medR3R4 <- (FINAL70$R3+FINAL70$R4)/2
FINAL80$medR1R2 <- (FINAL80$R1+FINAL80$R2)/2
FINAL80$medR3R4 <- (FINAL80$R3+FINAL80$R4)/2
FINAL90$medR1R2 <- (FINAL90$R1+FINAL90$R2)/2
FINAL90$medR3R4 <- (FINAL90$R3+FINAL90$R4)/2

### ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΙ ####
FINAL$logmedR1R2 <- log10(FINAL$medR1R2)
FINAL$logmedR3R4 <- log10(FINAL$medR3R4)
FINAL70$logmedR1R2 <- log10(FINAL70$medR1R2)
FINAL70$logmedR3R4 <- log10(FINAL70$medR3R4)
FINAL80$logmedR1R2 <- log10(FINAL80$medR1R2)
FINAL80$logmedR3R4 <- log10(FINAL80$medR3R4)

```

```
FINAL90$logmedR1R2 <- log10 (FINAL90$medR1R2)
FINAL90$logmedR3R4 <- log10 (FINAL90$medR3R4)
```

```
FINAL$logR1 <- log10 (FINAL$R1)
FINAL$logR2 <- log10 (FINAL$R2)
FINAL$logR3 <- log10 (FINAL$R3)
FINAL$logR4 <- log10 (FINAL$R4)
FINAL$logRL1 <- log10 (FINAL$RL1)
FINAL$logRL2 <- log10 (FINAL$RL2)
FINAL$logRL3 <- log10 (FINAL$RL3)
FINAL$logRL4 <- log10 (FINAL$RL4)
FINAL$logHW1 <- log10 (FINAL$HW1)
FINAL$loglat1 <- log10 (FINAL$lat1)
FINAL$loglatX1<- log10 (FINAL$latX1)
FINAL$logt <- log10 (FINAL$t)
FINAL$loglat2 <- log10 (FINAL$lat2)
FINAL$loglatism1 <- log10 (FINAL$latism1)
FINAL$loglat3 <- log10 (FINAL$lat3)
FINAL$logHW4 <- log10 (FINAL$HW4)
FINAL$loglat4 <- log10 (FINAL$lat4)
FINAL$logX4 <- log10 (FINAL$X4)
FINAL$loglatX4 <- log10 (FINAL$latX4)
FINAL$loglatism4 <- log10 (FINAL$latism4)
FINAL$logX1 <- log10 (FINAL$X1)
FINAL$logX2 <- log10 (FINAL$X2)
```

```
FINAL70$logR1 <- log10 (FINAL70$R1)
FINAL70$logR2 <- log10 (FINAL70$R2)
FINAL70$logR3 <- log10 (FINAL70$R3)
FINAL70$logR4 <- log10 (FINAL70$R4)
FINAL70$logRL1 <- log10 (FINAL70$RL1)
FINAL70$logRL2 <- log10 (FINAL70$RL2)
FINAL70$logRL3 <- log10 (FINAL70$RL3)
FINAL70$logRL4 <- log10 (FINAL70$RL4)
FINAL70$logHW1 <- log10 (FINAL70$HW1)
FINAL70$loglat1 <- log10 (FINAL70$lat1)
FINAL70$loglatX1<- log10 (FINAL70$latX1)
FINAL70$logt <- log10 (FINAL70$t)
FINAL70$loglat2 <- log10 (FINAL70$lat2)
FINAL70$loglatism1 <- log10 (FINAL70$latism1)
FINAL70$loglat3 <- log10 (FINAL70$lat3)
FINAL70$logHW4 <- log10 (FINAL70$HW4)
FINAL70$loglat4 <- log10 (FINAL70$lat4)
FINAL70$logX4 <- log10 (FINAL70$X4)
FINAL70$loglatX4 <- log10 (FINAL70$latX4)
FINAL70$loglatism4 <- log10 (FINAL70$latism4)
FINAL70$logX1 <- log10 (FINAL70$X1)
FINAL70$logV <- log10 (FINAL70$V)
FINAL70$logX2 <- log10 (FINAL70$X2)
```

```
FINAL80$logR1 <- log10 (FINAL80$R1)
FINAL80$logR2 <- log10 (FINAL80$R2)
FINAL80$logR3 <- log10 (FINAL80$R3)
FINAL80$logR4 <- log10 (FINAL80$R4)
FINAL80$logRL1 <- log10 (FINAL80$RL1)
FINAL80$logRL2 <- log10 (FINAL80$RL2)
FINAL80$logRL3 <- log10 (FINAL80$RL3)
FINAL80$logRL4 <- log10 (FINAL80$RL4)
FINAL80$logHW1 <- log10 (FINAL80$HW1)
FINAL80$loglat1 <- log10 (FINAL80$lat1)
FINAL80$loglatX1<- log10 (FINAL80$latX1)
```

```

FINAL80$logt <- log10(FINAL80$t)
FINAL80$loglat2 <- log10(FINAL80$lat2)
FINAL80$loglatism1 <- log10(FINAL80$latism1)
FINAL80$loglat3 <- log10(FINAL80$lat3)
FINAL80$logHW4 <- log10(FINAL80$HW4)
FINAL80$loglat4 <- log10(FINAL80$lat4)
FINAL80$logX4 <- log10(FINAL80$X4)
FINAL80$loglatX4 <- log10(FINAL80$latX4)
FINAL80$loglatism4 <- log10(FINAL80$latism4)
FINAL80$logX1 <- log10(FINAL80$X1)
FINAL80$logV <- log10(FINAL80$V)
FINAL80$logX2 <- log10(FINAL80$X2)

```

```

FINAL90$logR1 <- log10(FINAL90$R1)
FINAL90$logR2 <- log10(FINAL90$R2)
FINAL90$logR3 <- log10(FINAL90$R3)
FINAL90$logR4 <- log10(FINAL90$R4)
FINAL90$logRL1 <- log10(FINAL90$RL1)
FINAL90$logRL2 <- log10(FINAL90$RL2)
FINAL90$logRL3 <- log10(FINAL90$RL3)
FINAL90$logRL4 <- log10(FINAL90$RL4)
FINAL90$logHW1 <- log10(FINAL90$HW1)
FINAL90$loglat1 <- log10(FINAL90$lat1)
FINAL90$loglatX1 <- log10(FINAL90$latX1)
FINAL90$logt <- log10(FINAL90$t)
FINAL90$loglat2 <- log10(FINAL90$lat2)
FINAL90$loglatism1 <- log10(FINAL90$latism1)
FINAL90$loglat3 <- log10(FINAL90$lat3)
FINAL90$logHW4 <- log10(FINAL90$HW4)
FINAL90$loglat4 <- log10(FINAL90$lat4)
FINAL90$logX4 <- log10(FINAL90$X4)
FINAL90$loglatX4 <- log10(FINAL90$latX4)
FINAL90$loglatism4 <- log10(FINAL90$latism4)
FINAL90$logX1 <- log10(FINAL90$X1)
FINAL90$logV <- log10(FINAL90$V)
FINAL90$logX2 <- log10(FINAL90$X2)

```

```

#### ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ ####

```

```

FINAL$R12 <- (FINAL$R1)**2
FINAL$R22 <- (FINAL$R2)**2
FINAL$R32 <- (FINAL$R3)**2
FINAL$R42 <- (FINAL$R4)**2
FINAL$RL12 <- (FINAL$RL1)**2
FINAL$RL22 <- (FINAL$RL2)**2
FINAL$RL32 <- (FINAL$RL3)**2
FINAL$RL42 <- (FINAL$RL4)**2
FINAL$HW12 <- (FINAL$HW1)**2
FINAL$lat12 <- (FINAL$lat1)**2
FINAL$latX12 <- (FINAL$latX1)**2
FINAL$t2 <- (FINAL$t)**2
FINAL$lat22 <- (FINAL$lat2)**2
FINAL$latism12 <- (FINAL$latism1)**2
FINAL$lat32 <- (FINAL$lat3)**2
FINAL$HW42 <- (FINAL$HW4)**2
FINAL$lat42 <- (FINAL$lat4)**2
FINAL$X42 <- (FINAL$X4)**2
FINAL$latism42 <- (FINAL$latism4)**2
FINAL$X12 <- (FINAL$X1)**2
FINAL$latX42 <- (FINAL$latX4)**2
FINAL$V2 <- (FINAL$V)**2

```

```

FINAL$X22 <- (FINAL$X2)**2

FINAL70$R12 <- (FINAL70$R1)**2
FINAL70$R22 <- (FINAL70$R2)**2
FINAL70$R32 <- (FINAL70$R3)**2
FINAL70$R42 <- (FINAL70$R4)**2
FINAL70$RL12 <- (FINAL70$RL1)**2
FINAL70$RL22 <- (FINAL70$RL2)**2
FINAL70$RL32 <- (FINAL70$RL3)**2
FINAL70$RL42 <- (FINAL70$RL4)**2
FINAL70$HW12 <- (FINAL70$HW1)**2
FINAL70$lat12 <- (FINAL70$lat1)**2
FINAL70$latX12<- (FINAL70$latX1)**2
FINAL70$t2 <- (FINAL70$t)**2
FINAL70$lat22 <- (FINAL70$lat2)**2
FINAL70$latism12 <- (FINAL70$latism1)**2
FINAL70$lat32 <- (FINAL70$lat3)**2
FINAL70$HW42 <- (FINAL70$HW4)**2
FINAL70$lat42 <- (FINAL70$lat4)**2
FINAL70$X42 <- (FINAL70$X4)**2
FINAL70$latism42 <- (FINAL70$latism4)**2
FINAL70$X12 <- (FINAL70$X1)**2
FINAL70$latX42 <- (FINAL70$latX4)**2
FINAL70$V2 <- (FINAL70$V)**2
FINAL70$X22 <- (FINAL70$X2)**2

FINAL80$R12 <- (FINAL80$R1)**2
FINAL80$R22 <- (FINAL80$R2)**2
FINAL80$R32 <- (FINAL80$R3)**2
FINAL80$R42 <- (FINAL80$R4)**2
FINAL80$RL12 <- (FINAL80$RL1)**2
FINAL80$RL22 <- (FINAL80$RL2)**2
FINAL80$RL32 <- (FINAL80$RL3)**2
FINAL80$RL42 <- (FINAL80$RL4)**2
FINAL80$HW12 <- (FINAL80$HW1)**2
FINAL80$lat12 <- (FINAL80$lat1)**2
FINAL80$latX12<- (FINAL80$latX1)**2
FINAL80$t2 <- (FINAL80$t)**2
FINAL80$lat22 <- (FINAL80$lat2)**2
FINAL80$latism12 <- (FINAL80$latism1)**2
FINAL80$lat32 <- (FINAL80$lat3)**2
FINAL80$HW42 <- (FINAL80$HW4)**2
FINAL80$lat42 <- (FINAL80$lat4)**2
FINAL80$X42 <- (FINAL80$X4)**2
FINAL80$latism42 <- (FINAL80$latism4)**2
FINAL80$X12 <- (FINAL80$X1)**2
FINAL80$latX42 <- (FINAL80$latX4)**2
FINAL80$V2 <- (FINAL80$V)**2
FINAL80$X22 <- (FINAL80$X2)**2

FINAL90$R12 <- (FINAL90$R1)**2
FINAL90$R22 <- (FINAL90$R2)**2
FINAL90$R32 <- (FINAL90$R3)**2
FINAL90$R42 <- (FINAL90$R4)**2
FINAL90$RL12 <- (FINAL90$RL1)**2
FINAL90$RL22 <- (FINAL90$RL2)**2
FINAL90$RL32 <- (FINAL90$RL3)**2
FINAL90$RL42 <- (FINAL90$RL4)**2
FINAL90$HW12 <- (FINAL90$HW1)**2
FINAL90$lat12 <- (FINAL90$lat1)**2
FINAL90$latX12<- (FINAL90$latX1)**2

```

```

FINAL90$t2 <- (FINAL90$t)**2
FINAL90$lat22 <- (FINAL90$lat2)**2
FINAL90$latism12 <- (FINAL90$latism1)**2
FINAL90$lat32 <- (FINAL90$lat3)**2
FINAL90$HW42 <- (FINAL90$HW4)**2
FINAL90$lat42 <- (FINAL90$lat4)**2
FINAL90$X42 <- (FINAL90$X4)**2
FINAL90$latism42 <- (FINAL90$latism4)**2
FINAL90$X12 <- (FINAL90$X1)**2
FINAL90$latX42 <- (FINAL90$latX4)**2
FINAL90$V2 <- (FINAL90$V)**2
FINAL90$X22 <- (FINAL90$X2)**2

### PIZEΣ ###
FINAL90$sqlat1 <- sqrt(FINAL90$lat1)
FINAL90$sqlat2 <- sqrt(FINAL90$lat2)
FINAL70$sqX4<- sqrt(FINAL70$X4)
FINAL70$sqlat3 <- sqrt(FINAL70$lat3)
FINAL80$sqlat3 <- sqrt(FINAL80$lat3)
FINAL90$sqlat3 <- sqrt(FINAL90$lat3)
FINAL$sqlat3 <- sqrt(FINAL$lat3)
FINAL70$hlat3 <- FINAL70$lat3 / 2
FINAL70$sqlat2<- sqrt(FINAL70$lat2)
FINAL$sqV <- sqrt(FINAL$V)

### TEAIKA MONTEAA ###

### R1-R2###
reg1=regsubsets(FINAL$logmedR1R2 ~ FINAL$loglat1 + FINAL$loglatism1
+FINAL$logX1 +FINAL$loglat2,
nbest=1, nvmax=30, data= FINAL, weights=NULL)
plot(reg1,scale="r2")

reg2=lm(FINAL$logmedR1R2 ~ FINAL$loglat1 + FINAL$loglatism1
+FINAL$logX1 +FINAL$loglat2)
summary(reg2)
AIC(reg2)
BIC(reg2)

### R1-R2 (V=70)###
reg3=lm(FINAL70$logmedR1R2 ~ FINAL70$loglat1 + FINAL70$loglatism1
+FINAL70$logX1 )
summary(reg3)
AIC(reg3)
BIC(reg3)

### R1-R2 (V=80)###
reg4=lm(FINAL80$logmedR1R2 ~ FINAL80$loglat1 + FINAL80$loglatism1
+FINAL80$logX1 )
summary(reg4)
AIC(reg4)
BIC(reg4)

### R1-R2 (V=90)###
reg5=lm(FINAL90$logmedR1R2 ~ FINAL90$loglat1 + FINAL90$loglatism1
+FINAL90$logX1 )
summary(reg5)
AIC(reg5)
BIC(reg5)

```

```

### R3-R4###
reg33=lm(FINAL$logmedR3R4 ~ FINAL$logX2 + FINAL$lat42
+ FINAL$lat42 )
summary(reg33AIC(reg33)
BIC(reg33)

### R3-R4 (V=70)###
reg7=lm(FINAL70$logmedR3R4 ~ FINAL70$logHW4 + FINAL70$lat42
+FINAL70$lat42 +FINAL70$loglat3 )
summary(reg7)

reg35=lm(FINAL70$logmedR3R4 ~ FINAL70$logX2 +FINAL70$loglat4
+FINAL70$loglat3 )
summary(reg35)
AIC(reg35)
BIC(reg35)

### R3-R4 (V=80)###
reg36=lm(FINAL80$logmedR3R4 ~ FINAL80$logX2 +FINAL80$lat42)
summary(reg36)
AIC(reg36)
BIC(reg36)

### R3-R4 (V=90)###
reg37=lm(FINAL90$logmedR3R4 ~ FINAL90$logX2 + FINAL90$lat42 )
summary(reg37)
AIC(reg37)
BIC(reg37)

```