

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ



Μελέτη Παραχώρησης Προτεραιότητας Μεταξύ Οχημάτων σε Αστικό Περιβάλλον: Συμβολή στα Μοντέλα Πρόβλεψης Αυτόνομης Οδήγησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΧΑΛΔΑΙΟΣ

Επιβλέπων: Δημήτριος Ναθαναήλ

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον Οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Παναγιώτης Κωνσταντίνος Χαλδαίος

Περίληψη

Τα τροχαία δυστυχήματα αποτελούν μια από τις κυριότερες αιτίες θανάτου παγκοσμίως. Η ανάπτυξη και διάδοση των αυτόνομων οχημάτων έρχεται να δώσει τέλος στην άδικη απώλεια ανθρώπινων ζωών προτείνοντας ένα μέσο μεταφοράς ασφαλέστερο, αποδοτικότερο αλλά και φιλικότερο προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Σε ένα χρονικό πλαίσιο εκτιμώμενης διάρκειας τουλάχιστον 25 ετών, αυτόνομα οχήματα και άνθρωποι οδηγοί θα κληθούν να συνυπάρξουν αρμονικά στον παγκόσμιο οδικό χάρτη κατά τη διάρκεια της μετάβασης σε ένα πιο αυτόνομο οδηγικό περιβάλλον.

Η αυτοκινητοβιομηχανία και η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα καλείται να λύσει τον γρίφο της ασφαλούς αλληλεπίδρασης μεταξύ συμβατικού οδηγού και αυτόνομου οχήματος. Τα αυτόνομα οχήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να ερμηνεύουν τη συμπεριφορά των συμβατικών οδηγών και οι οδηγοί θα πρέπει να είναι σε θέση να κατανοούν διαισθητικά τη λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη της αλληλεπίδρασης ενός οδηγού με τους υπόλοιπους χρήστες του δρόμου σε διασταυρώσεις με διαφορά προτεραιότητας μεταξύ των συμμετεχόντων. Λαμβάνονται δεδομένα από την εκτέλεση πειραματικής διαδικασίας κατά την οποία οι συμμετέχοντες καλούνται να ακολουθήσουν προκαθορισμένη διαδρομή σε συνθήκες πραγματικής κυκλοφορίας με χρήση γυαλιών eye – tracking. Από τα καταγεγραμμένα βίντεο των συμμετεχόντων καταγράφονται ποσοτικές και ποιοτικές μετρικές. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της απόφασης διέλευσης σε περιπτώσεις αριστερών στροφών από κύρια οδό σε πάροδο με γνώμονα την απόσταση του έτερου χρήστη δρόμου, το είδος κίνησης που εκτελεί καθώς και τον τύπο του οχήματός του. Εισάγεται σαν επιπρόσθετη μεταβλητή απόφασης ο τύπος οδηγού του έτερου χρήστη δρόμου και μελετάται η επίδρασή του στη συμπεριφορά του οδηγού. Έπειτα αναλύεται η απόφαση μη – διέλευσης του υπό εξέταση οδηγού με γνώμονα τον τύπο οχήματος του έτερου χρήστη δρόμου καθώς και την χρονοαπόσταση (Time-to-Collision – TTC) μεταξύ τους. Κατόπιν πραγματοποιείται μοντελοποίηση της μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση με χρήση στατιστικής κατανομής Poisson και κατά TTC με χρήση φθίνουσας εκθετικής κατανομής. Εξετάζεται μοντελοποίηση του χρόνου αναμονής του υπό εξέταση οδηγού, του αριθμού οχημάτων αναμονής ενώ γίνεται αναφορά και στη σύγκριση του πρώτου οχήματος μη – απόφασης διέλευσης σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει η διέλευση σε περιπτώσεις διαφοράς προτεραιότητας να αποτελεί πολυπαραγοντική απόφαση που διαμορφώνεται από όλες τις μεταβλητές που εξετάστηκαν, δηλαδή την απόσταση μεταξύ των συμμετεχόντων, το είδος κίνησης, τον τύπο του οχήματος καθώς και τον τύπο του οδηγού. Η ανάλυση της μη – διέλευσης οδηγεί σε εξαγωγή χρήσιμων μοντέλων πρόβλεψης της πιθανότητας μη – λήψης της απόφασης του υπό εξέταση οδηγού για τις περιπτώσεις που εξετάζουμε. Τα μοντέλα αυτά αποτελούν χρήσιμα εργαλεία στον σχεδιασμό και την υλοποίηση συστημάτων ελέγχου αυτόνομων οχημάτων. Περεταίρω έρευνα στο αντικείμενο αυτό θα οδηγήσει σε πληρέστερη κατανόηση και αποτελεσματικότερη ποσοτικοποίηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των χρηστών του δρόμου, με τη γνώση αυτή να θέτει τα θεμέλια για μια ομαλή μετάβαση σε μια πιο αυτόνομη εποχή.

Λέξεις Κλειδιά: << Παραχώρηση προτεραιότητας, διαφορά προτεραιότητας, διασταύρωση, αλληλεπίδραση οδηγών, αυτόνομα οχήματα, μοντέλα πρόβλεψης, μοντελοποίηση >>

Abstract

Road accidents are one of the leading causes of death worldwide. The development and spread of autonomous vehicles promise to end the unjust loss of human lives offering a safer, more efficient and friendlier to the environment means of transport. Over an estimated period of at least 25 years, autonomous vehicles and human drivers will need to harmoniously coexist on the global road network during the transition to a more autonomous driving environment.

The automotive industry and the global scientific community are required to figure out the challenge of safe interactions between a conventional driver and an autonomous vehicle. Autonomous vehicles should be able to interpret the behavior of conventional drivers and drivers should be able to intuitively understand the operation of autonomous vehicles.

This study examines the interaction between a driver and other road users in intersections with a priority difference between participants. Data are obtained from the execution of an experimental procedure in which participants are required to drive on a predetermined route in real world traffic conditions while wearing eye-tracking glasses. Quantitative and qualitative metrics are documented from the recorded videos of the participants. The decision of execution of a crossing is analyzed in cases of left turns from a main road to a perpendicular bystreet regarding the variables of distance of the other road user, the type of motion the road user performs during the decision making as well as the type of their vehicle. The type of driver of the other road user is introduced as an additional decision variable and its effect on our driver's behavior is studied. Then the decision of non – execution of the crossing is analyzed based on the vehicle type of the other road user as well as the time distance between him and our driver (Time-to-Collision – TTC). The decision of non – execution of the turn is afterwards modeled using a Poisson statistical distribution regarding the distance and a decreasing exponential distribution regarding the TTC. Modeling of the service time of the driver in question as well as the number of waiting vehicles is examined, while reference is made to the comparison of the first vehicle of non – execution decision in relation to the rest.

The results indicate that the crossing in cases of priority difference is a multifactorial decision formed by all variables examined which are the distance between the participants, the type of motion performed by the other road user, the type of their vehicle and the type of the driver. The analysis of non – execution leads to the derivation of useful models for predicting the probability of non – decision by the driver in questions for the applicable cases we examine. These models are valuable tools in the design and development of autonomous vehicle control systems. Further research in this field will lead to a fuller understanding and a more effective quantification of the interaction between road users, with this knowledge laying the foundations for a smooth transition to a more autonomous era.

Keywords: << Priority yielding, priority difference, junction, driver interaction, autonomous vehicles, predictive models, modeling >>

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την βαθιά ευγνωμοσύνη μου στον κ. Δημήτριο Ναθαναήλ, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την εξαιρετική συνεργασία και την υποδειγματική επικοινωνία που είχαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας, όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια της συγγραφής της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους καθηγητές Νικόλαο Μαρμαρά και Σταύρο Πόνη για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή αξιολόγησης της παρούσας διπλωματικής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που ήταν κοντά μου όλα αυτά τα χρόνια και κυρίως την οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξή τους.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	20
1.1. Πρόλογος.....	20
1.2. Αυτόνομα οχήματα.....	20
1.2.1. Ορισμός.....	20
1.2.2. Επίπεδα αυτονομίας	21
1.2.3. Τρόπος λειτουργίας.....	23
1.2.4. Κατάσταση της αγοράς	23
1.2.5. Πλεονεκτήματα.....	25
1.2.6. Μειονεκτήματα	26
1.3. Αντικείμενο μελέτης	26
1.4. Προϋπάρχουσα έρευνα.....	27
1.4.1. Συμπεριφορά οδηγών σε διασταυρώσεις.....	27
1.4.2. Επίδραση σημάτων επικοινωνίας.....	28
1.4.3. Η κίνηση του οχήματος ως σήμα	29
1.4.4. Συμπεριφορά οδηγών σε διασταυρώσεις – ποσοτικές μετρήσεις.....	30
1.4.5. Χρόνος ασφάλειας σε κρίσιμο κενό αριστερού ελιγμού.....	31
1.5. Σκοπός παρούσας μελέτης	32
2. Διαδικασία διεξαγωγής μελέτης.....	34
2.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	34
2.2. Στοιχεία οδηγών	34
2.3. Ανάλυση Βίντεο	35
2.3.1. Τοποθεσία.....	35
2.3.2. Ποσοτικές και ποιοτικές μετρικές.....	37

2.3.3.	<i>Μεθοδολογία ανάλυσης</i>	38
3.	Μελέτη απόφασης διέλευσης	40
3.1.	Ανάλυση με βάση το είδος κίνησης	41
3.1.1.	<i>Αποτελέσματα ανά είδος κίνησης</i>	41
3.1.1.1.	Επιταχυνόμενη κίνηση	41
3.1.1.2.	Επιβραδυνόμενη κίνηση	42
3.1.1.3.	Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης	44
3.1.1.4.	Σταθερή ταχύτητα	45
3.1.1.5.	Ακινητοποιημένο	47
3.1.2.	<i>Σύνολο καταγραφών</i>	49
3.1.3.	<i>Συσχέτιση είδους κίνησης – απόσταση</i>	51
3.2.	Ανάλυση με βάση τον τύπο του οχήματος.....	52
3.2.1.	<i>Γενικές παρατηρήσεις</i>	52
3.2.2.	<i>Κατανομή ειδών κίνησης ανά τύπο οχήματος</i>	54
3.2.3.	<i>Κατανομή τύπου οχήματος ανά είδος κίνησης</i>	55
3.2.4.	<i>Σύγκριση I.X. – Ταξί</i>	56
4.	Μελέτη μη – απόφασης διέλευσης	60
4.1.	Μεθοδολογία ανάλυσης	60
4.2.	Αποτελέσματα της μελέτης.....	61
4.3.	Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά απόσταση	66
4.4.	Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά απόσταση ανά τύπο οχήματος	69
4.4.1.	<i>Τύπος οχήματος: I.X.</i>	70
4.4.2.	<i>Τύπος οχήματος: Μοτοσυκλέτα</i>	72
4.4.3.	<i>Τύπος οχήματος: Ταξί</i>	74
4.4.4.	<i>Τύπος οχήματος: Όχημα Μεγάλου Μεγέθους</i>	77
4.4.5.	<i>Συγκεντρωτικά αποτελέσματα</i>	77

4.5.	Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά χρόνο.....	78
4.6.	Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά χρόνο ανά τύπο οχήματος.....	83
4.6.1.	Τύπος οχήματος: <i>I.X.</i>	83
4.6.2.	Τύπος οχήματος: <i>Ταξί</i>	86
4.6.3.	Τύπος οχήματος: <i>Μοτοσυκλέτα</i>	88
4.6.4.	Τύπος οχήματος: <i>Όχημα Μεγάλου Μεγέθους</i>	91
4.6.5.	<i>Συγκεντρωτικά αποτελέσματα</i>	91
4.7.	Μοντελοποίηση διάρκειας χρόνου αναμονής μη – απόφασης.....	92
4.8.	Επιπρόσθετες παρατηρήσεις μη – απόφασης.....	95
4.8.1.	Μοντελοποίηση αριθμού οχημάτων αναμονής.....	95
4.8.2.	Ανάλυση <i>I^{ov}</i> οχήματος.....	98
5.	Ανακεφαλαίωση.....	100
5.1.	Συμπεράσματα.....	100
5.2.	Επίλογος.....	104
6.	Βιβλιογραφία.....	106

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Κατανομή καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά είδος κίνησης.....	40
Διάγραμμα 2: Καταγραφές επιταχυνόμενης κίνησης κατά αύξουσα απόσταση	42
Διάγραμμα 3: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών επιβραδυνόμενης κίνησης.....	43
Διάγραμμα 4: Καταγραφές επιβραδυνόμενης κίνησης κατά αύξουσα απόσταση	43
Διάγραμμα 5: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών επιβραδυνόμενης μέχρι ακινητοποίησης....	44
Διάγραμμα 6: Καταγραφές επιβραδυνόμενης μέχρι ακινητοποίησης κατά αύξουσα απόσταση	45
Διάγραμμα 7: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών σταθερής ταχύτητας	46
Διάγραμμα 8: Καταγραφές σταθερής ταχύτητας κατά αύξουσα απόσταση	46
Διάγραμμα 9: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών ακινητοποιημένου οχήματος.....	47
Διάγραμμα 10: Καταγραφές ακινητοποιημένου οχήματος κατά αύξουσα απόσταση	48
Διάγραμμα 11: Σύνολο καταγραφών απόφασης διέλευσης κατά αύξουσα απόσταση	49
Διάγραμμα 12: Ιστόγραμμα αποστάσεων συνόλου καταγραφών απόφασης διέλευσης	49
Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων αποστάσεων καταγραφών απόφασης διέλευσης	50
Διάγραμμα 14: Αριθμός καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά είδος κίνησης με μέση απόσταση καταγραφών.....	51
Διάγραμμα 15: Κατανομή καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος.....	53
Διάγραμμα 16: Ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων καταγραφών Ι.Χ. και Ταξί κατά απόσταση.....	57
Διάγραμμα 17: Κατανομή καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος.....	61
Διάγραμμα 18: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - Ι.Χ.	62
Διάγραμμα 19: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - Ταξί.....	62
Διάγραμμα 20: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - Μοτοσυκλέτα.....	63

Διάγραμμα 21: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - Όχημα μεγάλου μεγέθους	63
Διάγραμμα 22: <i>Trendlines</i> χρονοαποστάσεων ανά τύπο οχήματος	64
Διάγραμμα 23: Ιστόγραμμα αποστάσεων συνόλου καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης.....	65
Διάγραμμα 24: Χρονοαπόσταση συνόλου καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης	65
Διάγραμμα 25: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης.....	66
Διάγραμμα 26: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση	68
Διάγραμμα 27: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης - I.X.....	70
Διάγραμμα 28: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση – I.X.	71
Διάγραμμα 29: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης - Μοτοσυκλέτα	72
Διάγραμμα 30: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση – Μοτοσυκλέτα	73
Διάγραμμα 31: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης – Ταξί	75
Διάγραμμα 32: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση – Ταξί.....	76
Διάγραμμα 33: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης	79
Διάγραμμα 34: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο	82
Διάγραμμα 35: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης - I.X.	83
Διάγραμμα 36: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο – I.X.	85
Διάγραμμα 37: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης - Ταξί.....	86
Διάγραμμα 38: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο – Ταξί	87
Διάγραμμα 39: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης - Μοτοσυκλέτα.....	88
Διάγραμμα 40: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο – Μοτοσυκλέτα	90
Διάγραμμα 41: Ιστόγραμμα κατανομής χρόνων αναμονής μη - απόφασης διέλευσης	92

Διάγραμμα 42: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη – απόφασης κατά διάρκεια χρόνου αναμονής	94
Διάγραμμα 43: Αριθμός οχημάτων αναμονής μη – απόφασης διέλευσης	96
Διάγραμμα 44: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης αριθμού οχημάτων αναμονής	97

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ηλικία και οδηγική εμπειρία οδηγών	34
Πίνακας 2: Στοιχεία συνόλου οδηγών	35
Πίνακας 3: Στοιχεία καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά είδος κίνησης.....	40
Πίνακας 4: Στατιστικά μεγέθη συνόλου καταγραφών απόφασης διέλευσης.....	50
Πίνακας 5: Στοιχεία καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος	52
Πίνακας 6: Κατανομή είδους κίνησης ανά τύπο οχήματος	54
Πίνακας 7: Κατανομή τύπου οχήματος ανά είδος κίνησης	55
Πίνακας 8: Σύγκριση στατιστικών δεδομένων τύπων οχήματος I.X. και Ταξί.....	56
Πίνακας 9: Στοιχεία καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος.....	61
Πίνακας 10: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση.....	68
Πίνακας 11: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση – I.X.....	71
Πίνακας 12: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση – Μοτοσυκλέτα	73
Πίνακας 13: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση – Ταξί	75
Πίνακας 14: Παράμετροι μοντελοποίησης Poisson μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση ανά τύπο οχήματος	78
Πίνακας 15: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο.....	81
Πίνακας 16: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο – I.X.....	84
Πίνακας 17: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο – Ταξί	87
Πίνακας 18: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο – Μοτοσυκλέτα	89

Πίνακας 19: Παράμετροι μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο ανά τύπο οχήματος.....	92
Πίνακας 20: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά διάρκεια χρόνου αναμονής	94
Πίνακας 21: Υπολογισμοί μοντελοποίησης αριθμού οχημάτων αναμονής μη – απόφασης.....	97
Πίνακας 22: Στοιχεία καταγραφών 1ου οχήματος μη - απόφασης διέλευσης	98

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: <i>Αεροφωτογραφία εξεταζόμενων στροφών</i>	36
--	----

1. Εισαγωγή

1.1. Πρόλογος

Ο ανθρώπινος παράγοντας, αν και απαραίτητος σε πληθώρα συστημάτων και διεργασιών, αποτελεί συχνά την achilles πτέρνα μιας διαδικασίας. Εξαίρεση δεν αποτελεί ο τομέας των μεταφορών. Κάθε χρόνο τα αυτοκινητιστικά ατυχήματα και δυστυχήματα οδηγούν σε τραυματισμούς και απώλεια ζωών εκατομμυρίων ανθρώπων. Σύμφωνα με μελέτη του CDC του 2018 (CDC, 2020), κάθε χρόνο χάνουν τη ζωή τους περίπου 1.35 εκατομμύρια άνθρωποι σε δρόμους ανά τον κόσμο, δηλαδή κάθε μέρα πεθαίνουν περίπου 3700 άνθρωποι παγκοσμίως σε συγκρούσεις που περιλαμβάνουν αυτοκίνητα, λεωφορεία, δίκυκλα, ποδήλατα, επαγγελματικά οχήματα ή πεζούς. Οι τραυματισμοί που προκαλούνται λόγω αυτοκινητιστικής συντριβής αποτελούν την όγδοη αιτία θανάτου παγκοσμίως για όλες τις ηλικιακές ομάδες και την πρώτη αιτία θανάτου για παιδιά και νέους ηλικίας από 5 έως 29 ετών. Σύμφωνα με την Εθνική Διοίκηση Ασφάλειας Κυκλοφορίας Εθνικών Οδών των Ηνωμένων Πολιτειών (NHTSA) (Hendricks, 2001) το 93% των τροχαίων προκαλείται από ανθρώπινο παράγοντα (σφάλμα) ενώ σύμφωνα με έρευνα το 60% των συγκρούσεων κατά την οδήγηση θα μπορούσε να αποφευχθεί εάν ο χειριστής (οδηγός) λάμβανε κάποιου είδους σήμα προειδοποίησης μισό δευτερόλεπτο πριν από τη σύγκρουση. Στα προβλήματα αυτά καλούνται να δώσουν λύση τα αυτόνομα οχήματα.

1.2. Αυτόνομα οχήματα

1.2.1. Ορισμός

Αυτόνομο αποκαλείται ένα όχημα το οποίο έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και να λειτουργεί χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή συμμετοχή. Σε ένα αυτόνομο όχημα δεν απαιτείται επιβάτης για να αναλάβει τον έλεγχο ανά πάσα στιγμή ούτε είναι γενικά απαραίτητη η ανθρώπινη παρουσία για τη λειτουργία του. Ένα αυτόνομο όχημα έχει τη δυνατότητα να κινηθεί όπου κινείται ένα συμβατικό όχημα και να κάνει ότι κάνει και ένας έμπειρος οδηγός.

Η Society of Automotive Engineers (SAE) χρησιμοποιεί τον όρο αυτοματοποιημένο αντί για αυτόνομο. Ένας λόγος είναι ότι η λέξη αυτονομία υπαινίσσεται λειτουργίες πέρα της

ηλεκτρομηχανικής. Ένα πλήρως αυτόνομο αυτοκίνητο θα είχε αυτό – επίγνωση και θα ήταν ικανό να κάνει τις δικές του επιλογές. Ένα πλήρως αυτοματοποιημένο αυτοκίνητο ωστόσο θα ακολουθούσε επακριβώς τις οδηγίες που του δίνονται. Ο όρος αυτό – οδηγούμενο (self – driving) χρησιμοποιείται επίσης για να περιγράψει τον τύπο οχήματος το οποίο εξετάζουμε. Ένα αυτό-οδηγούμενο όχημα μπορεί να «οδηγήσει τον εαυτό του» σε μερικές ή ακόμα και σε όλες τις πιθανές καταστάσεις, ωστόσο ένας ανθρώπινος επιβάτης πρέπει να είναι πάντα παρών και έτοιμος να αναλάβει τον έλεγχο. Τα αυτό – οδηγούμενα ή αυτοκινούμενα οχήματα εμπίπτουν στο Επίπεδο αυτονομίας 3 ή 4, κλίμακα που θα επεξηγηθεί στη συνέχεια. Η διάκριση και ο διαχωρισμός των παραπάνω όρων ξεφεύγουν από τους σκοπούς της παρούσας μελέτης και για τον λόγο αυτό η χρήση τους θεωρείται ταυτόσημη και τα εν λόγω οχήματα θα αναφέρονται ως αυτόνομα.

1.2.2. Επίπεδα αυτονομίας

Για να προσδιοριστεί το επίπεδο αυτονομίας ενός οχήματος, χρησιμοποιείται το πρότυπο «Επίπεδα Οδηγικής Αυτοματοποίησης» (Levels of Driving Automation) το οποίο έχει καθοριστεί από την Society of Automotive Engineers (SAE). Η κλίμακα αυτή κυμαίνεται από το Επίπεδο 0 (πλήρως χειροκίνητο) έως το Επίπεδο 5 (πλήρως αυτόνομο) και έχει ως εξής.

- SAE Επίπεδο 0 – Καμία οδηγική αυτονομία

Όλες οι δυναμικές οδηγικές διεργασίες εκτελούνται από τον άνθρωπο οδηγό.

Η πλειοψηφία των οχημάτων στους δρόμους σήμερα είναι Επιπέδου 0: χειροκίνητα ελεγχόμενα. Ο άνθρωπος εκτελεί όλες τις δυναμικές διεργασίες που συσχετίζονται με την οδήγηση, ωστόσο μπορεί να υπάρχουν συστήματα βοηθητικού τύπου όπως για παράδειγμα σύστημα πέδησης έκτακτης ανάγκης, τα οποία όμως δεν χαρακτηρίζονται ως αυτοματοποίηση.

- SAE Επίπεδο 1 – Οδηγική Υποβοήθηση

Το όχημα διαθέτει μόνο ένα συγκεκριμένο αυτοματοποιημένο σύστημα υποβοήθησης, όπως το σύστημα διεύθυνσης ή το σύστημα ελέγχου ταχύτητας (cruise control). Ο οδηγός παραμένει υπεύθυνος για τον έλεγχο του οχήματος και όλες τις άλλες δυναμικές λειτουργίες.

- SAE Επίπεδο 2 – Μερική Οδηγική Αυτονομία

Το όχημα διαθέτει αυτοματοποιημένο σύστημα διεύθυνσης και αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου ταχύτητας (cruise control). Ο οδηγός δεν χρειάζεται πλέον να έχει τον μόνιμο έλεγχο των οδηγικών χειρισμών (inputs), πρέπει όμως να είναι πάντα σε θέση να αναλάβει και πάλι τον έλεγχο των συστημάτων.

- SAE Επίπεδο 3 – Υπό Όρους Αυτονομία

Το αυτόνομο σύστημα οδήγησης (autonomous driving system – ADS) εκτελεί όλες τις δυναμικές εργασίες οδήγησης εκ μέρους του οδηγού σε ορισμένες περιβαλλοντικές και οδικές συνθήκες. Τα οχήματα Επιπέδου 3 έχουν δυνατότητα πλήρους ανίχνευσης και επίγνωσης του περιβάλλοντός τους και μπορούν να λάβουν αυτόνομα αποφάσεις όπως η προσπέραση. Ο οδηγός πρέπει πάντα να παραμένει σε εγρήγορση και να είναι προετοιμασμένος και σε θέση να επέμβει και να αναλάβει ενεργό έλεγχο του οχήματος, εάν το ADS το κρίνει απαραίτητο.

- SAE Επίπεδο 4 – Υψηλή Οδηγική Αυτονομία

Όταν είναι ενεργοποιημένο, το ADS εκτελεί όλες τις δυναμικές οδηγικές διεργασίες υπό ορισμένες περιβαλλοντικές και οδικές συνθήκες. Η βασική διαφορά μεταξύ Επιπέδου 3 και Επιπέδου 4 είναι ότι τα οχήματα Επιπέδου 4 μπορούν να παρέμβουν στην εμφάνιση κάποιου απρόβλεπτου παράγοντα ή σε κάποια αστοχία συστήματος. Υπό την έννοια αυτή, τα οχήματα αυτά δεν απαιτούν ανθρώπινη αλληλεπίδραση στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, ωστόσο ο οδηγός εξακολουθεί να έχει την επιλογή να παρακάμψει το σύστημα χειροκίνητα.

- SAE Επίπεδο 5 – Πλήρης Οδηγική Αυτονομία

Όταν είναι ενεργοποιημένο, το ADS μπορεί να εκτελεί αυτόνομα όλες τις δυναμικές οδηγικές διεργασίες σε όλους τους συνδυασμούς οδικών και περιβαλλοντικών συνθηκών. Δεν υπάρχει απαίτηση για παρουσία ή προσοχή του οδηγού.

1.2.3. Τρόπος λειτουργίας

Τα αυτόνομα αυτοκίνητα βασίζονται σε αισθητήρες, επενεργητές, σύνθετους αλγόριθμους, συστήματα machine learning και ισχυρούς επεξεργαστές για την εκτέλεση του λογισμικού. Τα αυτόνομα οχήματα δημιουργούν και συντηρούν έναν χάρτη του περιβάλλοντός τους με βάση μια ποικιλία αισθητήρων που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη του οχήματος. Οι αισθητήρες ραντάρ παρακολουθούν τη θέση των κοντινών οχημάτων. Οι βιντεοκάμερες ανιχνεύουν φωτεινούς σηματοδότες, διαβάζουν πινακίδες, παρακολουθούν άλλα οχήματα και αναζητούν πεζούς. Οι αισθητήρες Lidar (ανίχνευση φωτός και εμβέλειας) εκπέμπουν και λαμβάνουν παλμούς φωτός από το περιβάλλον του αυτοκινήτου για να μετρήσουν τις αποστάσεις, να ανιχνεύσουν τα όρια του δρόμου και να αναγνωρίσουν την οδική σήμανση λωρίδων κυκλοφορίας. Οι αισθητήρες υπερήχων ανιχνεύουν πεζοδρόμηση και άλλα οχήματα κατά τη στάθμευση. Το εξελιγμένο λογισμικό επεξεργάζεται έπειτα όλη αυτή την είσοδο των αισθητηριακών πληροφοριών, σχεδιάζει μια διαδρομή και στέλνει οδηγίες στους επενεργητές του αυτοκινήτου, οι οποίοι ελέγχουν την επιτάχυνση, την επιβράδυνση και τη διεύθυνση. Οι κωδικοποιημένοι κανόνες, οι αλγόριθμοι αποφυγής εμποδίων, η προγνωστική μοντελοποίηση και η αναγνώριση αντικειμένων βοηθούν το λογισμικό να ακολουθεί τους κανόνες κυκλοφορίας και να πλοηγεί με βάση τα εμπόδια που προκύπτουν.

1.2.4. Κατάσταση της αγοράς

Η μετάβαση προς πλήρως αυτόνομα οχήματα καθίσταται δυνατή με τη σταδιακή εισαγωγή πολλαπλών, αλληλένδετων τεχνολογιών ασφάλειας. Αυτές οι τεχνολογίες προσθέτουν νέες δυνατότητες που βοηθούν την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία νέων οχημάτων και κατευθύνουν την αυτοκινητοβιομηχανία και την αγορά προς ένα ολοένα και πιο αυτόνομο μέλλον. Σύμφωνα με νέα πρόβλεψη της International Data Corporation (IDC, 2020), ο αριθμός των οχημάτων με δυνατότητα αυτονομίας τουλάχιστον Επιπέδου 1 θα αυξηθεί από 31,4 εκατομμύρια μονάδες το 2019 σε 54,2 εκατομμύρια μονάδες το 2024, αντιπροσωπεύοντας έναν πενταετή σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) της τάξεως του 11,5%.

Τα πλήρως χειροκίνητα οχήματα Επιπέδου 0 αντιπροσωπεύουν επί του παρόντος την πλειονότητα των μονάδων που κατασκευάζονται παγκοσμίως, όμως αποτελούν το μόνο επίπεδο αυτονομίας

που αναμένεται να σημειώσει σημαντική και σταθερή κάθοδο τα επόμενα χρόνια. Αυτή η μείωση οφείλεται στη δέσμευση της αυτοκινητοβιομηχανίας στα προηγμένα συστήματα υποστήριξης οδηγού (ADAS), καθώς και στις εξελίξεις στους τομείς της τεχνολογίας, της αποδοτικότητας κόστους και των οικονομικών κλίμακας, της προτίμησης των καταναλωτών και των κυβερνητικών ρυθμίσεων που αναμένεται να εφαρμοστούν. Ως αποτέλεσμα, τα οχήματα με κάποιο βαθμό αυτονομίας (SAE Επίπεδα 1-5) θα αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% όλων των οχημάτων που παράγονται έως το 2024 σύμφωνα με πρόβλεψη της IDC.

Τα οχήματα με αυτονομία Επιπέδου 1 και 2 αντιπροσωπεύουν τους δυο μεγαλύτερους τομείς αυτόνομης ανάπτυξης και αναμένεται να λάβουν το μεγαλύτερο μερίδιο επενδύσεων και εξέλιξης κατά την περίοδο πρόβλεψης σύμφωνα με την IDC. Επειδή οι οδηγοί πρέπει να παραμένουν σε εγρήγορση και σε πλήρη λειτουργικό έλεγχο όταν είναι ενεργοποιημένες αυτές οι τεχνολογίες, η εισαγωγή τους αντιπροσωπεύει ένα πιο αποδεκτό επίπεδο κινδύνου/ρίσκου και ευθύνης τόσο για τους κατασκευαστές οχημάτων όσο και για τους κυβερνητικούς ρυθμιστές.

Το Επίπεδο 3 έχει αρχίσει να αποτελεί πόλο έλξης όλο και περισσότερων κατασκευαστών τα τελευταία χρόνια, με γνώμονα την υλοποίησή του σε διαρκώς διερευνόμενα σενάρια και συνθήκες, όπως η οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους υψηλής και χαμηλής ταχύτητας. Η IDC αναμένει ότι αυτά τα συστήματα θα αναπτυχθούν σε διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς τα επόμενα χρόνια της πρόβλεψης.

Οχήματα Επιπέδου 4 και 5 θα παραμείνουν για το άμεσο μέλλον ο φιλόδοξος και επαναστατικός στόχος που τροφοδότησε δισεκατομμύρια δολάρια σε επενδύσεις από εταιρείες κατασκευαστών. Η ανάπτυξη και η υλοποίηση αυτών των οχημάτων θα απαιτήσει σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία, την ετοιμότητα και την εμπιστοσύνη των χρηστών/οδηγών/πελατών και πληθώρα κυβερνητικών ρυθμίσεων. Κατά συνέπεια, η IDC δεν αναμένει να υπάρχουν διαθέσιμα οχήματα Επιπέδου 5 σε όλο τον κόσμο κατά τη διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης.

1.2.5. Πλεονεκτήματα

Η καθιέρωση και ευρεία χρήση αυτόνομων οχημάτων παρουσιάζει πλήθος πλεονεκτημάτων, κάποια εκ των οποίων σύμφωνα με έρευνες και προβλέψεις είναι τα εξής.

1. Ασφάλεια

Το αμερικανικό υπουργείο μεταφορών προβλέπει ότι η εξάπλωση αυτόνομων οχημάτων θα οδηγήσει σε ραγδαία μείωση των θανάσιμων τροχαίων σε ποσοστό έως και 90% (NHTSA, 2020). Το 2017 σημειώθηκαν στις Η.Π.Α. 37.133 θάνατοι ως αποτέλεσμα σύγκρουσης οχημάτων, το 94% των οποίων αποδόθηκε σε ανθρώπινο σφάλμα, συνεπώς μια μείωση της τάξης του 90% θα είχε ως αποτέλεσμα να σωθούν περίπου 30.000 ζωές μόνο στις Η.Π.Α. σε ένα χρόνο.

2. Ελάττωση εκπομπών

Λιγότερα ατυχήματα συνεπάγονται λιγότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση με αποτέλεσμα μια καθολική ελάττωση των εκπομπών. Έκθεση του πανεπιστημίου του Οχάιο (Ohio, 2020) αναφέρει ότι οι επιβλαβείς εκπομπές θα μειωθούν κατά 60% μετά την έλευση των αυτόνομων οχημάτων.

3. Εξάλειψη κυμάτων ακινητοποίησης/επανάραξης κυκλοφορίας (stop – and – go waves)

Τα αυτόνομα αυτοκίνητα θα μπορούσαν να εξαλείψουν τα κύματα της κυκλοφορίας που δημιουργούνται από την ακινητοποίηση – επανάραξη (όπου οι άνθρωποι αναπτύσσουν μεταβολές στις ταχύτητες των οχημάτων τους που επιβάλλονται από τα προπορευόμενα οχήματα) σύμφωνα με έρευνα στο Πανεπιστήμιο του Ιλινόις στο Urbana – Champaign (Arbogast, 2017). Αυτό, με τη σειρά του, όχι μόνο θα εξοικονομήσει χρόνο στους ανθρώπους, αλλά θα μειώσει το χρόνο που τα αυτοκίνητά τους βρίσκονται στο δρόμο και συνεπώς θα συμβάλει στην ελάττωση των εκπομπών.

4. Εξοικονόμηση καυσίμου

Έρευνες δείχνουν ότι τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να οδηγήσουν σε καθολική εξοικονόμηση καυσίμου της τάξεως του 4% έως 10% (Anderson, et al., 2016).

5. Αύξηση αξιοποίησης οδικού δικτύου

Συντηρητικές εκτιμήσεις θέλουν την καθιέρωση αυτόνομων οχημάτων να οδηγήσει σε αύξηση της αξιοποίησης της κάθε οδικής λωρίδας (και κατ' επέκταση του οδικού δικτύου συνολικά) κατά 100% (Sundquist, 2016). Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση 20% των μέσων ταχυτήτων κίνησης της κυκλοφορίας.

6. Εξοικονόμηση χρόνου μεταφοράς

Σύμφωνα με έρευνες, οι χρόνοι μεταφοράς με χρήση αυτόνομων οχημάτων μπορούν να ελαττωθούν κατά 40% (KPMG, 2015), με αποτέλεσμα εξοικονόμηση μη παραγωγικού χρόνου που μπορεί να διατεθεί σε παραγωγικότερες δραστηριότητες οδηγώντας σε πλήθος κοινωνικοοικονομικών οφελών.

1.2.6. Μειονεκτήματα

Η χρήση αυτόνομων οχημάτων αναμφίβολα κρύβει και ορισμένα μειονεκτήματα. Ορισμένα εξ' αυτών είναι η έλλειψη νομικού πλαισίου σε παγκόσμιο επίπεδο που να διέπει τη λειτουργία τους, κίνδυνοι που ενδεχομένως απορρέουν από την εξάλειψη του ανθρώπινου παράγοντα από τη λήψη αποφάσεων στη διεργασία της οδήγησης καθώς και η επιφυλακτικότητα με την οποία ενδέχεται να αντιμετωπιστούν από σημαντική μερίδα των οδηγών.

1.3. Αντικείμενο μελέτης

Ενώ φαίνεται πως η σταδιακή μετάβαση σε αυτόνομα οχήματα αποτελεί μονόδρομο, το μείζον πρόβλημα στο οποίο η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα καλείται να δώσει λύση είναι η μετάβαση αυτή καθαυτή. Ενώ οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπων οδηγών υπό το πλαίσιο των κανονισμών οδήγησης αποτελεί τον μοναδικό τρόπο επικοινωνίας και ομαλούς διεξαγωγής της κυκλοφορίας αυτή τη στιγμή, σε μια μεταβατική περίοδο κατά την οποία αυτόνομα και συμβατικά οχήματα θα συνυπάρχουν στους δρόμους, η οποία εκτιμάται να διαρκέσει τουλάχιστον 25 χρόνια, γεννάται η ανάγκη επικοινωνίας ανθρώπινου οδηγού με αυτόνομο όχημα.

Τα αυτόνομα οχήματα αποτελούν μια καινούργια τεχνολογία με την οποία, όχι μόνο ο μέσος οδηγός, αλλά η πλειοψηφία των οδηγών, δεν έχει καμία εξοικείωση ή πρότερη εμπειρία. Οι οδηγοί δεν γνωρίζουν τον τρόπο λειτουργίας των αυτόνομων οχημάτων και δεν γνωρίζουν τους κανόνες που τη διέπουν. Τα αυτόνομα οχήματα ενδεχομένως να μην ανταποκρίνονται στις προσδοκίες της συμπεριφοράς ενός συμβατικού ανθρώπου οδηγού με αποτέλεσμα οι υπόλοιποι οδηγοί να μην είναι σε θέση να προβλέψουν τις ενέργειές τους. Για την ασφαλή συνύπαρξη συμβατικών και αυτόνομων οχημάτων και την επιτυχημένη μετάβαση στην ευρεία χρήση των τελευταίων, είναι κρίσιμης σημασίας η αποτελεσματική επικοινωνία των δύο. Τα αυτόνομα οχήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να αλληλοεπιδρούν με τα συμβατικά οχήματα αποτελεσματικά, να αποδίδουν με σαφή, εύληπτο και διαισθητικό τρόπο την πρόθεσή τους στο περιβάλλον αλλά και να ερμηνεύουν με απόλυτη (κατά το εφικτό) ακρίβεια την πρόθεση των συμβατικών οδηγών από τους οποίους περιβάλλονται. Το τελευταίο αποτελεί και το κεντρικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια.

1.4. Προϋπάρχουσα έρευνα

Για την επίτευξη του στόχου της αποτελεσματικής αλληλεπίδρασης μεταξύ συμβατικών και αυτόνομων οχημάτων, ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία αποτελούν διάφορες έρευνες και μελέτες που ήδη έχουν γίνει στον ευρύτερο αυτό γνωστικό τομέα. Αφετηρία αποτελεί ασφαλώς η μελέτη αλληλεπίδρασης μεταξύ οδηγών συμβατικών οχημάτων. Η πλειοψηφία των μελετών, όπως και η ανάλυση που διεξάγουμε και περιγράφουμε στη συνέχεια, περιστρέφεται γύρω από περιπτώσεις διασταυρώσεων ή στροφών, συνήθως με διαφορές προτεραιότητας μεταξύ των συμμετεχόντων.

1.4.1. Συμπεριφορά οδηγών σε διασταυρώσεις

Αρχικά είναι γνωστό ότι συμπεριφορά των οδηγών σε διασταυρώσεις δεν διαμορφώνεται μόνο από τους κανόνες προτεραιότητας στη διασταύρωση αλλά επίσης από το σχεδιασμό της καθώς και από τη συμπεριφορά των άλλων χρηστών του δρόμου. Εάν συμπεριφορές που συμπληρώνουν ή έρχονται σε αντίθεση με τους επίσημους κανόνες κυκλοφορίας που διέπουν μια συγκεκριμένη διασταύρωση κυκλοφορίας γίνονται επαναλαμβανόμενα αντιληπτές, αυτό είναι μια ένδειξη ότι

υπάρχει ένας άτυπος κανόνας κυκλοφορίας. Σε μελέτη 1276 Σουηδών οδηγών (Björklund & Åberg, 2005), οι οδηγοί απάντησαν σε ερωτήσεις σχετικά με το πόσο συχνά θα παραχωρούσαν προτεραιότητα σε διερχόμενο οδηγό σε 10 υποθετικά σενάρια διασταυρώσεων. Σε όλες τις καταστάσεις διέλευσης, ενημερώθηκαν ότι δεν υπήρχε κεντρική οδός, υπονοώντας ότι πρέπει πάντα να αποδίδουν το δικαίωμα διέλευσης στην κυκλοφορία που προέρχεται από τα δεξιά (κανόνας της δεξιάς χειρός). Όπως αναμενόταν, ο επίσημος κανόνας προτεραιότητας (δηλαδή, η κατεύθυνση από την οποία ερχόταν ο άλλος οδηγός) ήταν καθοριστικός παράγοντας για την παραχώρηση προτεραιότητας. Ωστόσο, ενδείξεις για άτυπους κανόνες όπως η συμπεριφορά του διασταυρωνόμενου οδηγού ή το πλάτος του δρόμου αποτέλεσαν επίσης σημαντικούς παράγοντες. Οι οδηγοί θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν κατά ομάδες με βάση τις στρατηγικές τους για την παραχώρηση προτεραιότητας. Μία ομάδα οδηγών ανέφερε ότι σπάνια παραχώρησαν προτεραιότητα, ενώ μια άλλη ομάδα ανέφερε ότι το έκαναν πάντα. Μια τρίτη ομάδα συμμορφώθηκε με τον κανόνα της δεξιάς χειρός τις περισσότερες φορές, ενώ η συμπεριφορά μιας τέταρτης ομάδας διέφερε από διασταύρωση σε διασταύρωση.

1.4.2. Επίδραση σημάτων επικοινωνίας

Σήματα επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών δρόμου, όπως χρήση προβολέων ή κόρνας, είναι αναπόσπαστο κομμάτι της αλληλεπίδρασης μεταξύ οδηγών. Έρευνα έχει διεξαχθεί με σκοπό τη διερεύνηση των σημάτων αυτών και το πώς επηρεάζουν την εκτίμηση και την οπτική προσήλωση (προσοχή) οδηγών, καθώς και το πώς οι οδηγοί αποκωδικοποιούν τα σήματα άλλων οδηγών σε μια ποικιλία διαδραστικών σεναρίων. Στη συγκεκριμένη έρευνα (Ba, et al., 2015) είκοσι πέντε άνδρες συμμετέχοντες κλήθηκαν να παρακολουθήσουν βίντεο προ-σχεδιασμένων διαδραστικών σεναρίων που περιελάμβαναν συνήθη σήματα οχημάτων σε προσομοιωτή πλήρους προβολής. Καταγράφηκαν και αναλύθηκαν οι στάσεις των συμμετεχόντων απέναντι σε συμπεριφορές των οχημάτων με τα οποία αλληλεπιδρούσαν, οι συναισθηματικές τους αντιδράσεις καθώς και μετρικές νοητικής προσήλωσης/σύνδεσης (fixation). Η πλειοψηφία των σημάτων που δοκιμάστηκαν, πλην της κόρνας του πίσω οχήματος, βελτίωσε σημαντικά τη συμπεριφορά και την ικανοποίηση των οδηγών. Όλα τα σήματα αύξησαν σημαντικά τη συναισθηματική διέγερση των συμμετεχόντων, καθώς και το συνολικό χρόνο προσήλωσης και τη μέση διάρκεια προσήλωσης στο όχημα με το οποίο αλληλεπιδρούν. Όταν το όχημα με το οποίο αλληλεπιδρούσαν ήταν ορατό

στους καθρέπτες του οχήματός τους, η χρήση σήματος από αυτό αύξησε σημαντικά τη συχνότητα προσήλωσής τους σε αυτό. Ταυτόχρονα όμως σημειώθηκε σημαντική μείωση του συνολικού χρόνου προσήλωσης και της μέσης διάρκειας προσήλωσης στο δρόμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης ότι το επικοινωνιακό σήμα περιείχε πολλές έννοιες ταυτόχρονα ανάλογα με τον τύπο του σήματος αλλά και το γενικό πλαίσιο συνθηκών υπό το οποίο η αλληλεπίδραση λάμβανε χώρα.

1.4.3. Η κίνηση του οχήματος ως σήμα

Τα αυτόνομα οχήματα θα πρέπει να συντονίσουν τη συμπεριφορά τους με χρήστες δρόμων, όπως οδηγοί και πεζοί. Η πλειοψηφία των πρόσφατα προτεινόμενων λύσεων για αυτόνομη επικοινωνία οχήματος προς άνθρωπο συνίσταται στην εισαγωγή πρόσθετων οπτικών ενδείξεων (όπως φώτα, κείμενο και εικονογράμματα) είτε στο εξωτερικό του αυτοκινήτου είτε ως προβολές στο δρόμο. Ωστόσο υποστηρίζεται ότι πιθανές ελλείψεις στην ορατότητα (λόγω συνθηκών φωτισμού, θέση του οχήματος στο οδόστρωμα) και της άμεσης κατανόησης πολλών από αυτά τα στοιχεία τα καθιστούν από μόνα τους ανεπαρκή για το συντονισμό πολυπαραγοντικών αλληλεπιδράσεων σε πολυσύχναστες διασταυρώσεις καθημερινής κυκλοφορίας. Παρατηρήσεις έρευνας για τη συμπεριφορά χρηστών δρόμου σε πραγματικές συνθήκες αστικών διασταυρώσεων (Risto, et al., 2017) υποδεικνύουν ότι η κίνηση του οχήματος λαμβάνοντας υπόψη το γενικό πλαίσιο στο οποίο αυτή λαμβάνει χώρα αποτελεί κεντρική μέθοδο επικοινωνίας για το συντονισμό μεταξύ οδηγών. Τα παρατηρούμενα μοτίβα κίνησης αποκτούν νόημα όταν παρατηρούνται στο πλαίσιο της γεωμετρίας του δρόμου, της τρέχουσας οδικής δραστηριότητας αλλά και πολύπλοκων κοινωνικών και πολιτιστικών παραμέτρων. Ενώ όλα τα είδη των κινήσεων επικοινωνούν την πρόθεση του οδηγού, η συγκεκριμένη έρευνα υπογραμμίζει την ερμηνεία της κίνησης ενός οδηγού ως είδος σήματος / «χειρονομίας» που γίνεται για τον συγκεκριμένο σκοπό της επικοινωνίας με άλλους χρήστες του δρόμου. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δείχνουν ότι παρόμοια μοτίβα κίνησης οχημάτων μπορούν να παρατηρηθούν σε μια ποικιλία διασταυρώσεων και διατάξεων οδικών δικτύων. Οι οδηγοί σταματούν τα αυτοκίνητά τους πολύ νωρίτερα από εκεί που θα έπρεπε βάση των κανονισμών οδικής κυκλοφορίας, σηματοδοτώντας ότι σκοπεύουν να περιμένουν τη διέλευση άλλων χρηστών δρόμου. Αφήνουν τα οχήματά τους να «τσουλήσουν» αργά προς τα εμπρός, υποδεικνύοντας την πρόθεσή τους να κινηθούν εισχωρώντας στην κυκλοφορία στη συνέχεια. Πολλά από αυτά το μοτίβα εμφανίστηκαν συχνότερα με την παρουσία άλλων χρηστών δρόμου

και δεν έγιναν με σκοπό τη συμμόρφωση με κάποιο κανόνα κυκλοφορίας ή για λόγους ασφαλείας. Αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι τα σήματα κίνησης χρησιμοποιούνται σκόπιμα από τους οδηγούς για να επικοινωνούν με άλλους χρήστες του δρόμου και ότι υπάρχει μια ευρέως αποδεκτή κατανόηση της έννοιάς τους. Επιπλέον, αποτελέσματα συνέντευξης των συμμετεχόντων υποδηλώνουν ότι οι χρήστες του δρόμου ερμηνεύουν ορισμένες μορφές κίνησης ως σκόπιμη επικοινωνία ενός συγκεκριμένου μηνύματος.

1.4.4. Συμπεριφορά οδηγών σε διασταυρώσεις – ποσοτικές μετρήσεις

Ορισμένες, περιορισμένες σε αριθμό, έρευνες έχουν διεξαχθεί με σκοπό την εξαγωγή ποσοτικών μετρικών αναφορικά με την αλληλεπίδραση οδηγών στο πλαίσιο συνθηκών το οποίο εξετάζουμε. Σε έρευνα του Τεχνικού Ινστιτούτου της Φιλανδίας (Kulmala, 1991) παρατηρήθηκε η συμπεριφορά οδηγών σε τρεις διασταυρώσεις προτεραιότητας δεξιάς χειρός στο Ελσίνκι. Σκοπός της ήταν να διερευνηθεί πόσο συχνά εμφανίζεται επικίνδυνη συμπεριφορά σε διασταυρώσεις και ποιοι παράγοντες την επηρεάζουν. Χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος μελέτης των παρατηρήσεων του οδηγού, των ταχυτήτων οδήγησης, της ανάληψη κινδύνων και καταστάσεων πιθανής σύγκρουσης. Τα δεδομένα αποτελούνταν από 2.399 οδηγούς οχημάτων που διέρχονταν από μια διασταύρωση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, οι περισσότεροι από τους οδηγούς συμπεριφέρθηκαν με ασφαλή τρόπο ενώ διέσχιζαν τη διασταύρωση: 80% κοίταξαν προς τα δεξιά γυρίζοντας το κεφάλι τους, μόνο μερικοί χρησιμοποίησαν ταχύτητα υψηλότερη από το αστικό όριο ταχύτητας των 50 km/h, λιγότερο από το 2% των οδηγών ένα χρονικό κενό κυκλοφορίας μικρότερο από 2,5 δευτερόλεπτα και λιγότερο από το 5% των οδηγών είχαν περιθώριο ασφαλείας μικρότερο από 1,5 δευτερόλεπτο. Αν και η πλειοψηφία οδηγεί σύμφωνα με τις προσδοκίες και τους κανονισμούς, ο αριθμός των οδηγών που παραμελούν να κοιτάζουν προς τα δεξιά ήταν ανησυχητικά υψηλός. Ένας στους πέντε οδηγούς δεν στρέφει το κεφάλι του για να κοιτάξει προς τα δεξιά όταν εισέρχεται στη διασταύρωση δεξιού κανόνα προτεραιότητας. Εάν ένα όχημα εισερχόταν την ίδια χρονική στιγμή στη διασταύρωση ο κίνδυνος σύγκρουσης θα ήταν ιδιαίτερα υψηλός. Οι περισσότεροι από τους οδηγούς (63 - 98%) εισήλθαν στη διασταύρωση με ταχύτητα 30 km/h ή μικρότερη.

1.4.5. Χρόνος ασφάλειας σε κρίσιμο κενό αριστερού ελιγμού

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη αλληλεπίδρασης οδηγών σε περιπτώσεις διασταυρώσεων σε δρόμο διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας χωρίς σήμανση. Σε ένα τέτοιο σενάριο, οδηγοί καλούνται να αλληλεπιδράσουν με το αντίθετο ρεύμα κίνησης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μίας αριστερής στροφής. Σύμφωνα με έρευνα (Tanackon, et al., 2018), πριν από τον ελιγμό αριστερής στροφής από δρόμο προτεραιότητας σε οδό διπλής κατεύθυνσης τεμνόμενη κάθετα από διασταύρωση που ελέγχεται από σήμανση ακινητοποίησης (STOP) (Two-Way Stop-Controlled (TWSC) intersection) ο οδηγός εκτιμά το διάστημα που εμφανίζεται στη αντίθετη ροή κίνησης και επιλέγει αυτό που είναι πιο αποδεκτό για αυτόν. Οι συνθήκες των υποκειμενικών εκτιμήσεων των διαστημάτων είναι εμφανείς στις διαφορές μεταξύ του ελάχιστου αποδεκτού και του μέγιστου απορριφθέντος διαστήματος. Ο χρόνος που απαιτείται για την αξιολόγηση του αποδεκτού διαστήματος προκύπτει από τον χρόνο αναμονής εξυπηρέτησης των οχημάτων σε μια διασταύρωση. Με την εμφάνιση ενός αποδεκτού διαστήματος, ο χρόνος αναμονής εξυπηρέτησης του οχήματος t_{sw} τελειώνει και στη συνέχεια ξεκινά το χρονικό διάστημα εκτέλεσης του ελιγμού αριστερής στροφής. Ο ελιγμός της αριστερής στροφής περιλαμβάνει τη διέλευση οχημάτων κατά μήκος της λωρίδας κυκλοφορίας της αντίθετης ροής κίνησης. Σε περίπτωση κακής υποκειμενικής αξιολόγησης, είναι πιθανή μια σύγκρουση μεταξύ οχημάτων σε μια μη σηματοδοτημένη διασταύρωση. Ο ελιγμός της αριστερής στροφής εκτελείται σε ένα διάστημα μεταξύ των οχημάτων της ροής σύγκρουσης και μια απόφαση για τη στιγμή εκκίνησης του ελιγμού της αριστερής στροφής είναι υποκειμενική και βασίζεται στην εκτίμηση του οδηγού ότι ο ελιγμός θα διεξαχθεί στο διάστημα πριν από την άφιξη του επόμενου οχήματος από τη αντίθετη ροή. Η σωστή υποκειμενική αξιολόγηση περιλαμβάνει πάντα το χρόνο ασφάλειας t_s .

Τα τρέχοντα μοντέλα βασίζονται στην εκτίμηση του χρόνου ασφάλειας t_s . Η παραπάνω μελέτη παρουσιάζει την ανάπτυξη μιας λεπτομερούς μαθηματικής διαδικασίας για τον υπολογισμό της μορφής του χρόνου ασφάλειας που βασίζεται σε θεωρία πιθανοτήτων. Οι μετρήσεις σε μη σηματοδοτημένες διασταυρώσεις είχαν αποδείξει τη δυνατότητα εφαρμογής του προτεινόμενου μοντέλου, δυνατότητα υπολογισμού υποκειμενικού χρόνου ασφάλειας και υψηλή συμμετοχή του χρόνου ασφάλειας στο κρίσιμο κενό t_c (περίπου το ένα τρίτο).

Έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης. Όπως προέκυψε από αυτή, η μέση τιμή του υποκειμενικού χρόνου που απαιτείται για την ασφαλή εκτέλεση ελιγμών

αριστερής στροφής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αλλά κατά κύριο λόγο από τη δομή της ροής της κυκλοφορίας προτεραιότητας. Καθώς αυξάνεται ο ρυθμός της ροής κυκλοφορίας προτεραιότητας λ_h , παρατηρείται προσαρμογή των οδηγών που εκτελούν ελιγμούς αριστερής στροφής. Επίσης, με την αυξανόμενη ένταση της ροής κυκλοφορίας προτεραιότητας, το μέσο διάστημα μεταξύ διαδοχικών οχημάτων μειώνεται $t_p = 1 / \lambda_h$, και με αυτόν τον τρόπο επηρεάζει αρνητικά την εμφάνιση αποδεκτών διαστημάτων για ελιγμούς αριστερής στροφής. Ως εκ τούτου, οι οδηγοί οχημάτων που εκτελούν αριστερή στροφή δέχονται μικρότερα διαστήματα σε βάρος της μείωσης του υποκειμενικού χρόνου ασφάλειας και ο κίνδυνος τροχαίου ατυχήματος αυξάνεται. Με βάση τη μέτρηση σε μη σηματοδοτημένες διασταυρώσεις και τον υπολογισμό του χρόνου ασφάλειας, διαπιστώνεται ότι η μέση συμμετοχή του υποκειμενικού χρόνου ασφάλειας είναι το ένα τρίτο του κρίσιμου διαστήματος. Η κατανομή για υποκειμενικό χρόνο ασφάλειας εκτιμάται να είναι λογαριθμική κανονική κατανομή, όπου η τυπική απόκλιση είναι άγνωστη.

1.5. Σκοπός παρούσας μελέτης

Όπως γίνεται εμφανές από τα παραπάνω, έχει γίνει αρκετά εκτενής μελέτη της αλληλεπίδρασης των οδηγών σε ένα αστικό ή μη περιβάλλον. Έρευνες που μελετούν ποσοτικές μετρικές και που εξάγουν ποσοτικοποιημένα συμπεράσματα, όπως η τελευταία (Tanackon, et al., 2018), είναι πιο περιορισμένες σε αριθμό. Ωστόσο φαίνεται να απουσιάζουν πλήρως έρευνες που κατά τη μελέτη της αλληλεπίδρασης των οδηγών εξετάζουν μεταβλητές όπως ο τύπος των οχημάτων που αλληλεπιδρούν αλλά και το είδος της κίνησης που τα οχήματά τους εκτελούν. Στην κάλυψη του κενού αυτού καλείται να συνεισφέρει η παρούσα εργασία.

Σκοπός της παρούσας έκθεσης είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός οδηγού συμβατικού οχήματος (I.X.) και των υπόλοιπων χρηστών του δρόμου σε περιπτώσεις διασταύρωσης κατά τις οποίες εμφανίζεται διαφορά προτεραιότητας μεταξύ των δυο συμμετεχόντων. Στόχος είναι η συλλογή δεδομένων για ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης της πρόθεσης ενός συμβατικού οδηγού, με σκοπό την χρήση τους στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη συστημάτων αυτόνομων οχημάτων. Μέσω του σχεδιασμού και της εκτέλεσης μια πειραματικής διαδικασίας, εξάγουμε παρατηρήσεις και συλλέγουμε πρωτογενή στοιχεία, η ανάλυση και ερμηνεία των οποίων μας οδηγεί σε ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης. Για τις ανάγκες της έκθεσης,

στο εξής ο συμμετέχων στο πείραμα οδηγός τον οποίο μελετάμε θα αναφέρεται ως ΥΕΟ (υπο εξέταση οδηγός) ενώ το όχημα με το οποίο αλληλεπιδρά (διασταυρώνεται) σε κάθε συμβάν θα αναφέρεται ως ΧΔ (χρήστης δρόμου). Στην παρούσα μελέτη εξετάζουμε αποκλειστικά και μόνο οχήματα ως χρήστες δρόμου και για τον λόγο αυτό απουσιάζουν πλήρως παρατηρήσεις για χρήστες άλλου τύπου όπως πεζοί ή ποδηλάτες.

2. Διαδικασία διεξαγωγής μελέτης

2.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Για τις ανάγκες της μελέτης σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε η εξής πειραματική διαδικασία. Εικοσιένα οδηγοί κλήθηκαν να ακολουθήσουν μια προκαθορισμένη διαδρομή στην περιοχή του Ζωγράφου οδηγώντας το προσωπικό τους αυτοκίνητο. Η διαδρομή ήταν διαδρομή κλειστού βρόγχου, καθώς η αφετηρία ταυτιζόταν με τον τερματισμό, είχε συνολικό μήκος 0.75 χιλιόμετρα και επαναλήφθηκε 5 φορές από τον κάθε ΥΕΟ. Οι χρόνοι ολοκλήρωσης κυμάνθηκαν από 15 λεπτά έως 28 λεπτά και 19 δευτερόλεπτα με μέσο χρόνο ολοκλήρωσης τα 22 λεπτά και 15 δευτερόλεπτα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος οι οδηγοί φορούσαν γυαλιά καταγραφής της κίνησης των οφθαλμών (eye tracking) τα οποία επίσης κατέγραφαν σε βίντεο (εικόνα και ήχο) την όλη διαδικασία. Η επιλογή της διαδρομής στη συγκεκριμένη αστική περιοχή καθώς και η εκτέλεση του πειράματος σε χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της ημέρας με υψηλή πυκνότητα κίνησης είχε ως σκοπό την καταγραφή μεγάλου αριθμού και ποικιλίας αλληλεπιδράσεων μεταξύ του ΥΕΟ και των υπόλοιπων ΧΔ.

2.2. Στοιχεία οδηγών

Στο πείραμα έλαβαν μέρος 11 γυναίκες και 10 άνδρες οδηγοί, των οποίων η ηλικία και τα χρόνια οδηγικής εμπειρίας φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: *Ηλικία και οδηγική εμπειρία οδηγών*

Γυναίκες		Άνδρες	
Ηλικία	Οδηγική Εμπειρία (έτη)	Ηλικία	Οδηγική Εμπειρία (έτη)
57	33	45	26
23	5	25	6
53	30	38	19
57	28	40	21
36	18	43	25
44	14	42	21
33	13	30	11
36	16	66	44
24	4	25	7
30	10	29	10
46	28	-	-

Τα στοιχεία του συνόλου του πληθυσμού των ΥΕΟ συνοψίζονται στον Πίνακα 2:

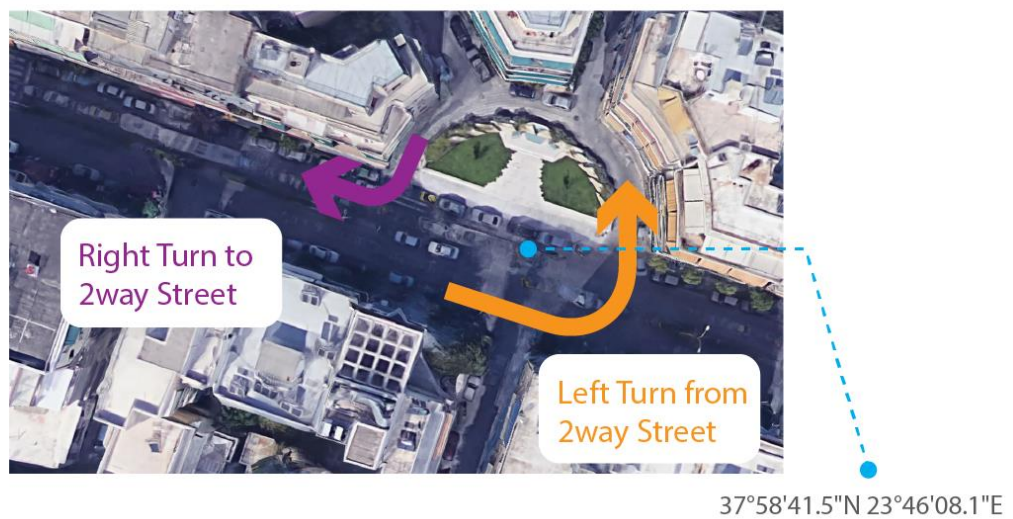
Πίνακας 2: Στοιχεία συνόλου οδηγών

Σύνολο Πληθυσμού	21
Μέση Ηλικία	39.1
Διάμεση Ηλικία	38.0
Τυπική Απόκλιση	11.7
Οδηγική Εμπειρία (έτη)	
Μέση Τιμή	18.5
Διάμεση Τιμή	18.0
Τυπική Απόκλιση	10.3

2.3. Ανάλυση Βίντεο

2.3.1. Τοποθεσία

Σκοπός της ανάλυσης των βίντεο που καταγράφηκαν ήταν η εξαγωγή δεδομένων αναφορικά με την λήψη απόφασης διάσχισης διασταύρωσης καθώς και τα δεδομένα μη λήψης της απόφασης έως τη χρονική στιγμή της διάσχισης, μέσω της αλληλεπίδρασης του ΥΕΟ και των υπολοίπων ΧΔ. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν προς ανάλυση δυο αριστερές στροφές από κύριο δρόμο (κεντρικό δρόμο αυξημένης κυκλοφορίας) προς πάροδο (κάθετο δρόμο μειωμένης κυκλοφορίας). Συγκεκριμένα, δυο αυτά σημεία είναι η συμβολή της Λεωφόρου Στρατάρχου Αλεξάνδρου Παπάγου με την πάροδο Ιάσονα Μαράτου και η συμβολή της ίδιας Λεωφόρου με την πάροδο Αμφιτρίτης. Οι εν λόγω στροφές φαίνονται στην Εικόνα 1 σε δορυφορική προβολή από την πλατφόρμα google maps:



Εικόνα 1: Αεροφωτογραφία εξεταζόμενων στροφών

Η επιλογή αριστερών στροφών από κύριο δρόμο σε πάροδο έγινε καθώς οι περιπτώσεις αυτές προσφέρουν τη μέγιστη δυνατή ορατότητα από την οπτική γωνία του οδηγού άρα και του αναλυτή ο οποίος μέσω του βίντεο των γυαλιών eye tracking «βλέπει μέσα από τα μάτια» του ΥΕΟ. Έτσι η καταγραφή των ποσοτικών μετρητικών στην κάθε αλληλεπίδραση γίνεται με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και άρα με την μικρότερη αβεβαιότητα. Επιπροσθέτως, το γεγονός ότι στις εν λόγω στροφές η κυκλοφορία δεν ρυθμίζεται από φωτεινό σηματοδότη, καθιστά αναγκαία την αλληλεπίδραση του ΥΕΟ με τους διερχόμενους ΧΔ προκειμένου να εκτελεστεί η στροφή και συνεπώς προκύπτουν εκ των πραγμάτων αλληλεπιδράσεις προς εξέταση.

2.3.2. Ποσοτικές και ποιοτικές μετρικές

Στο πρώτο μέρος της ανάλυσης καταγράφουμε τα δεδομένα κατά τη στιγμή της λήψης της απόφασης του ΥΕΟ να διασχίσει κάθετα το αντίθετο ρεύμα κίνησης και να εισέλθει στρίβοντας αριστερά στον εκάστοτε παράδρομο. Οι μετρικές που μας ενδιαφέρουν είναι οι εξής:

1. ο τύπος του διασταυρωνόμενου οχήματος μπροστά από το οποίο θα διέλθει ο ΥΕΟ
 - Κανονικό Επιβατικό Αυτοκίνητο μέσου μεγέθους (Ι.Χ.)
 - Όχημα Μεγάλου Μεγέθους (φορτηγό – λεωφορείο)
 - Μοτοσυκλέτα (δίκυκλο)
 - Ταξί
2. απόσταση μεταξύ του ΥΕΟ και του διασταυρωνόμενου οχήματος τη στιγμή λήψης της απόφασης διέλευσης
3. είδος κίνησης του διασταυρωνόμενου οχήματος τη στιγμή λήψης της απόφασης διέλευσης
 - επιτάχυνση
 - επιβράδυνση
 - επιβράδυνση μέχρι ακινητοποίησης
 - σταθερή ταχύτητα
 - ακινητοποιημένο όχημα
4. εξειδικευμένες παρατηρήσεις για την εκάστοτε αλληλεπίδραση
 - παραχώρηση προτεραιότητας του ΧΔ στον ΥΕΟ
 - κίνηση λεωφορείου (αντίθετο ρεύμα) σε παραπλήσια στην στροφή στάση (επιβράδυνση, ακινητοποίηση ή επιτάχυνση)
 - είσοδος τρίτου ΧΔ στον κεντρικό δρόμο (αντίθετο ρεύμα) από κάθετη πάροδο
 - κάθετη διάσχιση του κεντρικού δρόμου από τρίτο ΧΔ (αναγκάζοντας το αντίθετο ρεύμα κίνησης σε ακινητοποίηση ή επιβράδυνση)
 - κάθετη διάσχιση του κεντρικού δρόμου από πεζό (αναγκάζοντας το αντίθετο ρεύμα κίνησης σε ακινητοποίηση ή επιβράδυνση)

- διάφορες άλλες παρατηρήσεις (ακίνητοποιημένα οχήματα για άγνωστους λόγους, κάθετη διάσχιση ποδηλάτη κ.α.)

Όσον αφορά τον τύπο του διασταυρωνόμενου οχήματος, στην κατηγορία Όχημα Μεγάλου Μεγέθους εντάσσονται όλα τα οχήματα μεγαλύτερων διαστάσεων συγκριτικά με τα συμβατικά αυτοκίνητα ιδιωτικής χρήσης, όπως επαγγελματικά οχήματα, φορτηγά, τράκτορες, τροχόσπιτα και λεωφορεία. Στις μοτοσυκλέτες εντάσσονται τα τυπικά δίκυκλα καθώς και τρίκυκλα αντιστοίχου μεγέθους.

2.3.3. Μεθοδολογία ανάλυσης

Για λόγους ακρίβειας και συνέπειας, η χρονική στιγμή της λήψης της απόφασης διέλευσης θεωρείται η χρονική στιγμή που ο ΥΕΟ:

- ύστερα από ακίνητοποιημένη αναμονή στο διάκενο της νησίδας, θεωρεί ασφαλή τη διέλευση του και βλέπουμε επανέναρξη της κίνησης του υπό εξέταση οχήματος που καταλήγει στην εκτέλεση της στροφής
- σε περίπτωση μη ακινητοποίησης του ΥΕΟ στο διάκενο, η στιγμή που εγκαταλείπει το ρεύμα κίνησής του με το υπό εξέταση όχημα να έχει εισέλθει στο αντίθετα κινούμενο ρεύμα και να εκτελεί τη στροφή χωρίς ακινητοποίηση

Για τον χαρακτηρισμό του είδους της κίνησης του διασταυρωνόμενου οχήματος, παρατηρούμε το όχημα μέχρι ο ΥΕΟ να χάσει οπτική επαφή με αυτό και να αρχίσει να εκτελεί τη στροφή. Έτσι για παράδειγμα, εάν την τελευταία φορά που ο ΥΕΟ έχει οπτική επαφή με το διασταυρωνόμενο όχημα πριν αρχίσει να στρίβει, αυτό κινείται με σταθερή ταχύτητα, τότε το είδος κίνησης εντάσσεται στην αντίστοιχη κατηγορία.

Επιπροσθέτως, εάν εντοπιστεί κατά τη στιγμή λήψης της απόφασης όχημα έτερου ΧΔ σε απόσταση άνω των 100 μέτρων, θεωρείται ότι, λόγω των συνθηκών κίνησης της περιοχής και της δυνατότητας ανάπτυξης ταχύτητας των διερχόμενων οχημάτων, το διερχόμενο όχημα δεν αλληλεπιδρά με τον ΥΕΟ και συνεπώς ο δρόμος θεωρείται ελεύθερος.

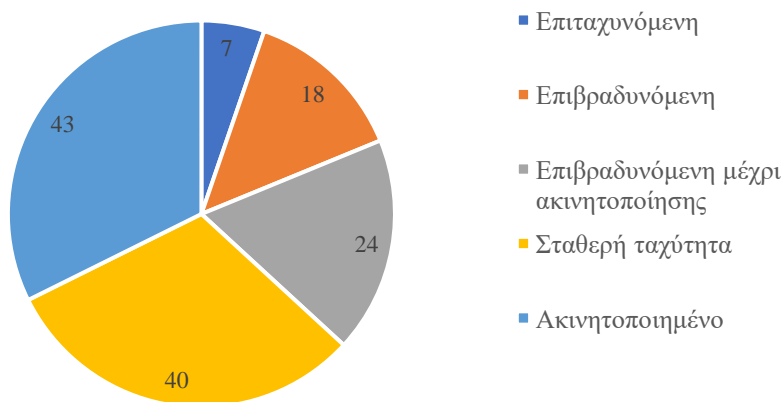
Όσον αφορά τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δυο οχημάτων, η τεχνική που εφαρμόζουμε είναι η εξής. Τη στιγμή της λήψης της απόφασης, «παγώνουμε» το καταγεγραμμένο βίντεο,

αναπαράγουμε την οπτική γωνία του ΥΕΟ στην πλατφόρμα του google maps σε λειτουργία δορυφόρου και κάνουμε μέτρηση της απόστασης μεταξύ του σημείου οπτικής του ΥΕΟ και του σημείου που βρίσκεται ο έτερος ΧΔ εκείνη τη χρονική στιγμή στο βίντεο. Για τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια στην αντιπαράθεση μεταξύ του στιγμιότυπου και της πλατφόρμας γίνεται χρήση σταθερών σημείων αναφοράς όπως στύλοι ηλεκτροδότησης ή ακμές κτηρίων.

Για την ακρίβεια της μεθόδου μέτρησης της απόστασης, λαμβάνουμε υπόψη ότι το μικρότερο σε διαστάσεις αντικείμενο που χρησιμοποιούμε σαν σημείο αναφοράς είναι οι δημοτικοί κάδοι απορριμμάτων με τυπικό μήκος τα 1.38 μέτρα. Επιπλέον, μεταξύ των ΥΕΟ, υπάρχει μια διακύμανση που οφείλεται στη διαφορά των μεγεθών του ΙΧ που χρησιμοποιεί ο καθένας, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται από πείραμα σε πείραμα η απόσταση μεταξύ της θέσης οδήγησης, άρα και της προοπτικής που εξετάζουμε κατά την ανάλυση των βίντεο, και του ακρότατου μπροστινού τμήματος του οχήματος (το τέλος του προφυλακτήρα). Συνδυάζοντας τις παρατηρήσεις αυτές, μπορούμε να εκτιμήσουμε πως η ακρίβεια της μεθόδου μέτρησης κυμαίνεται στο εύρος ± 2 μέτρα.

3. Μελέτη απόφασης διέλευσης

Από τη μελέτη των βίντεο που προκύπτουν από τις διαδρομές των εικοσιένα οδηγών, προέκυψαν 132 περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ΥΕΟ διέσχισε τις υπο εξέταση διασταυρώσεις αλληλοεπιδρώντας με έτερο ΧΔ. Καταμετρούμε την απόσταση μεταξύ του ΥΕΟ και του έτερου ΧΔ τη στιγμή λήψης της απόφασης και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως εξής. Η κατανομή του είδους κίνησης του ετέρου οχήματος για τις περιπτώσεις αυτές συνοψίζεται στο Διάγραμμα 1 και στον Πίνακα 3:



Διάγραμμα 1: Κατανομή καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά είδος κίνησης

Πίνακας 3: Στοιχεία καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά είδος κίνησης

Κίνηση διασταυρωμένου οχήματος	Αριθμός καταγραφών	Μέση απόσταση (m)	Ποσοστό
Επιταχυνόμενη	7	37.85	5.26%
Επιβραδυνόμενη	18	28.67	13.53%
Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης	24	15.70	18.05%
Σταθερή ταχύτητα	40	41.55	30.83%
Ακινητοποιημένο	43	24.62	32.33%
Σύνολο	132		

Πριν προχωρήσουμε παρακάτω είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι στην ανάλυση της απόφασης διέλευσης δεν έχει συμπεριληφθεί η μεταβλητή της ταχύτητας του έτερου ΧΔ σε αντίθεση με την ανάλυση της μη – απόφασης διέλευσης όπου η μετρική της ταχύτητας του ΧΔ είναι παρούσα.

Αυτό συμβαίνει διότι η προοπτική που εξετάζουμε είναι προοπτική πρώτου προσώπου (first person view) καθώς μελετάμε τα βίντεο μέσω των γυαλιών eye tracking, βλέποντας δηλαδή «μέσα από τα μάτια» του ΥΕΟ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα για την περίπτωση απόφασης διέλευσης, μόλις ο ΥΕΟ αρχίσει να εκτελεί την στροφή, να χάνουμε οπτική επαφή με τον ΧΔ με τον οποίο αλληλεπιδρά και έτσι να μην έχουμε τη δυνατότητα να μετρήσουμε την ταχύτητα αυτού. Αυτό αποτελεί έναν περιορισμό για την συγκεκριμένη ανάλυση καθώς την μεταβλητή της ταχύτητας θα μπορούσαμε να τη μετρήσουμε στην περίπτωση απόφασης διέλευσης μόνο εάν είχαμε διαθέσιμη μια προοπτική τρίτου προσώπου κάποιου εξωτερικού παρατηρητή, όπως για παράδειγμα την λήψη εικόνας από κάποιο drone (προοπτική bird's eye view). Ωστόσο κάτι τέτοιο δεν ήταν εφικτό και συνεπώς η πληροφορία αυτή δεν είναι διαθέσιμη.

Θα ήταν δυνατή η εκτίμηση της ταχύτητας του έτερου ΧΔ ανά περίπτωση με βάση τα δεδομένα των ταχυτήτων που έχουμε συλλέξει για την περίπτωση απόφασης μη – διέλευσης, εφαρμόζοντας παραδοχές και εκτιμώντας τη μέση ταχύτητα που εμφανίζουν οι ΧΔ ανά τύπο οχήματος και ανά απόσταση που καταγράφονται. Ωστόσο η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα επισφαλής καθώς δεν υπάρχει ένα ικανοποιητικά μεγάλο μέγεθος δείγματος για τις περιπτώσεις μη – διέλευσης από το οποίο θα μπορούσε να προκύψει η μετρική της ταχύτητας με ικανοποιητική ακρίβεια προσέγγισης. Για τον λόγο αυτό η μεταβλητή της ταχύτητας στην περίπτωση απόφασης διέλευσης παραβλέπεται.

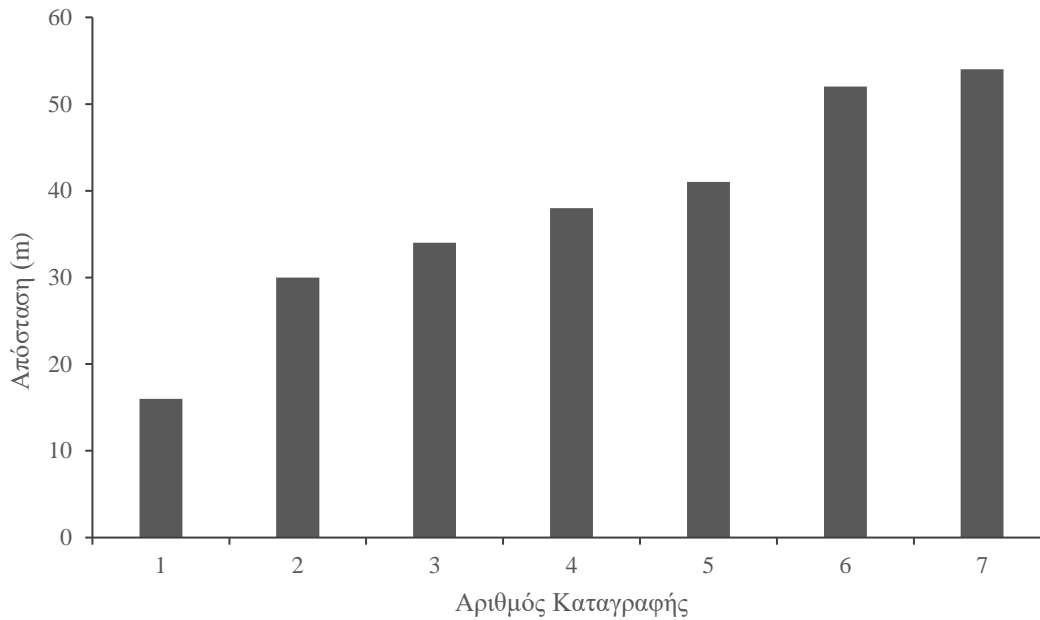
3.1. Ανάλυση με βάση το είδος κίνησης

3.1.1. Αποτελέσματα ανά είδος κίνησης

3.1.1.1. Επιταχυνόμενη κίνηση

Κατά την παρατήρηση των βίντεο εμφανίστηκαν μόνο 7 περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ΥΕΟ επιλέγει να διασχίσει τη διασταύρωση ενώ έχει εντοπίσει όχημα να κινείται προς την κατεύθυνση του εκτελώντας επιταχυνόμενη κίνηση. Η μέση τιμή των αποστάσεων που μετρήθηκαν είναι $\mu = 37.85 \text{ m}$ και η τυπική απόκλιση του δείγματος $\sigma = 13.06 \text{ m}$.

Οι καταγραφές αυτές διατεταγμένες κατά αύξουσα απόσταση απεικονίζονται Διάγραμμα 2:



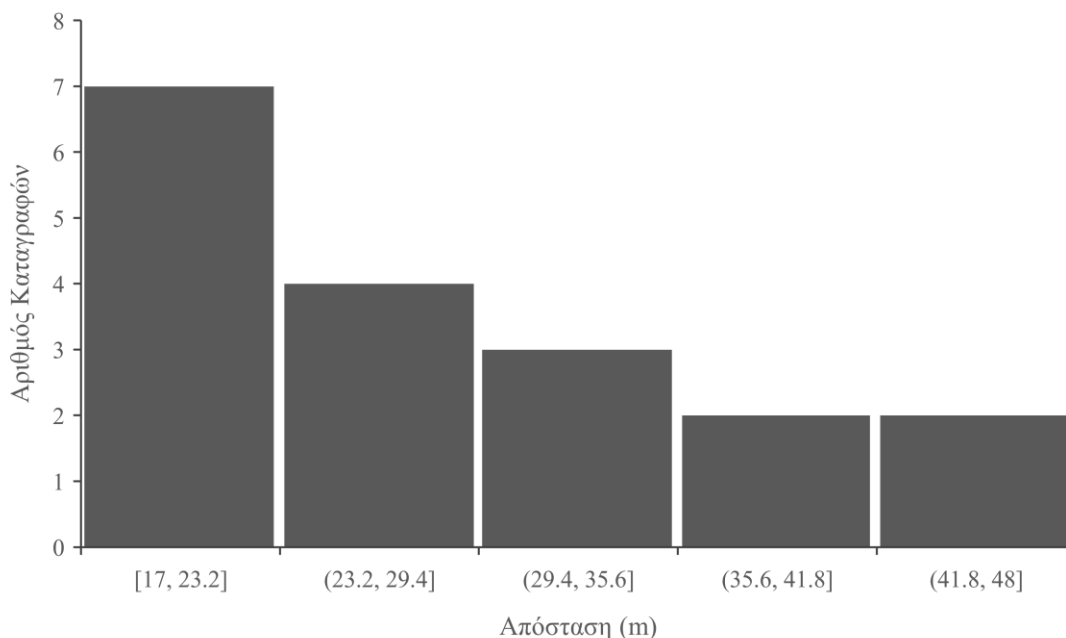
Διάγραμμα 2: Καταγραφές επιταχυνόμενης κίνησης κατά αύξουσα απόσταση

Βάση των επιπρόσθετων παρατηρήσεων που καταγράφηκαν σε κάθε συμβάν, προκύπτει ότι 4 από τις 7 περιπτώσεις αντιστοιχούν σε ΧΔ τύπου Ι.Χ. το οποίο εισέρχεται στο αντίθετα από τον ΥΕΟ κινούμενο ρεύμα από κάθετο παράδρομο. Στις περιπτώσεις αυτές ο έτερος ΧΔ μπορεί να επιταχύνει, ωστόσο έχει χαμηλή ταχύτητα εφόσον μόλις έχει ξεκινήσει την κίνησή του στον κεντρικό δρόμο, ενώ βρίσκεται και σε μεγάλη απόσταση (39.87 m κατά μέσο όρο) από τον ΥΕΟ.

Μια αξιοσημείωτη περίπτωση είναι αυτή που κατά την στιγμή της λήψης της απόφασης, ο έτερος ΧΔ είναι λεωφορείο που επιταχύνει σε απόσταση 16.08 m από τον ΥΕΟ, όντας όμως προηγουμένως πλήρως ακινητοποιημένο σε στάση λεωφορείου.

3.1.1.2. Επιβραδυνόμενη κίνηση

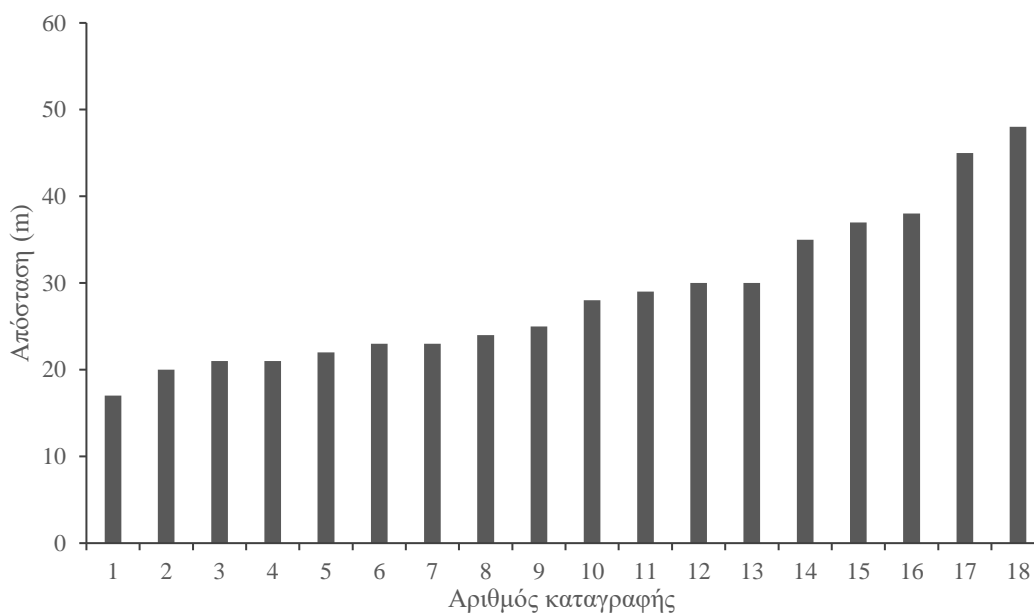
Σε 18 περιπτώσεις εντοπίζουμε επιβραδυνόμενη κίνηση του έτερου ΧΔ κατά τη στιγμή της λήψης της απόφασης του ΥΕΟ να στρίψει. Η μέση τιμή των αποστάσεων που μετρήθηκαν είναι $\mu = 28.67 m$ και η τυπική απόκλιση του δείγματος $\sigma = 8.79 m$. Οι καταγραφές αυτές κατηγοριοποιημένες ανά απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 3:



Διάγραμμα 5: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών επιβραδυνόμενης κίνησης

Βλέπουμε ότι η πλειοψηφία των καταγραφών κατά τις οποίες ο έτερος ΧΔ εκτελεί επιβραδυνόμενη κίνηση εντοπίζονται σε μικρομεσαίες αποστάσεις, με 11 από τις 18 περιπτώσεις να μετρούν απόσταση από 17 έως 29.4 μέτρα μεταξύ των δυο οχημάτων. Οι λίγες αλληλεπιδράσεις που απομένουν εντοπίζονται σε μεγάλη απόσταση και έχουν λίγες καταγραφές, με 5 να είναι μεταξύ 29.4 και 41.8 μέτρων και μόλις 2 μεταξύ 41.8 και 48 μέτρων.

Οι καταγραφές αυτές διατεταγμένες κατά αύξουσα απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 4:

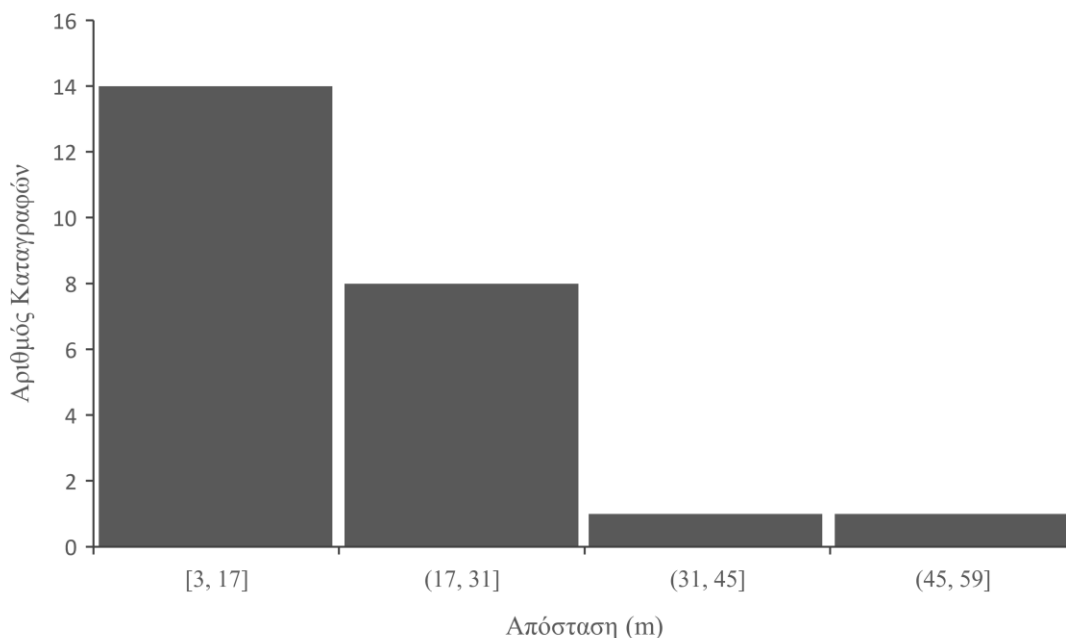


Διάγραμμα 8: Καταγραφές επιβραδυνόμενης κίνησης κατά αύξουσα απόσταση

Αναφορικά με τον τύπο του οχήματος για κάθε αλληλεπίδραση, παρατηρούμε ότι 8 από τις 18 περιπτώσεις είναι Ι.Χ. με μέση απόσταση τη στιγμή λήψης της απόφασης τα 26.81 m ενώ 6 από τα 18 είναι Οχήματα Μεγάλου Μεγέθους με μέση απόσταση τα 34.35 m. Η διαφορά αυτή παραπέμπει σε μια συμπεριφορά κατά την οποία ο ΥΕΟ διστάζει να λάβει την επιβράδυνση ενός οχήματος ως σήμα παραχώρησης προτεραιότητας ή ευκαιρία διάσχισης του δρόμου, όταν αυτό είναι μεγαλύτερου μεγέθους.

3.1.1.3. Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης

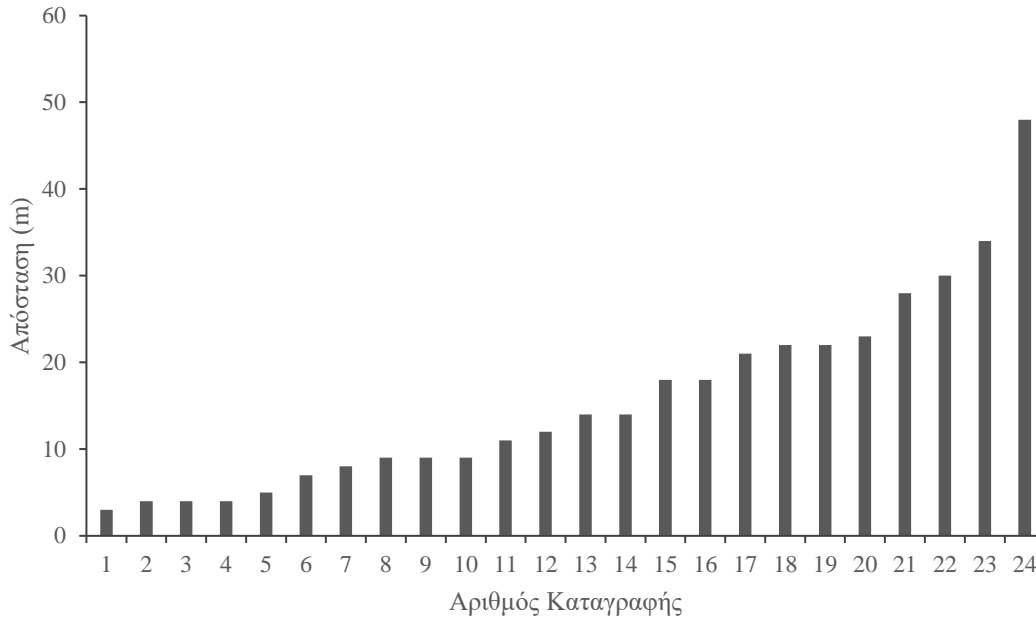
Σε 24 περιπτώσεις εντοπίζουμε επιβραδυνόμενη κίνηση μέχρι ακινητοποίησης του έτερου ΧΔ κατά τη στιγμή της λήψης της απόφασης του ΥΕΟ να στρίψει. Η μέση τιμή των αποστάσεων που μετρήθηκαν είναι $\mu = 15.70 m$ και η τυπική απόκλιση του δείγματος $\sigma = 11.23 m$. Οι καταγραφές αυτές κατηγοριοποιημένες ανά απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 5:



Διάγραμμα 11: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών επιβραδυνόμενης μέχρι ακινητοποίησης

Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των καταγραφών εντοπίζονται σε πολύ μικρές αποστάσεις, με 14 από τις 24 να είναι μεταξύ 3 και 17 μέτρων και 8 από τις 24 σε μικρομεσαίες αποστάσεις μεταξύ 17 και 31 μέτρων.

Οι καταγραφές αυτές διατεταγμένες κατά αύξουσα απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 6:



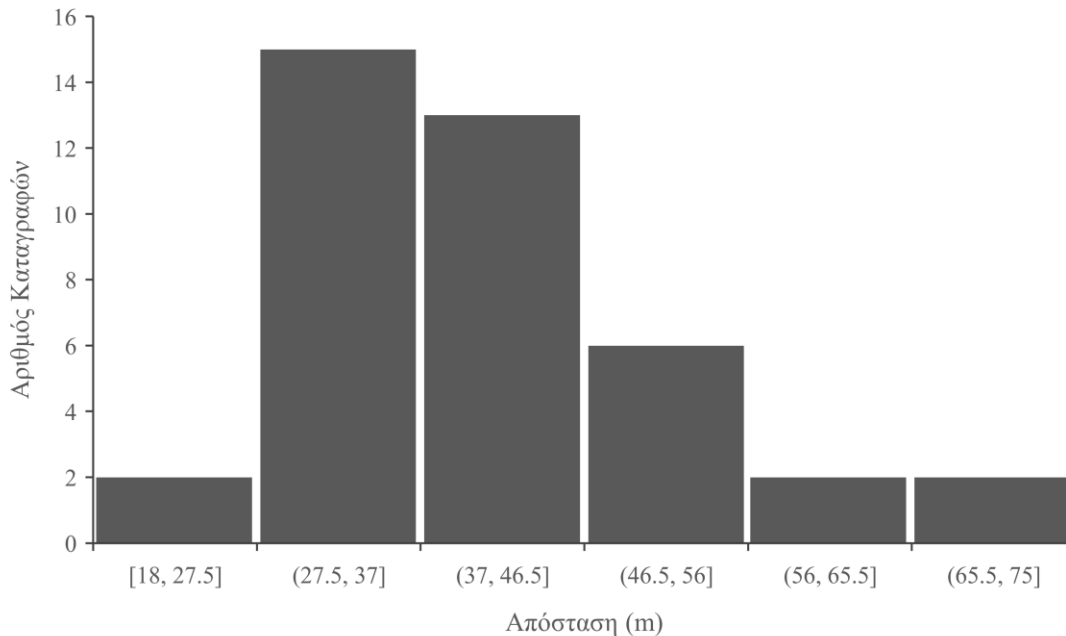
Διάγραμμα 14: Καταγραφές επιβραδυνόμενης μέχρι ακινητοποίησης κατά αύξουσα απόσταση

Αναλυτικότερα ως προς τον τύπο οχήματος του έτερου ΧΔ βλέπουμε ότι 18 από τις 24 καταγραφές είναι Ι.Χ. ή Ταξί με μέση απόσταση τα 13.49 μέτρα ενώ σε 8 από τις καταγραφές αυτές έχουμε παρατηρήσει παραχώρηση προτεραιότητας από τον έτερο ΧΔ προς τον ΥΕΟ που εκφράζεται από την ακινητοποίηση του οχήματος του πρώτου συνοδευόμενη ενίοτε και από κάποιο επιπρόσθετο σήμα.

Μόνο 5 από τις 24 καταγραφές εμφανίζουν αλληλεπίδραση με Όχημα Μεγάλου Μεγέθους, με μέση απόσταση τα 21.5 μέτρα ενώ μόλις μια καταγραφή πρόκειται για τύπο οχήματος Μοτοσυκλέτα η οποία επιβραδύνει και ακινητοποιείται στα 27 μέτρα για άγνωστο λόγο.

3.1.1.4. Σταθερή ταχύτητα

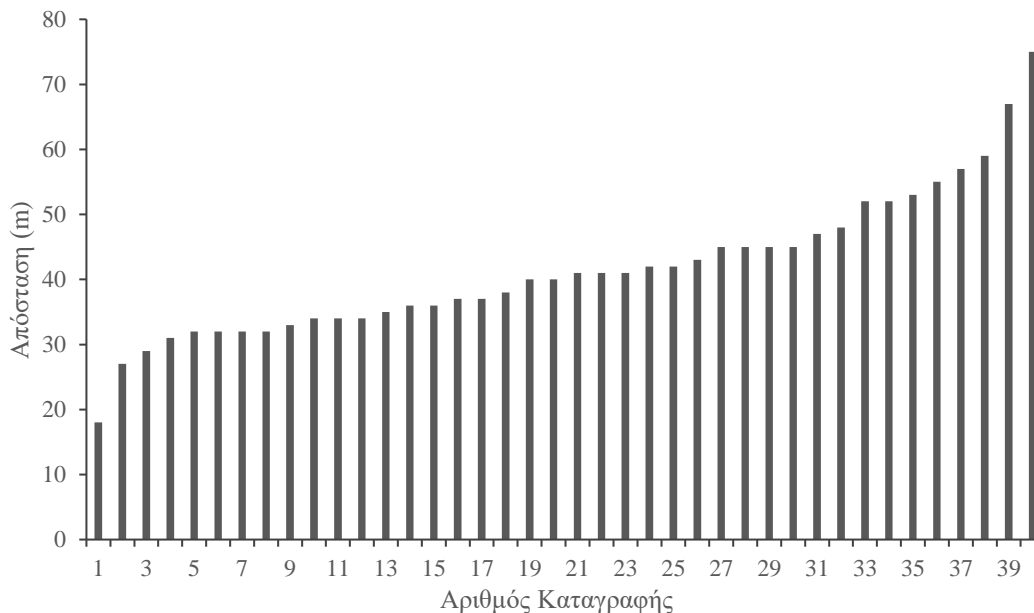
Σε 40 περιπτώσεις παρατηρούμε ότι ο έτερος ΧΔ κινείται με σταθερή ταχύτητα κατά τη στιγμή της λήψης της απόφασης του ΥΕΟ να στρίψει. Η μέση τιμή των αποστάσεων που καταγράφηκαν είναι $\mu = 41.55 \text{ m}$ και η τυπική απόκλιση του δείγματος $\sigma = 11.05 \text{ m}$. Οι καταγραφές αυτές κατηγοριοποιημένες ανά απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 7:



Διάγραμμα 17: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών σταθερής ταχύτητας

Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των καταγραφών εντοπίζονται σε μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις με 15 από τις 40 να είναι μεταξύ 27.5 και 37 μέτρων και 13 από τις 40 μεταξύ 37 και 46.5 μέτρων. Μόλις 2 καταγραφές εντοπίζονται σε μικρομεσαίες αποστάσεις μεταξύ 18 και 27.5 μέτρων ενώ 4 καταγραφές εμφανίζουν πολύ μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων, άνω των 56 μέτρων.

Οι καταγραφές αυτές διατεταγμένες κατά αύξουσα απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 8:

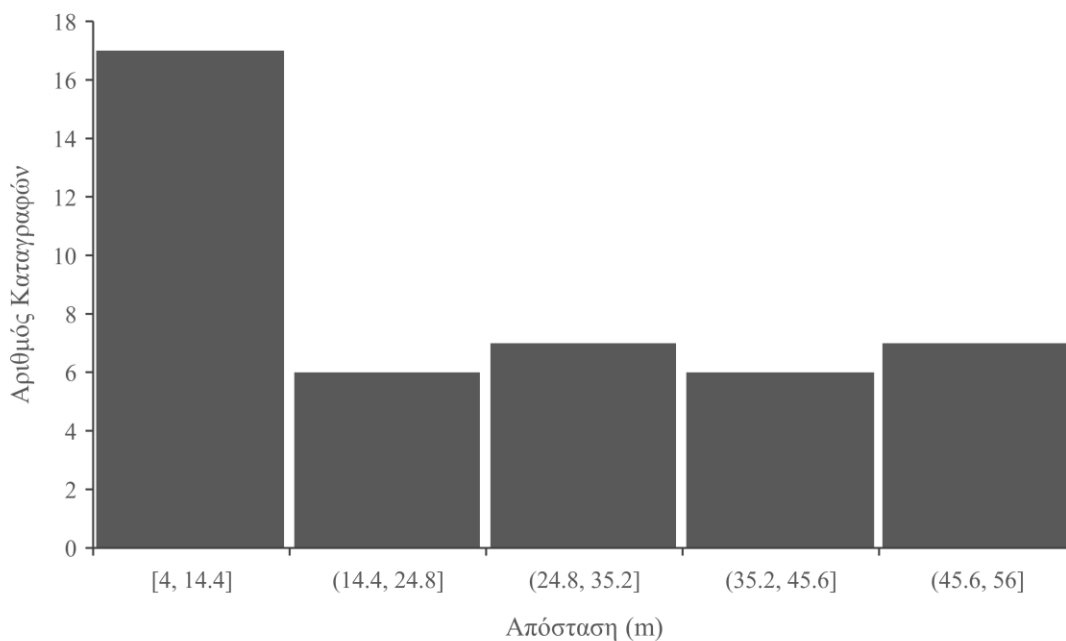


Διάγραμμα 20: Καταγραφές σταθερής ταχύτητας κατά αύξουσα απόσταση

Όσον αφορά τον τύπο οχήματος, 18 από τις 40 καταγραφές είναι μοτοσυκλέτες με μέση απόσταση τα 38.24 μέτρα ενώ 17 από τις 40 είναι Ι.Χ. με μέση απόσταση τα 42.76 μέτρα.

3.1.1.5. Ακίνητοποιημένο

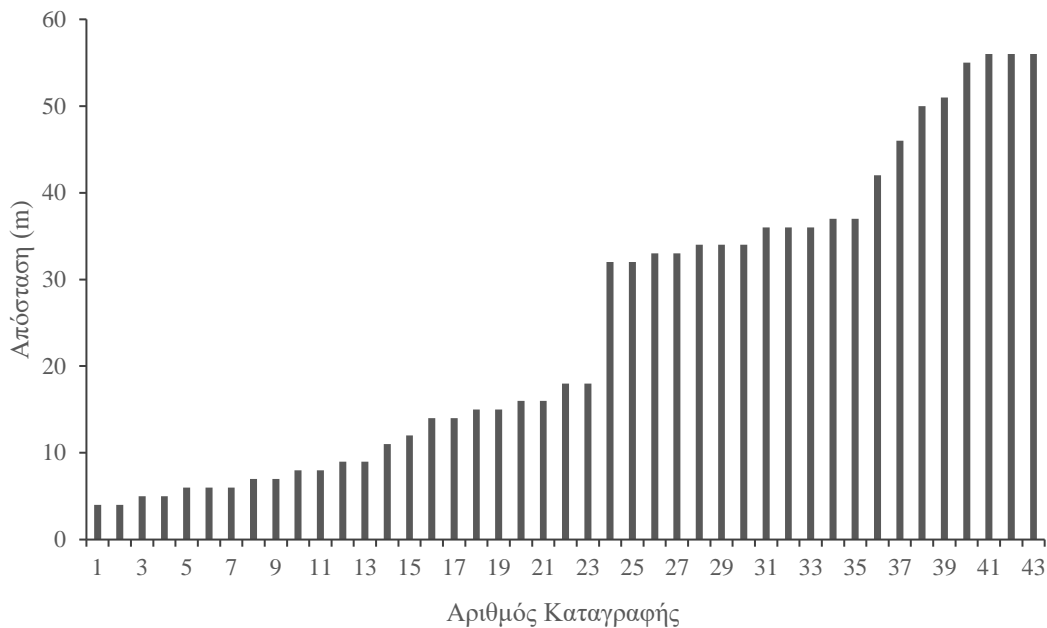
Σε 43 περιστατικά παρατηρούμε ότι ο έτερος ΧΔ είναι ακίνητοποιημένος τη στιγμή που ο ΥΕΟ λαμβάνει την απόφαση να στρίψει. Η μέση τιμή των αποστάσεων των ακίνητοποιημένων οχημάτων που καταγράφηκαν είναι $\mu = 24.62 m$ και η τυπική απόκλιση του δείγματος $\sigma = 17.25 m$. Οι καταγραφές αυτές κατηγοριοποιημένες ανά απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 9:



Διάγραμμα 23: Ιστόγραμμα αποστάσεων καταγραφών ακίνητοποιημένου οχήματος

Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι πολλές καταγραφές, συγκεκριμένα 17 από τις 41 εντοπίζονται σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ 4 και 14.4 μέτρων. Ωστόσο οι υπόλοιπες 26 καταγραφές είναι σχετικά ομοιόμορφα κατανεμημένες (6 ή 7 ανά κλάση) στα εναπομείναντα διαστήματα αποστάσεων, από μικρομεσαίες και μεσαίες μέχρι μεγάλες αποστάσεις.

Οι καταγραφές αυτές διατεταγμένες κατά αύξουσα απόσταση απεικονίζονται στο Διάγραμμα 10:



Διάγραμμα 24: Καταγραφές ακινητοποιημένου οχήματος κατά αύξουσα απόσταση

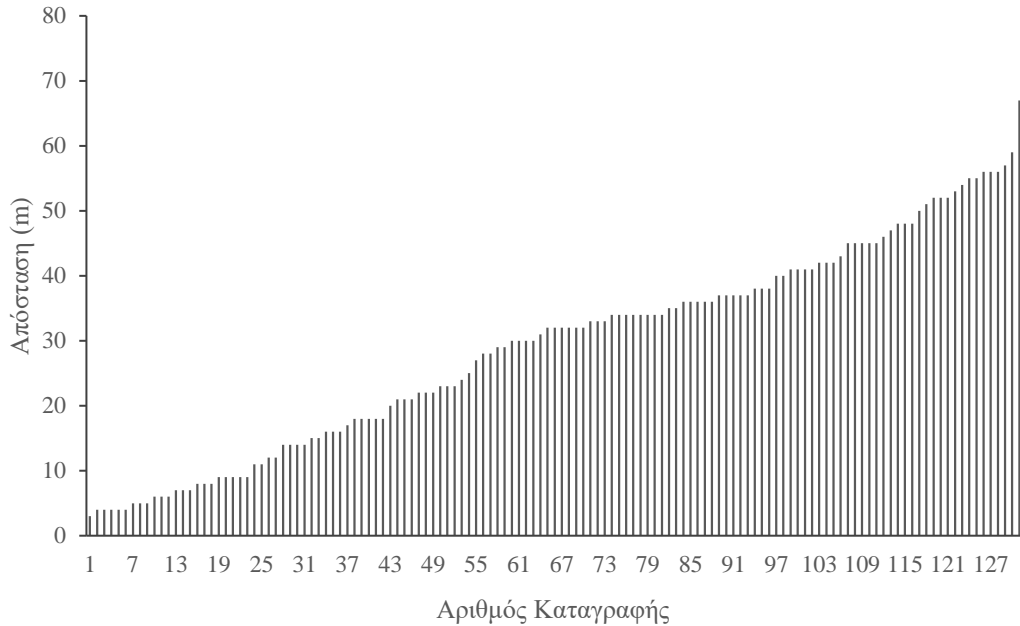
Λαμβάνοντας υπόψη το είδος του οχήματος καθώς και τις εξειδικευμένες παρατηρήσεις που, εάν υπάρχουν, καταγράφουμε σε κάθε αλληλεπίδραση, προκύπτουν τα εξής. Αρχικά, 13 από τις 41 καταγραφές είναι Οχήματα Μεγάλου Μεγέθους, με μέση απόσταση τα 37.13 μέτρα, με 8 από αυτά να είναι λεωφορεία ακινητοποιημένα σε στάση, γεγονός που αιτιολογεί τις περιπτώσεις αλληλεπιδράσεων σε μεγάλη απόσταση.

Στην κλάση των πολύ μικρών αποστάσεων υπάρχουν καταγραφές μόνο I.X. και Ταξί με μέση απόσταση τα 7.9 μέτρα. Στις 14 από τις 17 αυτές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί παραχώρηση προτεραιότητας από τον έτερο ΧΔ προς τον ΥΕΟ. Πρόκειται για περιστατικά κατά τα οποία υπάρχει πυκνή κίνηση ακινητοποιημένων οχημάτων ή ιδιαίτερα χαμηλών ταχυτήτων στο αντίθετο ρεύμα, κατά τα οποία ο έτερος ΧΔ αντί για να ξεκινήσει την κίνησή του μετά την εκκίνηση του ακόλουθου οχήματος, παραχωρεί προτεραιότητα στον ΥΕΟ μέσω κάποιου σήματος όπως νεύμα ή στιγμιαία ενεργοποίηση της μεγάλης σκάλας προβολών πορείας.

Όσον αφορά τις μεσαίες αποστάσεις αλληλεπιδράσεων που καταγράφονται, βάση των εξειδικευμένων παρατηρήσεων ανά περίπτωση, προκύπτει ότι σε 13 περιστατικά με μέση απόσταση τα 34.95 μέτρα, εμφανίζεται 3^ο όχημα να εισέρχεται στο αντίθετο ρεύμα του κεντρικού δρόμου από κάθετο παράδρομο, αναγκάζοντας τον έτερο ΧΔ με τον οποίο αλληλεπιδρά ο ΥΕΟ να ακινητοποιήσει το όχημά του, δίνοντας την ευκαιρία στον τελευταίο να εκτελέσει τη στροφή.

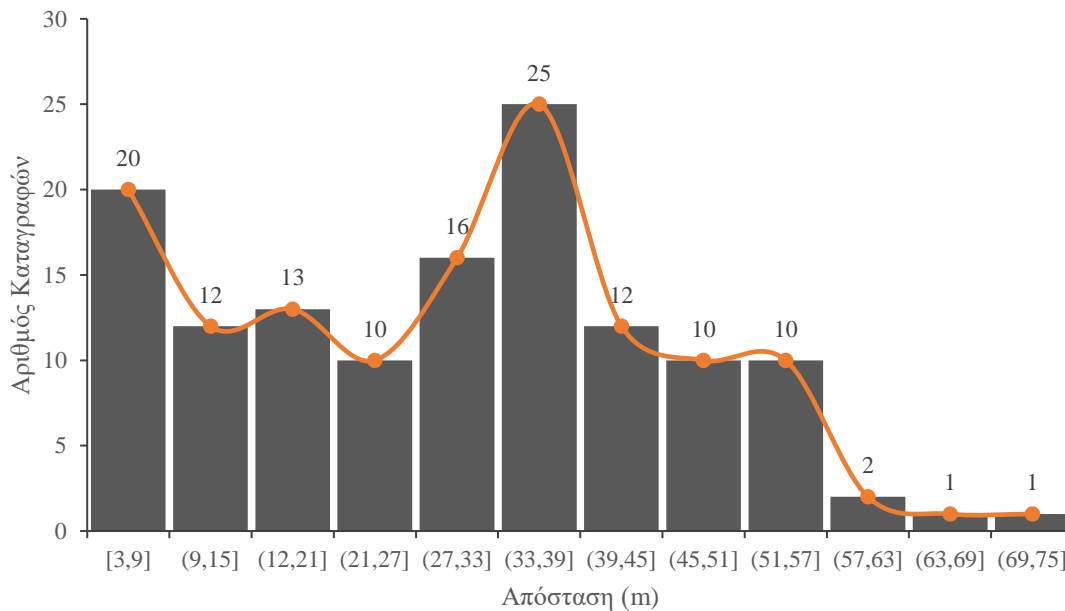
3.1.2. Σύνολο καταγραφών

Το σύνολο των καταγραφών για την απόφαση διέλευσης διατεταγμένες κατά αύξουσα απόσταση απεικονίζονται συγκεντρωτικά στο Διάγραμμα 11:



Διάγραμμα 25: Σύνολο καταγραφών απόφασης διέλευσης κατά αύξουσα απόσταση

Οι καταγραφές κατηγοριοποιημένες σε κλάσεις απεικονίζονται στο Διάγραμμα 12:



Διάγραμμα 28: Ιστόγραμμα αποστάσεων συνόλου καταγραφών απόφασης διέλευσης

Έχουμε συνολικά 132 καταγραφές οι οποίες έχουν χωριστεί σε 12 κλάσεις πλάτους 6 μέτρων η κάθε μία, με ελάχιστο κάτω όριο τα 3 μέτρα και μέγιστο άνω όριο τα 75 μέτρα. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε με βάση το κριτήριο της τετραγωνικής ρίζας του πλήθους καταγραφών με στρογγυλοποίηση στον μεγαλύτερο ακέραιο.

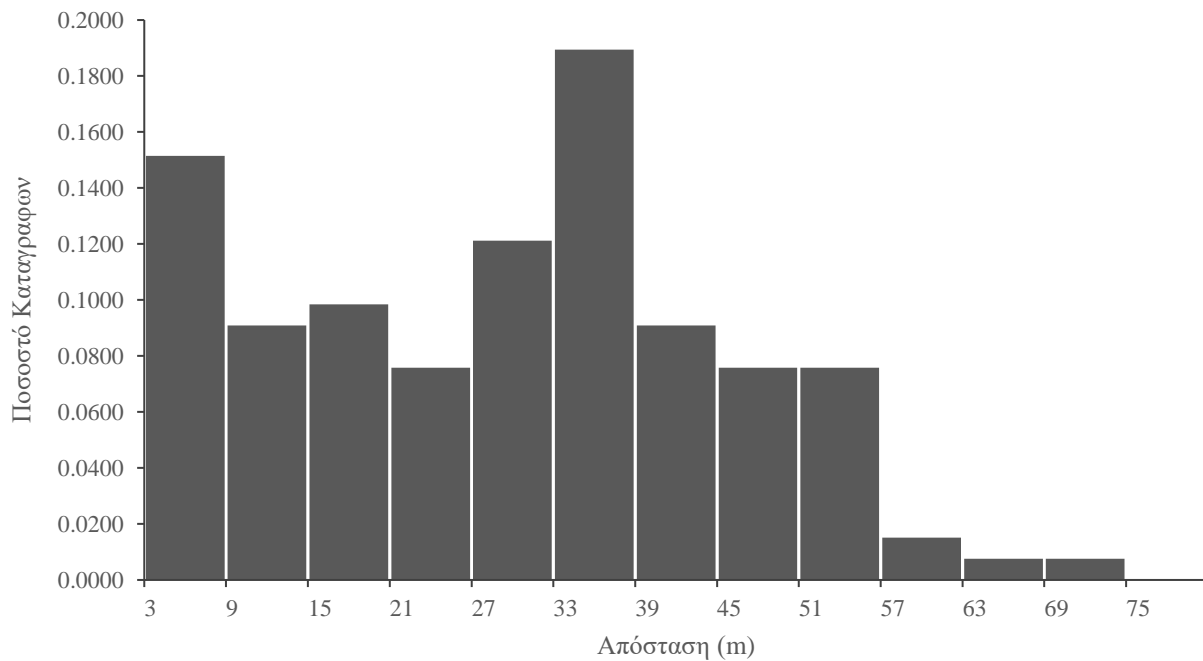
$$\sqrt{132} = 11.48 \rightarrow 12 \text{ κλάσεις}$$

Οι καταγραφές εμφανίζουν τα στατιστικά δεδομένα που συνοψίζονται στον Πίνακα 4:

Πίνακας 4: Στατιστικά μεγέθη συνόλου καταγραφών απόφασης διέλευσης

Πλήθος	Μέση τιμή	Διάμεσος	Τυπική Απόκλιση	Kurtosis	Skewness
132	29.38 m	31.64 m	16.19 m	-0.6759	0.1636

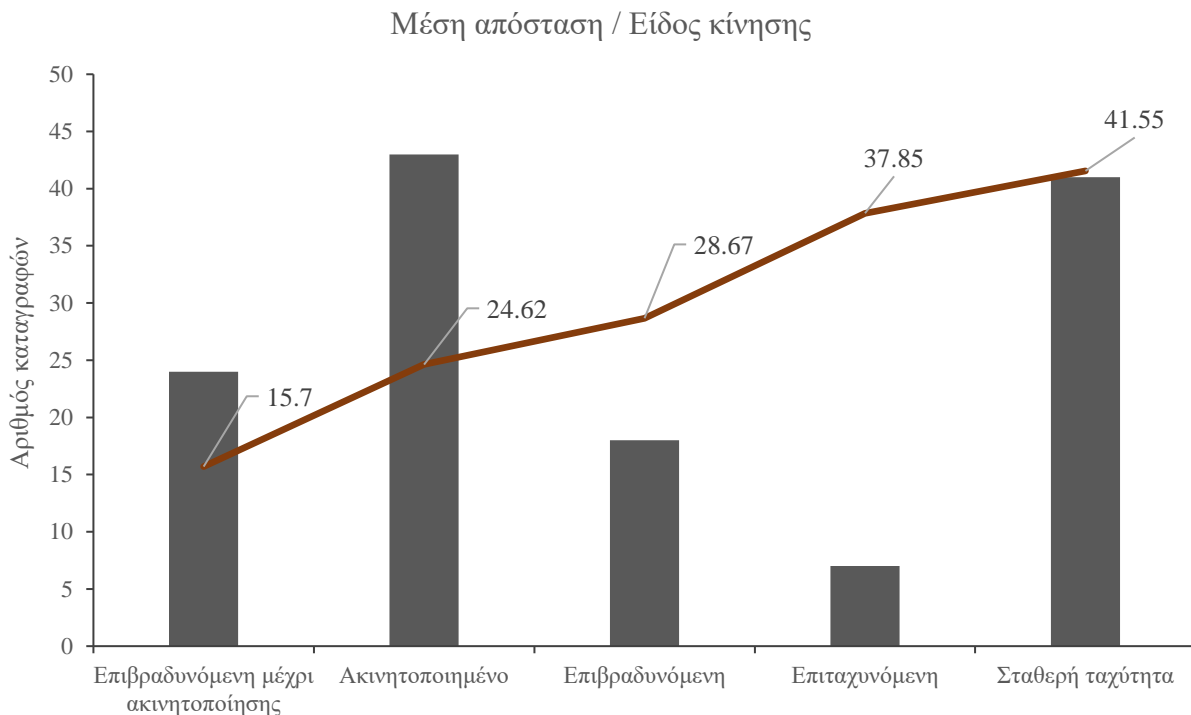
Υπολογίζοντας τη σχετική συχνότητα των καταγραφών για κάθε κλάση, προκύπτει το Διάγραμμα 13 που εμφανίζει το ποσοστό εμφάνισης καταγραφών σε κάθε κλάση επί του συνόλου. Το ποσοστό αυτό μπορεί στη συνέχεια να εξεταστεί ως πιθανότητα για μια απόφαση διέλευσης συναρτήσει της απόστασης.



Διάγραμμα 31: Ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων αποστάσεων καταγραφών απόφασης διέλευσης

3.1.3. Συσχέτιση είδους κίνησης – απόσταση

Στο Διάγραμμα 14 απεικονίζονται ο αριθμός των καταγραφών ανά είδος κίνησης διατεταγμένες σε αύξουσα σειρά τιμής της μέσης απόστασης στην οποία καταγράφηκαν:



Διάγραμμα 32: Αριθμός καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά είδος κίνησης με μέση απόσταση καταγραφών

Από το παραπάνω γράφημα εξάγουμε δυο αξιοσημείωτα συμπεράσματα. Αφενός, παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των καταγραφών χαρακτηρίζονται από αντιληπτικά προβλεπόμενη κίνηση του έτερου ΧΔ. Το 18.05% βρίσκονται στην κατηγορία επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης, το 32.33% στην κατηγορία ακινήτοποιημένο όχημα ενώ το 30.83% στην κατηγορία σταθερή ταχύτητα. Συνολικά το 81.2% των αποφάσεων διέλευσης δηλαδή, λαμβάνονται όταν ο ΥΕΟ έχει σαφή αντίληψη της κίνησης που εκτελεί ο έτερος ΧΔ, καθώς οι κατηγορίες αυτές περιέχουν τη μικρότερη αβεβαιότητα σχετικά με την πρόθεση του έτερου ΧΔ, δηλαδή την κίνηση που πρόκειται να ακολουθήσει τις επόμενες χρονικές στιγμές κατά την αλληλεπίδρασή του με τον ΥΕΟ στη διάρκεια εκτέλεσης της στροφής. Μόνο στο 18.8% των περιπτώσεων παρατηρείται απόφαση διέλευσης κατά την οποία ο έτερος ΧΔ εκτελεί επιταχυνόμενη ή επιβραδυνόμενη κίνηση, γεγονός που καταδεικνύει μια επιφυλακτικότητα των ΥΕΟ να εκτελέσουν τη στροφή όταν ο έτερος ΧΔ εκτελεί μεταβαλλόμενη κίνηση η οποία ενδεχομένως να ερμηνεύεται ως απρόβλεπτη ή επισφαλής.

Ταυτόχρονα, με βάση την μέση καταγεγραμμένη απόσταση για κάθε είδος κίνησης, παρατηρούμε ότι η μέση απόσταση εμφανίζει μια σταθερά αυξητική τάση όσο αυξάνεται η αβεβαιότητα της πρόθεσης του έτερου ΧΔ κρίνοντας το είδος κίνησης που εκτελεί. Έτσι για τις κατηγορίες επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης και ακινητοποιημένο όχημα έχουμε χαμηλές μέσες αποστάσεις 15.7 και 24.62 μέτρων αντίστοιχα. Αυτές αθροιστικά αποτελούν το 50.38% των αποφάσεων διέλευσης και καταγράφονται σε μικρές αποστάσεις, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ακινητοποίηση του έτερου ΧΔ αποτελεί σαφές και ασφαλές κριτήριο για την λήψη απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ, ενώ παρέχει μια αντίληψη βεβαιότητας και ασφάλειας για την εκτέλεση της στροφής, παρόλο που ο έτερος ΧΔ βρίσκεται σε μικρή απόσταση κατά την αλληλεπίδραση. Στις περιπτώσεις που η κίνηση του έτερου ΧΔ εμφανίζει αβεβαιότητα για την εξέλιξή της καθώς και για την πρόθεσή του, οι μέσες αποστάσεις των καταγραφών αυξάνονται, με την μέση απόσταση επιβραδυνόμενης και επιταχυνόμενης κίνησης να είναι 28.67 και 37.85 μέτρα αντίστοιχα. Τέλος τη μεγαλύτερη μέση απόσταση εμφανίζει το είδος κίνησης σταθερής ταχύτητας, ένδειξη ότι ο ΥΕΟ εκτιμά πως η λήψη απόφασης εκτέλεσης της στροφής δεν θα επηρεάσει την κίνηση του έτερου ΧΔ κατά την αλληλεπίδρασή τους.

3.2. Ανάλυση με βάση τον τύπο του οχήματος

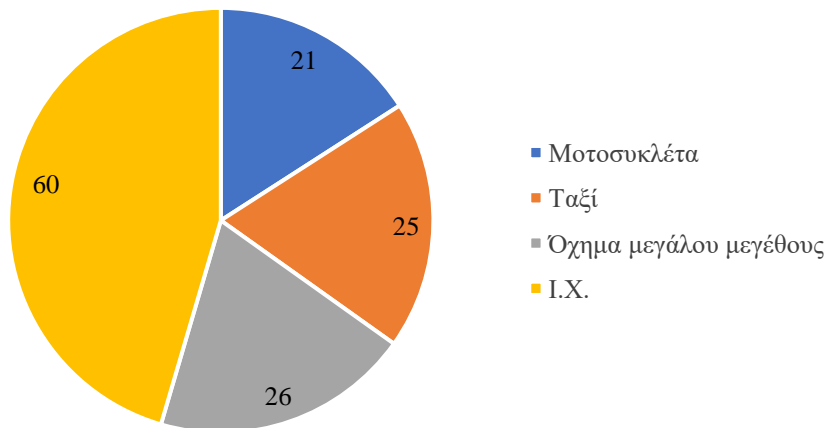
3.2.1. Γενικές παρατηρήσεις

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η ανάλυση των αλληλεπιδράσεων με βάση όχι το είδος της κίνησης του έτερου ΧΔ, αλλά τον τύπο του οχήματος.

Η κατανομή των καταγραφών ανά τύπο οχήματος για τις περιπτώσεις αυτές συνοψίζεται στον Πίνακα 5 και στο Διάγραμμα 15:

Πίνακας 5: Στοιχεία καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος

Τύπος οχήματος	Αριθμός καταγραφών	Μέση απόσταση (m)	Τυπική Απόκλιση
I.X.	60	28.33	16.22
Όχημα Μεγάλου Μεγέθους	26	32.71	16.91
Ταξί	25	22.47	17.11
Μοτοσυκλέτα	21	36.50	10.13
Σύνολο	132		



Διάγραμμα 35: Κατανομή καταγραφών απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος

Γίνεται αρχικά εμφανές ότι ο τύπος του οχήματος με τη μεγαλύτερη μέση απόσταση τη στιγμή της λήψης της απόφασης είναι η Μοτοσυκλέτα με μέση απόσταση τα 36.5 μέτρα. Από τις 21 καταγραφές διασταύρωσης με Μοτοσυκλέτα, οι 18 από αυτές κινούνται με σταθερή ταχύτητα, ενώ σε καμία περίπτωση δεν εμφανίζεται παραχώρηση προτεραιότητας στον ΥΕΟ ως επιπρόσθετη παρατήρηση.

Αμέσως επόμενος τύπος οχήματος βάση της μέσης τιμής απόστασης τη στιγμή λήψης της απόφασης είναι το Όχημα Μεγάλου Μεγέθους με μέση απόσταση τα 32.71 μέτρα. Το είδος της κίνησης που εκτελούν τα Οχήματα Μεγάλου Μεγέθους κατά τη λήψη της απόφασης ποικίλει, ωστόσο εμφανίζεται συχνά ως παρατήρηση ακινητοποιημένο λεωφορείο σε στάση σε μεσαίες αποστάσεις ενώ η παραχώρηση προτεραιότητας με επιβράδυνση μέχρι ακινητοποίησης ή ακινητοποιημένο ΧΔ εμφανίζεται σε μόνο 2 από τις 26 καταγραφές.

Τη μικρότερη μέση απόσταση τη στιγμή λήψης της απόφασης εμφανίζει ο τύπος οχήματος Ταξί με μέση απόσταση τα 22.47 μέτρα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι από τις 25 καταγραφές, οι 19 από αυτές έχουν ως είδος κίνησης επιβράδυνση, επιβράδυνση μέχρι ακινητοποίησης ή ακινητοποιημένο όχημα, ενώ στις 12 από αυτές παρατηρούμε παραχώρηση προτεραιότητας στον ΥΕΟ συνοδευόμενη από το εκάστοτε σήμα.

Τέλος ο τύπος οχήματος I.X. παρουσιάζει πλήθος συνδυασμού αποστάσεων και ειδών κίνησης με τρόπο τέτοιο που να μην μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε μια σαφή τάση που να οφείλεται στον τύπο του οχήματος.

3.2.2. Κατανομή ειδών κίνησης ανά τύπο οχήματος

Στον Πίνακα 6 φαίνονται κατηγοριοποιημένες οι καταγραφές κατά φθίνων αριθμό καταγραφών ανά τύπο οχήματος ενώ για κάθε είδος οχήματος φαίνεται ο αριθμός των καταγραφών του κάθε είδους κίνησης του έτερου ΧΔ, επίσης σε φθίνουσα ταξινόμηση του πλήθους.

Πίνακας 6: Κατανομή είδους κίνησης ανά τύπο οχήματος

	Αριθμός καταγραφών	Μέση απόσταση (m)	Ποσοστό
I.X.	60	28.33	100.00%
Ακινητοποιημένο	21	23.59	35.00%
Σταθερή ταχύτητα	16	42.76	26.67%
Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητ.	10	9.48	16.67%
Επιβραδυνόμενη	8	26.81	13.33%
Επιταχυνόμενη	5	42.20	8.33%
Όχημα Μεγάλου Μεγέθους	26	32.72	100.00%
Ακινητοποιημένο	13	37.14	50.00%
Επιβραδυνόμενη	6	34.34	23.08%
Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητ.	5	21.50	19.23%
Επιταχυνόμενη	1	16.08	3.85%
Σταθερή ταχύτητα	1	38.29	3.85%
Ταξί	25	22.47	100.00%
Ακινητοποιημένο	9	8.84	36.00%
Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητ.	8	18.51	32.00%
Σταθερή ταχύτητα	5	50.17	20.00%
Επιβραδυνόμενη	2	22.54	8.00%
Επιταχυνόμενη	1	38.23	4.00%
Μοτοσυκλέτα	21	36.51	100.00%
Σταθερή ταχύτητα	18	38.25	85.71%
Επιβραδυνόμενη	2	25.31	9.52%
Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητ.	1	27.57	4.76%
Σύνολο	132	29.39	

3.2.3. Κατανομή τύπου οχήματος ανά είδος κίνησης

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η αντίστροφη υποκατηγοριοποίηση, δηλαδή με κύρια κατηγορία το είδος κίνησης και υποκατηγορία το είδος οχήματος, που παρουσιάζεται στον Πίνακα 7:

Πίνακας 7: Κατανομή τύπου οχήματος ανά είδος κίνησης

	Αριθμός καταγραφών	Μέση απόσταση (m)	Ποσοστό
Ακίνητοποιημένο	43	24.60	100.00%
I.X.	21	23.59	48.84%
Όχημα Μεγάλου Μεγέθους	13	37.14	30.23%
Ταξί	9	8.84	20.93%
Σταθερή ταχύτητα	40	41.55	100.00%
Μοτοσυκλέτα	18	38.25	45.00%
I.X.	16	42.76	40.00%
Ταξί	5	50.17	12.50%
Όχημα Μεγάλου Μεγέθους	1	38.29	2.50%
Επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης	24	15.75	100.00%
I.X.	10	9.48	41.67%
Ταξί	8	18.51	33.33%
Όχημα Μεγάλου Μεγέθους	5	21.50	20.83%
Μοτοσυκλέτα	1	27.57	4.17%
Επιβραδυνόμενη	18	28.68	100.00%
I.X.	8	26.81	44.44%
Όχημα Μεγάλου Μεγέθους	6	34.34	33.33%
Ταξί	2	22.54	11.11%
Μοτοσυκλέτα	2	25.31	11.11%
Επιταχυνόμενη	7	37.90	100.00%
I.X.	5	42.20	71.43%
Ταξί	1	38.23	14.29%
Όχημα Μεγάλου Μεγέθους	1	16.08	14.29%
Σύνολο	132	29.39	

3.2.4. Σύγκριση I.X. – Ταξί

Καθώς στην ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία και έρευνα παρατηρείται ένα κενό όσον αφορά την διαφοροποίηση στην ανάλυση μεταξύ διαφορετικών τύπων οχημάτων, έχει ιδιαίτερη αξία να αναφερθούμε στην απόφαση του διαχωρισμού της ανάλυσης μεταξύ οχημάτων ιδιωτικής χρήσης (I.X.) και Ταξί.

Εκ πρώτης όψεως, σε μια επιφανειακή ανάγνωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης απόφασης διέλευσης, δεν παρατηρείται κάποια σημαντική απόκλιση μεταξύ των I.X. και των Ταξί, δεδομένου και του όχι ιδιαίτερα εκτεταμένου αριθμού παρατηρήσεων που έχουμε στη διάθεσή μας. Ωστόσο, σε μια πιο προσεκτική ανάλυση, προκύπτουν τα εξής.

Όπως έχουμε προαναφέρει, οι τιμές των αποστάσεων για την απόφαση διέλευσης για τους δυο αυτούς τύπους οχημάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 8:

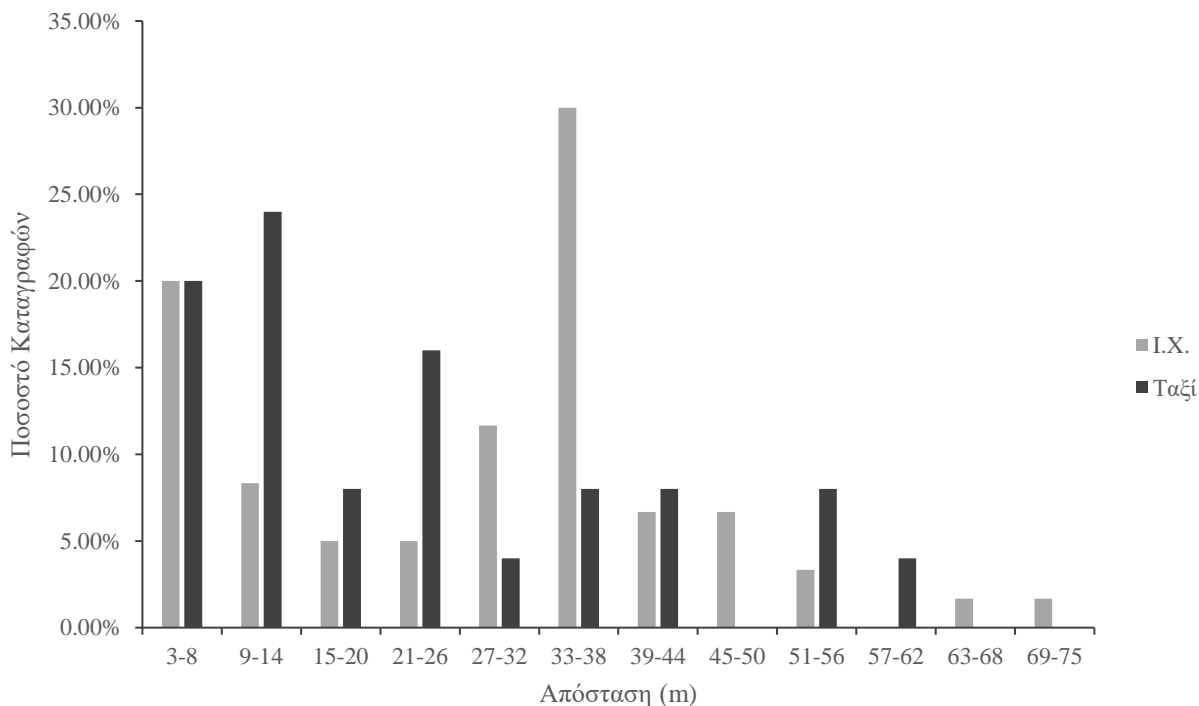
Πίνακας 8: Σύγκριση στατιστικών δεδομένων τύπων οχήματος I.X. και Ταξί

Τύπος οχήματος	Αριθμός καταγραφών	Μέση απόσταση (m)	Τυπική Απόκλιση
I.X.	60	28.33	16.22
Ταξί	25	22.47	17.11
Σύνολο (I.X. και Ταξί)	85	26.61	16.60

Έτσι για τις 60 καταγραφές I.X. έχουμε μέση τιμή απόστασης για την απόφαση διέλευσης τα 28.33 μέτρα με τυπική απόκλιση τα 16.22 μέτρα ενώ για τις 25 καταγραφές Ταξί έχουμε μέση τιμή απόστασης τα 22.47 μέτρα με τυπική απόκλιση τα 17.11 μέτρα. Συμψηφίζοντας τις δύο αυτές κατηγορίες προκύπτει μέση τιμή απόστασης τα 26.61 μέτρα και τυπική απόκλιση τα 16.60 μέτρα.

Βλέπουμε σε αυτό το σημείο ότι οι μέσες τιμές των δυο τύπων οχήματος εμφανίζουν μια αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ τους της τάξεως των 5.86 μέτρων, ειδικά και σε σύγκριση με διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ δυο τελείως διαφορετικών τύπων οχημάτων, όπως για παράδειγμα I.X και Οχήματα Μεγάλου Μεγέθους (διαφορά 4.38 μέτρων). Επιπλέον, οι τυπικές αποκλίσεις των επιμέρους τύπων είναι ιδιαίτερα κοντινές τιμές τόσο μεταξύ τους (16.22 και 17.11 μέτρα αντίστοιχα), όσο και με το σύνολο του δείγματος στη συμπήφιση των δυο κατηγοριών (16.60 μέτρα), γεγονός που παραπέμπει σε παρεμφερή διασπορά των δειγμάτων επί των δυο επιμέρους συνόλων.

Η διαφορά γίνεται ακόμη πιο αισθητή κατά την υπέρθεση των ιστογραμμάτων των σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης των καταγραφών των δύο τύπων οχήματος, με ταξινόμηση των αποστάσεων στις ίδιες κλάσεις που διαχωρίστηκε και το σύνολο των καταγραφών. Έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 16:



Διάγραμμα 38: Ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων καταγραφών I.X. και Ταξί κατά απόσταση

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα, βλέπουμε ότι για τον τύπο οχήματος Ταξί, οι καταγραφές συγκεντρώνονται στις μικρότερες αποστάσεις με συγκριτικά μεγαλύτερη σχετική συχνότητα εμφάνισης ως προς τον τύπο I.X. ενώ στις μεγαλύτερες αποστάσεις η διαφορά δεν φαίνεται να ακολουθεί κάποια τάση. Επιπλέον εμφανίζεται μια τεράστια διαφορά στη συχνότητα εμφάνισης των I.X. στην κλάση μεσαίων αποστάσεων 33 έως 38 μέτρα της τάξεως του 30% επί του συνόλου του τύπου οχήματος, σε σύγκριση με τον τύπο Ταξί που καταγράφει μόλις 8% επί του συνόλου των Ταξί.

Ως εκ τούτου προκύπτει ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον συμπέρασμα σχετικά με την λήψη απόφασης διέλευσης. Από τα υπόλοιπα δεδομένα είναι ήδη προφανές, ότι σημαντικό ρόλο στην απόφαση διέλευσης του ΥΕΟ έχει ο τύπος του οχήματος με το οποίο διασταυρώνεται. Τα δυναμικά και κινηματικά χαρακτηριστικά του έτερου ΧΔ όπως το μέγεθος (και κατά συνέπεια το βάρος), η δυνατότητα επιτάχυνσης και πέδησης και η ικανότητα πραγματοποίησης ελιγμών αποτελούν

παράγοντες που θα καθορίσουν την αλληλεπίδραση ΥΕΟ και ΧΔ, τόσο υπό κανονικές συνθήκες, όσο και υπό την αιφνίδια επίδραση κάποιου απρόβλεπτου παράγοντα κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης και της εκτέλεσης της στροφής.

Ωστόσο, παρόλο που οι τύποι Ι.Χ. και Ταξί παρουσιάζουν ως επί το πλείστον ταυτόσημα δυναμικά και κινηματικά χαρακτηριστικά, καθώς πρόκειται για συνηθισμένα και συμβατικά τετράτροχα οχήματα όπως αυτά της Ιδιωτικής Χρήσης, εδώ υπεισέρχεται και ένας επιπλέον παράγοντας, μια μη ποσοτικά μετρήσιμη μεταβλητή, που είναι ο τύπος οδηγού του έτερου ΧΔ. Ενώ στην περίπτωση των Ι.Χ. ο έτερος ΧΔ έχει αναμενόμενη οδηγική συμπεριφορά παρεμφερή με αυτή του ΥΕΟ, στην περίπτωση των Ταξί ο ΥΕΟ αλληλεπιδρά με επαγγελματία οδηγό του οποίου η οδηγική συμπεριφορά δεν ταυτίζεται πάντα με αυτή ενός απλού οδηγού, αλλά αντιθέτως παρουσιάζει συχνά αποκλίσεις.

Ο παραπάνω ισχυρισμός γίνεται ιδιαίτερα εμφανής εξετάζοντας την καταγραφή των εξειδικευμένων παρατηρήσεων της εκάστοτε αλληλεπίδρασης ΥΕΟ και ΧΔ, όπου αυτή υπάρχει. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζοντας την παρατήρηση παραχώρησης προτεραιότητας από τον ΧΔ στον ΥΕΟ, βλέπουμε ότι για τον τύπο οχήματος Ταξί έχουμε παραχώρηση προτεραιότητας σε 12 από τις 25 καταγραφές, δηλαδή στο 48% των περιπτώσεων (σχεδόν μια στις δυο), ενώ για τον τύπο Ι.Χ. έχουμε παραχώρηση σε 12 από τις 60 καταγραφές, δηλαδή μόλις στο 20% των περιπτώσεων.

Αυτή η έντονη διαφορά στη συμπεριφορά των οδηγών Ταξί σε σύγκριση με αυτή των οδηγών Ι.Χ. μας οδηγεί στο εξής συμπέρασμα. Κατά τη λήψη της απόφασης διέλευσης από τον ΥΕΟ, πέρα από μετρήσιμες ποσοτικές μεταβλητές όπως η απόσταση του οχήματος του έτερου ΧΔ, υπεισέρχεται και η ποιοτική μεταβλητή του τύπου οδηγού του έτερου ΧΔ, καθώς ο τύπος αυτός δημιουργεί μια διαφορετική προσδοκία για την συμπεριφορά αυτού κατά την αλληλεπίδρασή του με τον ΥΕΟ στη διαδικασία εκτέλεση της στροφής.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι με βάση τις εξειδικευμένες παρατηρήσεις των αλληλεπιδράσεων, η τάση αυτή φαίνεται να επιβεβαιώνεται και στον τύπο Όχημα Μεγάλου Μεγέθους, όπου παρατηρείται διαφορετική αναμενόμενη συμπεριφορά από τον έτερο ΧΔ (και ως εξ αυτού διαφορετική αντιμετώπισή του από τον ΥΕΟ) όταν πρόκειται για οδηγό λεωφορείου σε σχέση με όταν πρόκειται για οδηγό Οχήματος Μεγάλου Μεγέθους ιδιωτικής χρήσης. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται σπάνια παραχώρηση προτεραιότητας από οδηγό αστικού λεωφορείου με αποτέλεσμα ο ΥΕΟ να είναι πιο επιφυλακτικός και να εμφανίζει μεγαλύτερες αποστάσεις κατά

τη λήψη της απόφασης διέλευσης. Αντίθετα ιδιώτες οδηγοί Οχημάτων Μεγάλου Μεγέθους καταγράφονται να παραχωρούν συχνότερα προτεραιότητα ή/και να έχουν τύπο κίνησης επιβραδυνόμενη ή επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης με αποτέλεσμα οι αλληλεπιδράσεις αυτές να εμφανίζουν μικρότερη απόσταση σε μια ενδεχόμενη απόφαση διέλευσης. Ωστόσο τόσο οι συνολικές καταγραφές τύπου Οχημάτων Μεγάλου Μεγέθους, όσο και οι επιμέρους καταγραφές διαφορετικών τύπων αυτών είναι αρκετά περιορισμένες σε αριθμό ώστε να προκύψει με ασφάλεια μια σαφώς διακριτή συσχέτιση όπως αυτή των I.X. και Ταξί.

4. Μελέτη μη – απόφασης διέλευσης

4.1. Μεθοδολογία ανάλυσης

Εξίσου σημαντική με την ανάλυση λήψης απόφασης διάσχισης της διασταύρωσης από τον ΥΕΟ, είναι και η ανάλυση της μη – απόφασης ή αλλιώς η απόφαση μη διάσχισης του δρόμου και αναμονής της διερχόμενης κυκλοφορίας. Για το σκοπό αυτό έγινε εξέταση των προαναφερθέντων βίντεο των εικοσιένα οδηγών με την εξής μεθοδολογία.

Χρονική στιγμή μηδέν για κάθε περίπτωση αριστερής στροφής από αυτές που επελέγησαν προηγουμένως, θεωρούμε τη στιγμή που ο οδηγός λαμβάνει θέση στο οδόστρωμα ικανή να του επιτρέψει να εκτελέσει την στροφή σε ιδανικές συνθήκες μη κυκλοφορίας κατά τις οποίες δεν διέρχεται κανένα όχημα από το αντίθετο ρεύμα. Αυτό σημαίνει είτε ακινητοποίηση του οχήματος του ΥΕΟ σε σημείο που ο μπροστά άξονας του οχήματος βρίσκεται συνευθειακά με την αρχή του διακένου της νησίδας, είτε ότι βρίσκεται στο προβλεπόμενο από τις συνθήκες κίνησης σημείο που του επιτρέπει την εκτέλεση της στροφής εάν αυτός το αποφασίσει, χωρίς η πλήρης ακινητοποίηση του οχήματός του να κρίνεται απαραίτητη.

Μόλις ο ΥΕΟ λάβει τη θέση αυτή, καταγράφουμε μετρητικές χρονοαπόστασης των διερχόμενων από το αντίθετο ρεύμα οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα τη χρονική στιγμή μηδέν «παγώνουμε» το βίντεο και μετράμε την απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων, του ΥΕΟ και του έτερου ΧΔ με την τεχνική που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ανάλυση. Έπειτα μετράμε το χρόνο που παρέρχεται μέχρι το διερχόμενο όχημα να περάσει από το πεδίο του ΥΕΟ, δηλαδή μέχρι το πίσω μέρος του οχήματος του ΧΔ να έχει περάσει την ευθεία του μπροστινού μέρους του οχήματος του ΥΕΟ, καθιστώντας εφικτή τη διέλευση του ΥΕΟ εάν αυτός το αποφασίσει. Εάν ο αριθμός καρτέ του βίντεο που χρειάζονται για τη διέλευση του οχήματος είναι n και το βίντεο είναι γυρισμένο σε f καρτέ ανά δευτερόλεπτο, ο συνολικός χρόνος προκύπτει από τον τύπο

$$t = n/f \text{ (s)}$$

Στα βίντεο που προκύπτουν το f είναι 25 ή 30 καρτέ ανά δευτερόλεπτο (frames per second – fps).

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία αυτή για κάθε όχημα που διέρχεται από το αντίθετο ρεύμα κίνησης μέχρι ο ΥΕΟ να λάβει την απόφαση διέλευσης και να ξεκινήσει να εκτελεί τη στροφή.

Ως ποσοτική μετρητική προκύπτει και ο αριθμός των οχημάτων «μη-απόφασης» που διέρχονται, καθώς και η ταχύτητα κίνησης του κάθε οχήματος (χρονοαπόσταση – time to collision – TTC) ενώ ως ποιοτική μετρητική καταγράφουμε και τον τύπο του κάθε διερχόμενου οχήματος, βάσει των κατηγοριών που ορίστηκαν προηγουμένως.

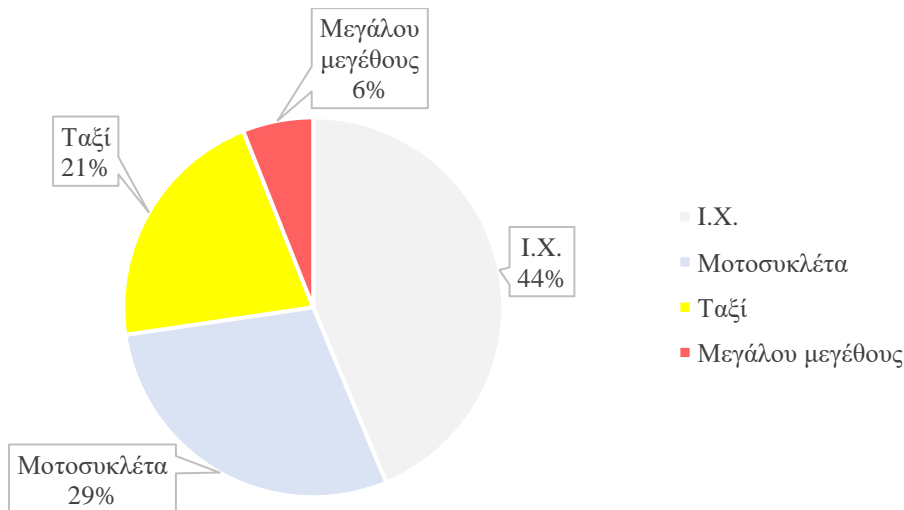
4.2. Αποτελέσματα της μελέτης

Από την παρακολούθηση των βίντεο προέκυψαν 183 καταγραφές διέλευσης οχημάτων μη-απόφασης. Σε κάθε στροφή, κάθε ΥΕΟ περίμενε τη διέλευση κατά μέσο όρο 2.65 οχημάτων, με μέσο συνολικό χρόνο αναμονής 6.96 δευτερόλεπτα. Έτσι προκύπτει ως μέσος χρόνος αναμονής ανά διερχόμενο όχημα τα 2.8 δευτερόλεπτα.

Στον Πίνακα 9 και στο Διάγραμμα 17 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατηγοριοποιημένα ανά τύπο διερχόμενου οχήματος:

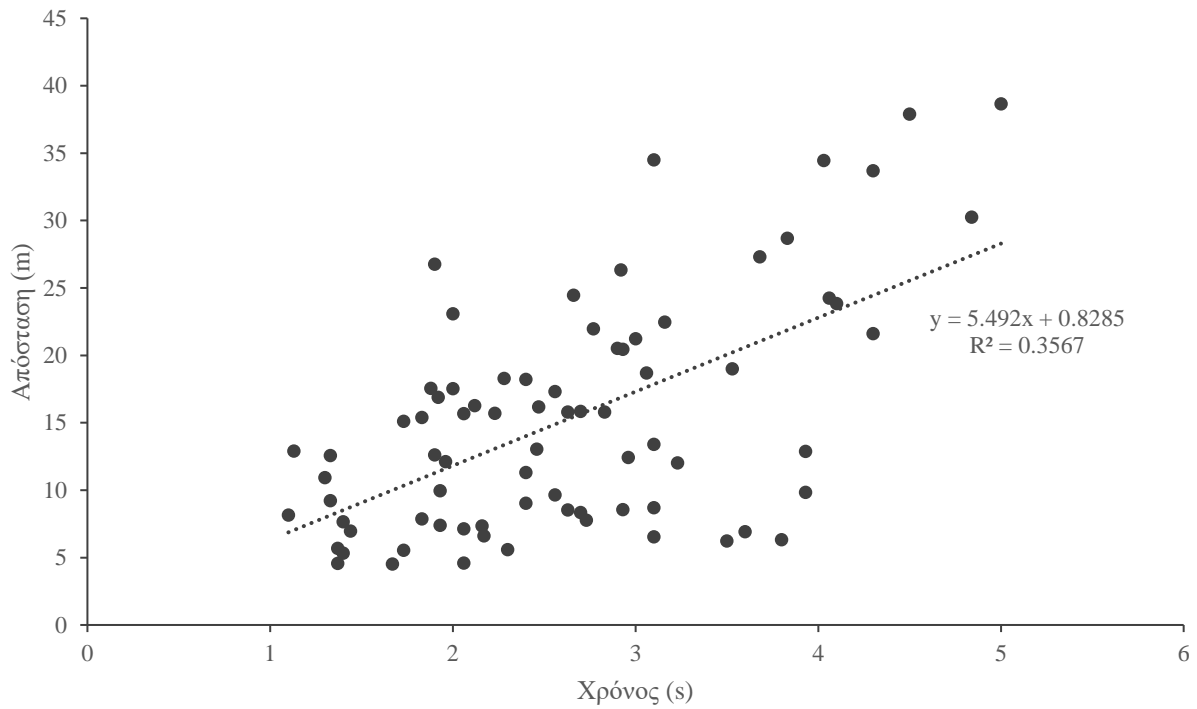
Πίνακας 9: Στοιχεία καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος

Τύπος οχήματος	Αριθμός καταγραφών	Μέση απόσταση (m)	Μέσος Χρόνος (s)	Μέση Ταχύτητα (km/h)
I.X.	80	15.11	2.81	20.74
Μοτοσυκλέτα	53	16.03	2.10	28.98
Ταξί	39	13.75	2.73	19.48
Μεγάλου Μεγέθους	11	14.67	3.34	16.60
Σύνολο	183			

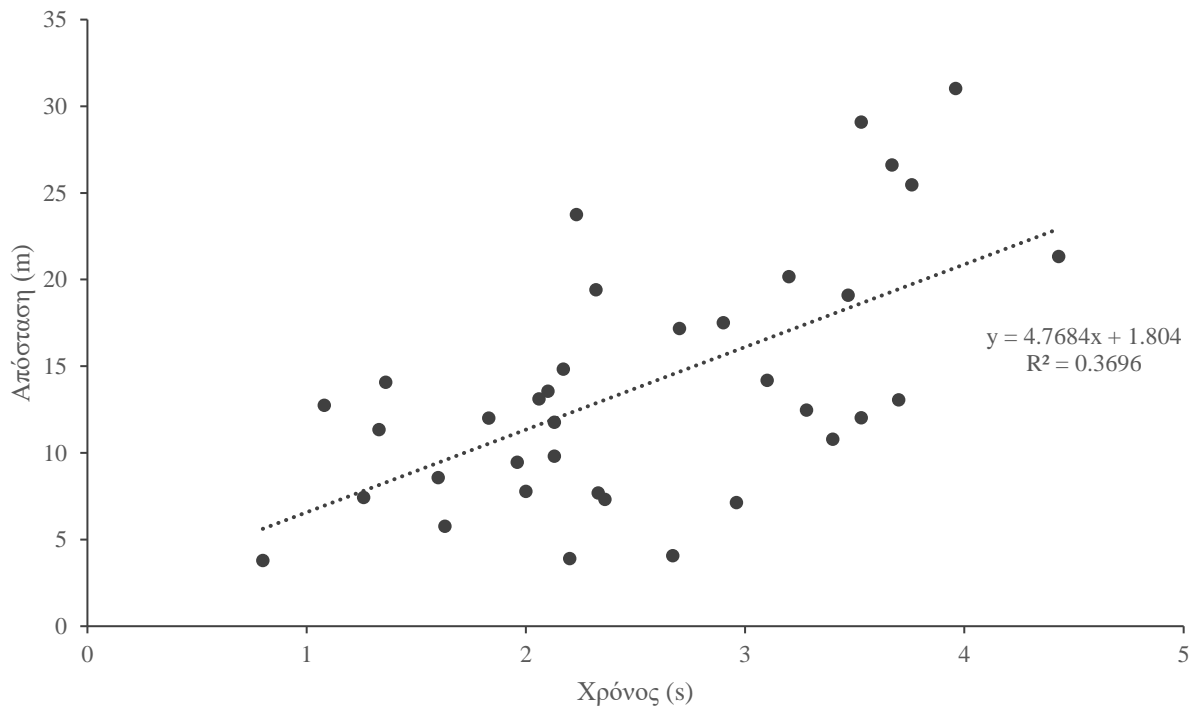


Διάγραμμα 41: Κατανομή καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος

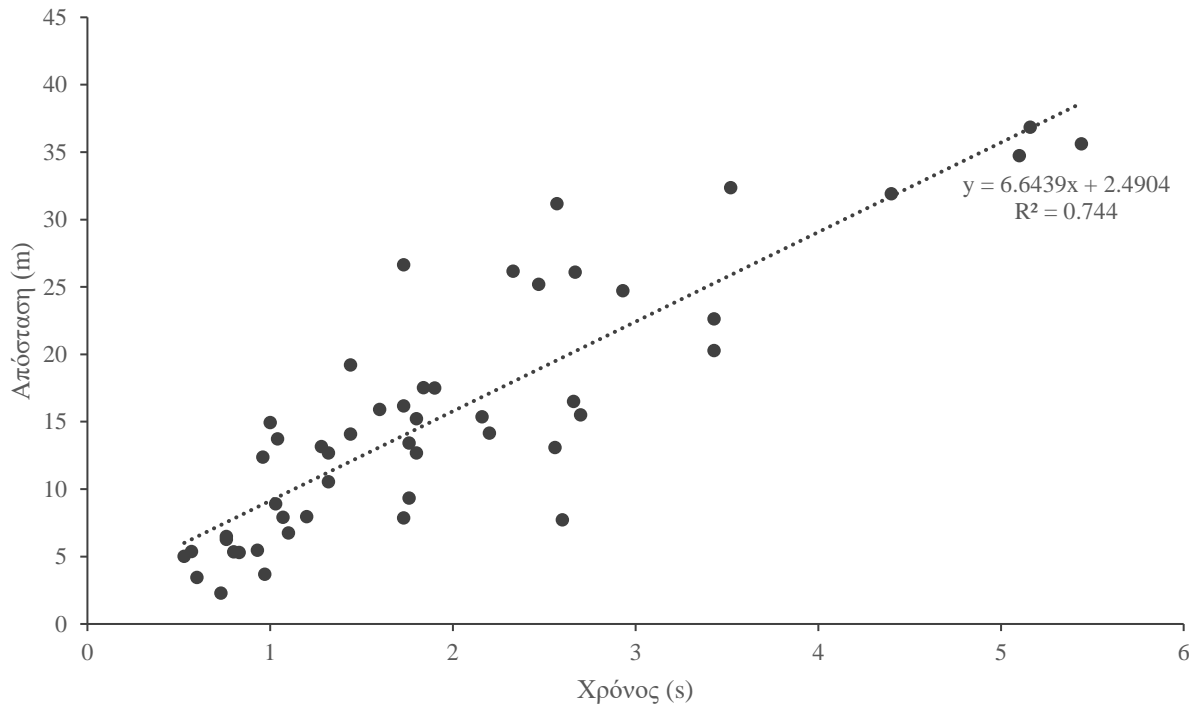
Έπειτα προκύπτουν τα Διαγράμματα 18-21 απόστασης – χρόνου διέλευσης για κάθε τύπο οχήματος με βάση τις καταγραφές που έγιναν:



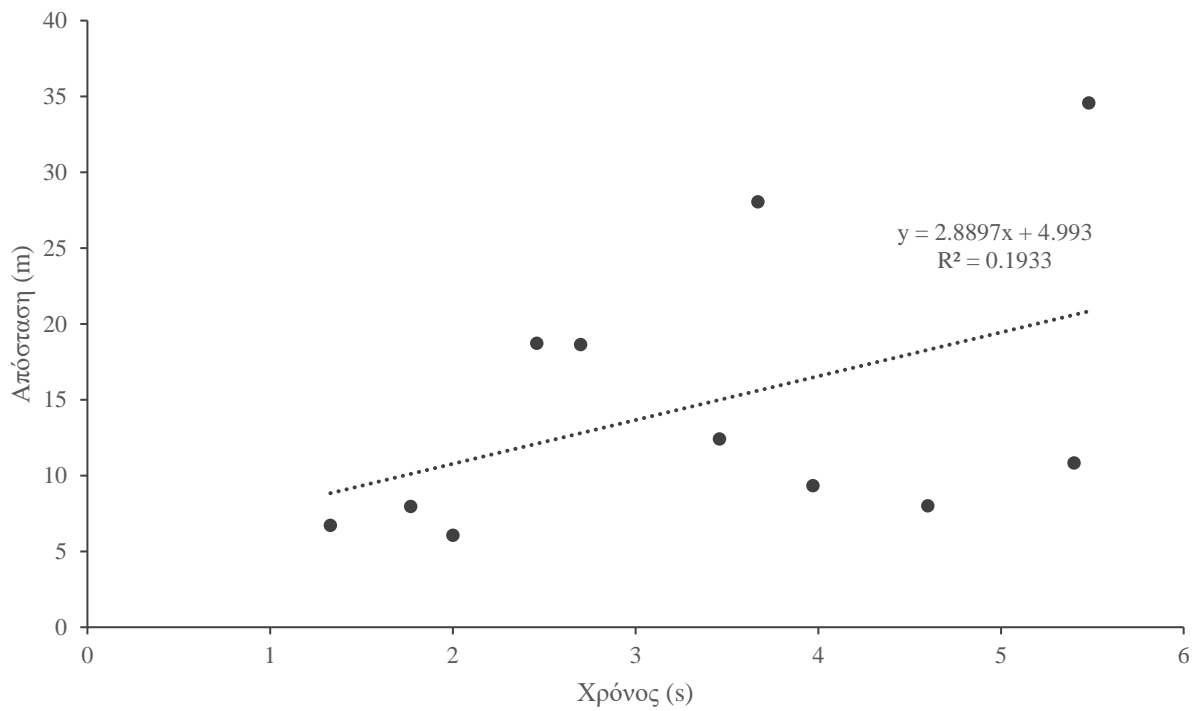
Διάγραμμα 44: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - I.X.



Διάγραμμα 47: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - Ταξί

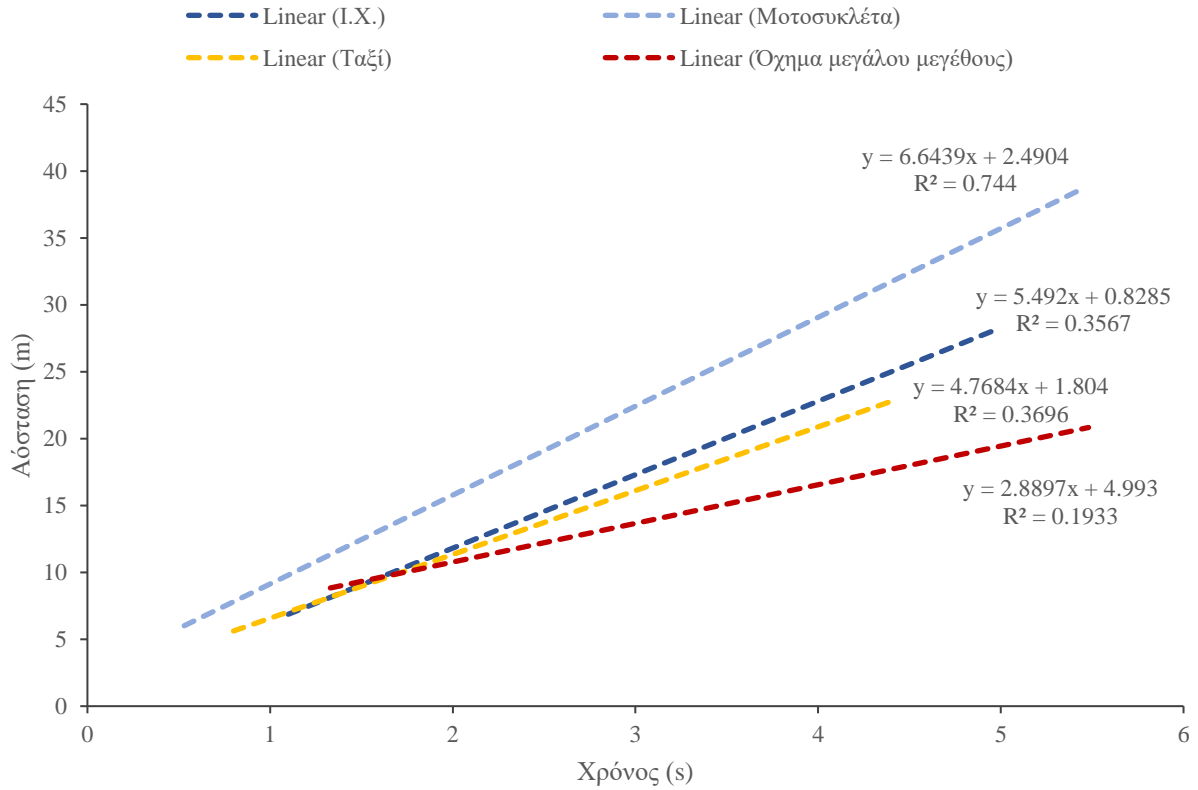


Διάγραμμα 50: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - Μοτοσυκλέτα



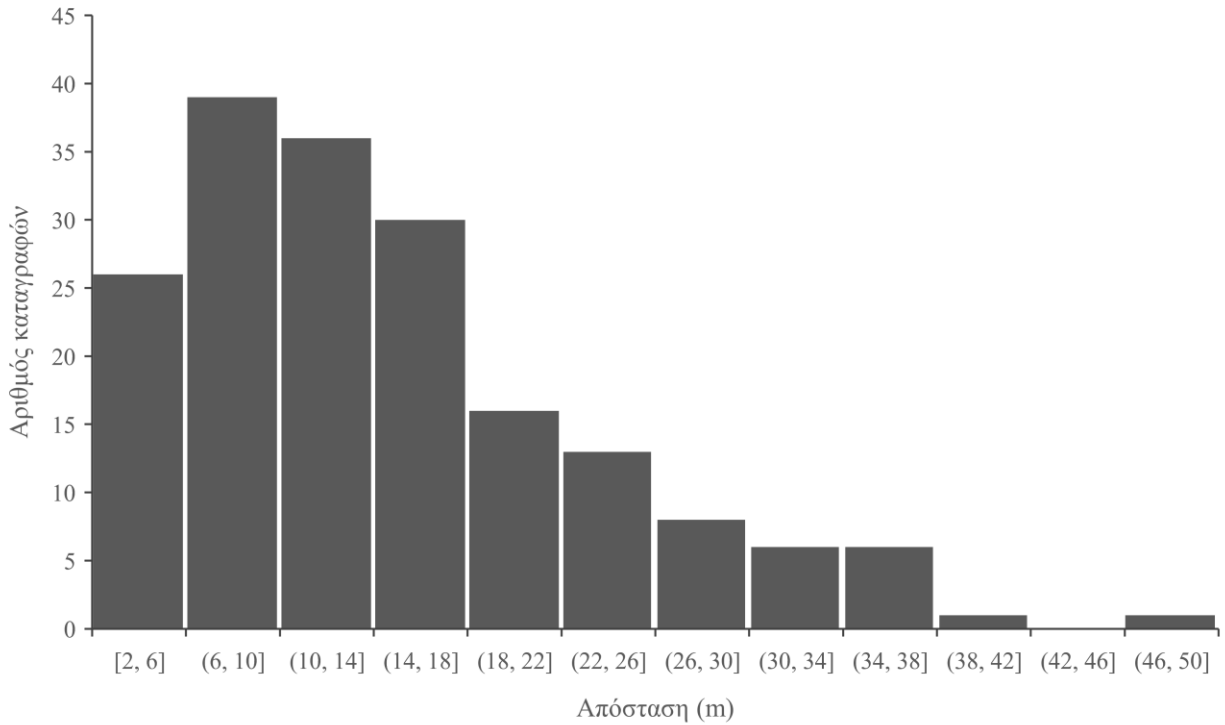
Διάγραμμα 53: Χρονοαπόσταση καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης - Όχημα μεγάλο μεγέθους

Οι γραμμές τάσεις (trendlines) χρονοαπόστασης γραμμικού τύπου ανά τύπο οχήματος απεικονίζονται Διάγραμμα 22, όπου υπολογίζεται η εξίσωση της κάθε γραμμής καθώς και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 για κάθε τύπο οχήματος.

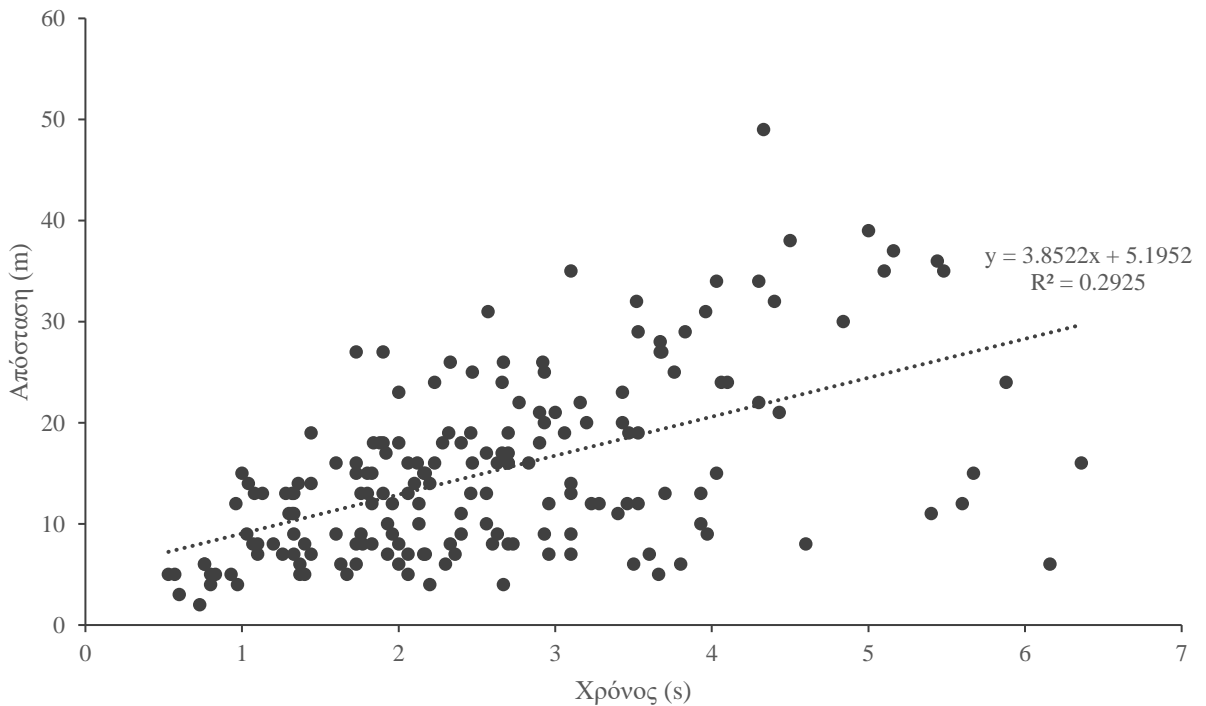


Διάγραμμα 56: Trendlines χρονοαποστάσεων ανά τύπο οχήματος

Συγκεντρωτικά οι μετρήσεις χρονοαπόστασης για τις 183 καταγραφές συνοψίζονται στο Διάγραμμα 23 και Διάγραμμα 24:



Διάγραμμα 57: Ιστόγραμμα αποστάσεων συνόλου καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης



Διάγραμμα 60: Χρονοαπόσταση συνόλου καταγραφών μη - απόφασης διέλευσης

4.3. Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά απόσταση

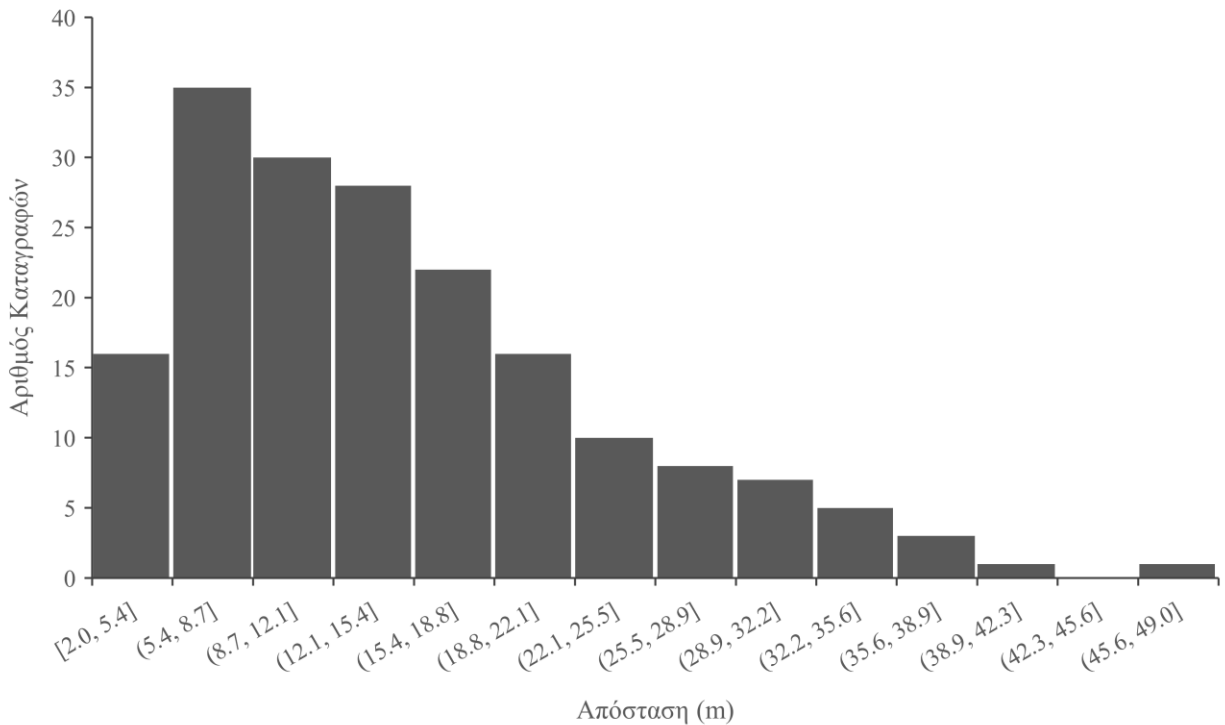
Από το παραπάνω ιστόγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι οι αποστάσεις των περιπτώσεων μη – απόφασης διέλευσης εμφανίζουν μια ευδιάκριτη κατανομή που εκ πρώτης όψεως παραπέμπει σε στατιστική κατανομή Poisson.

Για να επιβεβαιώσουμε την παραπάνω παρατήρηση ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Αρχικά χωρίζουμε το σύνολο των καταγραφών σε κλάσεις με βάση το κριτήριο της τετραγωνικής ρίζας του πλήθους καταγραφών με στρογγυλοποίηση στον μεγαλύτερο ακέραιο.

$$\sqrt{182} = 13.49 \rightarrow 14 \text{ κλάσεις}$$

Η ελάχιστη απόσταση καταγράφεται στα 2.28 μέτρα και η μέγιστη στα 49.07 μέτρα.

Έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 25, 14 κλάσεων πλάτους 3.35714 μέτρων:



Διάγραμμα 63: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης

Σκοπός είναι με την υπόθεση ότι οι καταγραφές ακολουθούν κατανομή Poisson, να υπολογίσουμε την παράμετρο της κατανομής λ και να υπολογίσουμε την απόκλιση της προκύπτουσας εξίσωσης κατανομής Poisson από την κατανομή των καταγραφών.

Κάθε κλάση αντιστοιχίζεται στον αύξων ακέραιο αριθμό k που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των γεγονότων σε ένα πείραμα Poisson. Έτσι η κλάση [2.0, 5.4] αντιστοιχεί σε $k = 1$, η κλάση (5.4, 8.7] αντιστοιχεί σε $k = 2$ και ούτω καθεξής. Έπειτα με βάση το πλήθος των καταγραφών σε κάθε κλάση υπολογίζεται η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε μιας επί συνόλου 182 καταγραφών. Έτσι για την κλάση [2.0, 5.4] προκύπτει σχετική συχνότητα $16 \div 182 = 0.0879$ και οι υπόλοιπες υπολογίζονται αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές αποτελούν το P_{measured} δηλαδή την σχετική συχνότητα που προκύπτει από τις μετρήσεις. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το P_{expected} κάθε κλάσης, δηλαδή την πιθανότητα που θα προέκυπτε για μια γνωστή κατανομή Poisson για μια γνωστή παράμετρο λ , έστω $\lambda = 1$.

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k * e^{-\lambda}}{k!}$$

Για κάθε κλάση υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ P_{expected} και P_{measured} υψωμένη στο τετράγωνο και αθροίζουμε όλες τις διαφορές. Το άθροισμα αυτό αποτελεί το υπολειπόμενο άθροισμα των τετραγώνων (RSS) που υποδεικνύει την ασυμφωνία μεταξύ των δεδομένων και ενός μοντέλου εκτίμησης, στην περίπτωση μας του μοντέλου κατανομής Poisson.

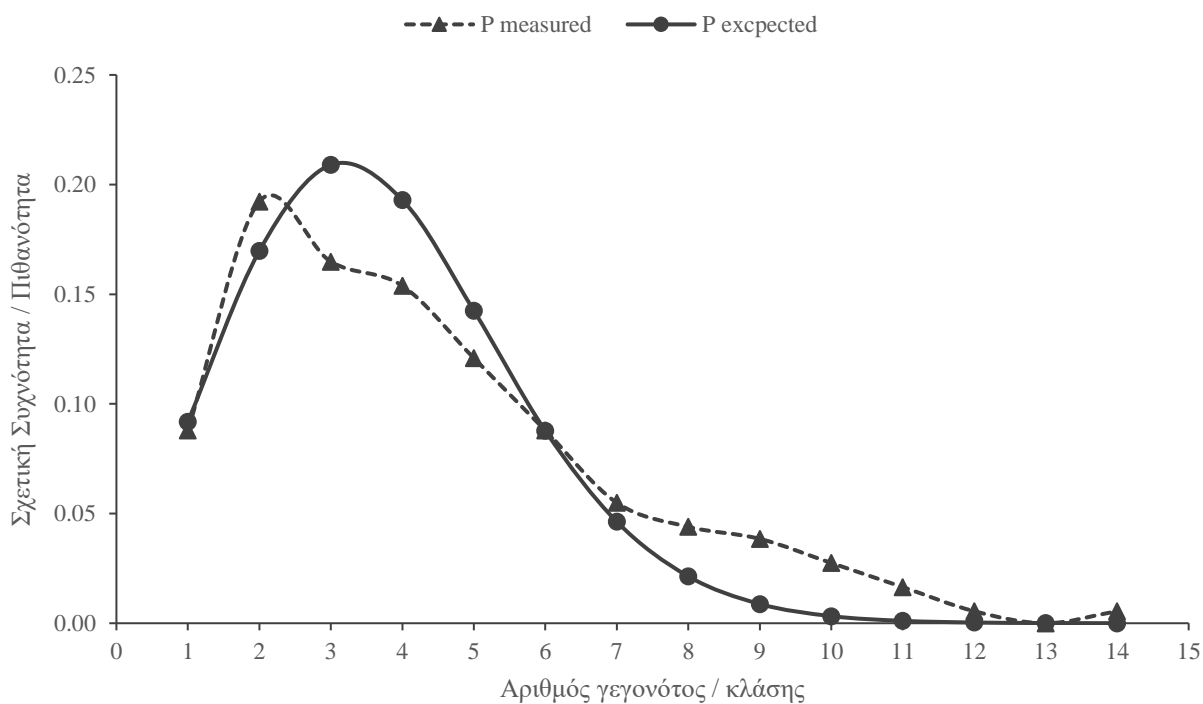
Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση του εργαλείου Solver του Microsoft Excel, θέτουμε ως στόχο την ελαχιστοποίηση του RSS χρησιμοποιώντας ως ανεξάρτητη μεταβλητή το λ , και έτσι προκύπτει:

$$\lambda = 3.6935$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για $\lambda = 3.6935$ φαίνονται στον Πίνακα 10 και στο Διάγραμμα 26:

Πίνακας 10: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση

k	Κλάσεις (m)	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
1	[2.0, 5.4]	16	0.087912088	0.091908253	1.59693E-05
2	(5.4, 8.7]	35	0.192307692	0.169734022	0.000509571
3	(8.7, 12.1]	30	0.164835165	0.208973893	0.001948227
4	(12.1, 15.4]	28	0.153846154	0.192964060	0.001530211
5	(15.4, 18.8]	22	0.120879121	0.142544613	0.000469394
6	(18.8, 22.1]	16	0.087912088	0.087749357	2.64812E-08
7	(22.1, 25.5]	10	0.054945055	0.046300991	7.47198E-05
8	(25.5, 28.9]	8	0.043956044	0.021376898	0.000509818
9	(28.9, 32.2]	7	0.038461538	0.008772968	0.000881411
10	(32.2, 35.6]	5	0.027472527	0.003240343	0.000587199
11	(35.6, 38.9]	3	0.016483516	0.001088034	0.000237021
12	(38.9, 42.3]	1	0.005494505	0.000334893	2.66216E-05
13	(42.3, 45.6]	0	0	9.51496E-05	9.05344E-09
14	(45.6, 49.0]	1	0.005494505	2.51029E-05	2.99144E-05
Άθροισμα		182			0.006820111



Διάγραμμα 66: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση

Βλέπουμε από το παραπάνω γράφημα ότι η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει αρκετά ικανοποιητικά τη γραμμή του μοντέλου της κατανομής Poisson που υποθέσαμε, και το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από το $RSS = 0.00682$, τιμή ιδιαίτερα μικρή που καταδεικνύει μικρή απόκλιση μεταξύ της πραγματικής καμπύλης και του μοντέλου που υποθέσαμε.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να καταλήξουμε ότι η πιθανότητα μη – απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ συναρτήσει της απόστασης του έτερου ΧΔ μοντελοποιείται σε μια στατιστική κατανομή Poisson της μορφής

$$P(X = k) = \frac{3.6935^k * e^{-3.6935}}{k!}$$

όπου k ακέραιος που προκύπτει από τη σχέση

$k = \text{roundup}(\frac{d-d_0}{h})$, όπου d η απόσταση μεταξύ του ΥΕΟ και του έτερου ΧΔ, $d_0 = 2$ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και $h = 3.35714$ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο.

Αντικαθιστώντας το k προκύπτει ο τύπος και με την εξής μορφή:

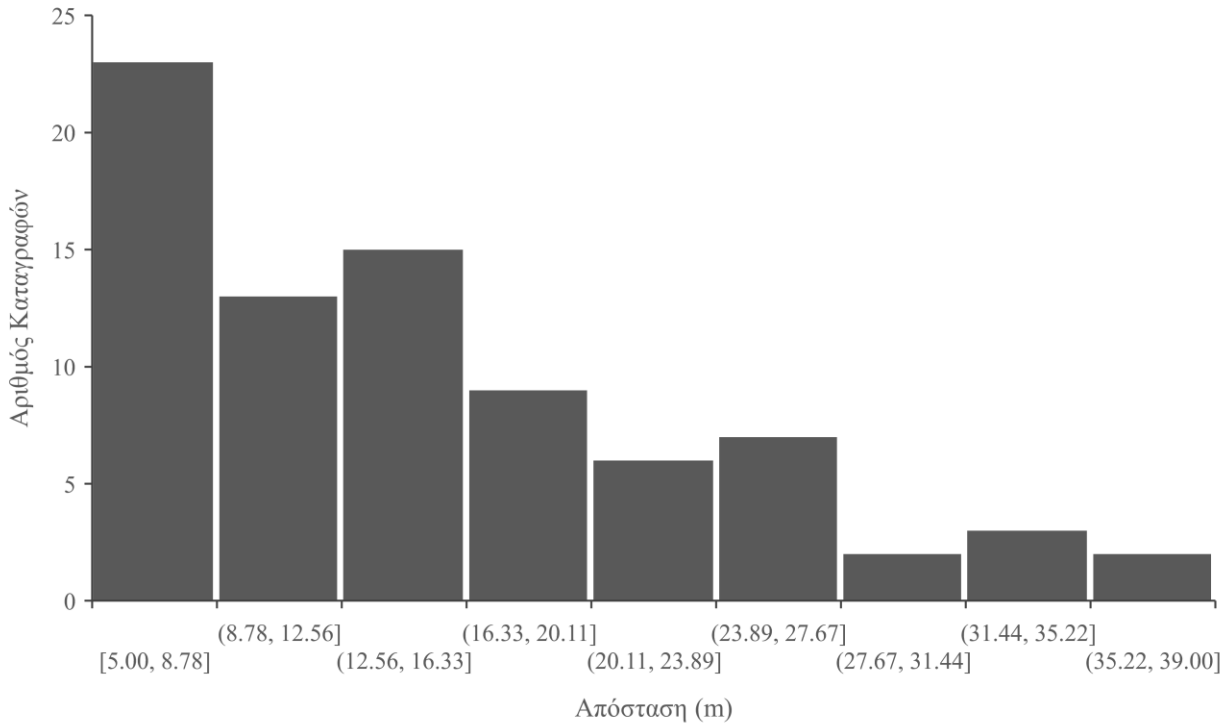
$$P(x = d) = \frac{3.6935^{\text{roundup}(\frac{d-2}{3.35714})} * e^{-3.6935}}{\text{roundup}(\frac{d-2}{3.35714})!}$$

4.4. Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά απόσταση ανά τύπο οχήματος

Επέκταση του παραπάνω εργαλείου αποτελεί η μοντελοποίηση της μη – απόφασης διέλευσης ανά τύπο οχήματος του έτερου ΧΔ κατά περίπτωση. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζουμε την ίδια μεθοδολογία με πριν για κάθε τύπο οχήματος που εξετάζουμε με στόχο να καταλήξουμε σε έναν τύπο που να υπολογίζει την πιθανότητα μη λήψης της απόφασης του ΥΕΟ. Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, καθώς οι αριθμοί καταγραφών των υποσυνόλων, δηλαδή του εκάστοτε τύπου οχήματος, είναι σαφώς μικρότεροι από το σύνολο του δείγματος, ειδικά για τύπους όπως το Όχημα Μεγάλου Μεγέθους, η προσαρμογή της καμπύλης που υπολογίζουμε εμφανίζει κάπως αυξημένη απόκλιση σε σχέση με το μοντέλο επί του συνόλου, με συνέπεια ενδεχόμενα αυξημένες αβεβαιότητες.

4.4.1. Τύπος οχήματος: I.X.

Ο τύπος οχήματος I.X. εμφανίζει 80 καταγραφές οι οποίες χωρίζονται σε 9 κλάσεις πλάτους 3.78 μέτρων η κάθε μία. Όπως προηγουμένως, προκύπτει ο αύξων αριθμός k για κάθε κλάση με τον $k = 1$ να αντιστοιχεί στην κλάση $[5.00, 8.78]$, $k = 2$ για την κλάση $(8.78, 12.56]$ και ούτω καθεξής μέχρι το $k = 9$ για την κλάση $(35.22, 39.00]$. Έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 27:



Διάγραμμα 69: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης - I.X.

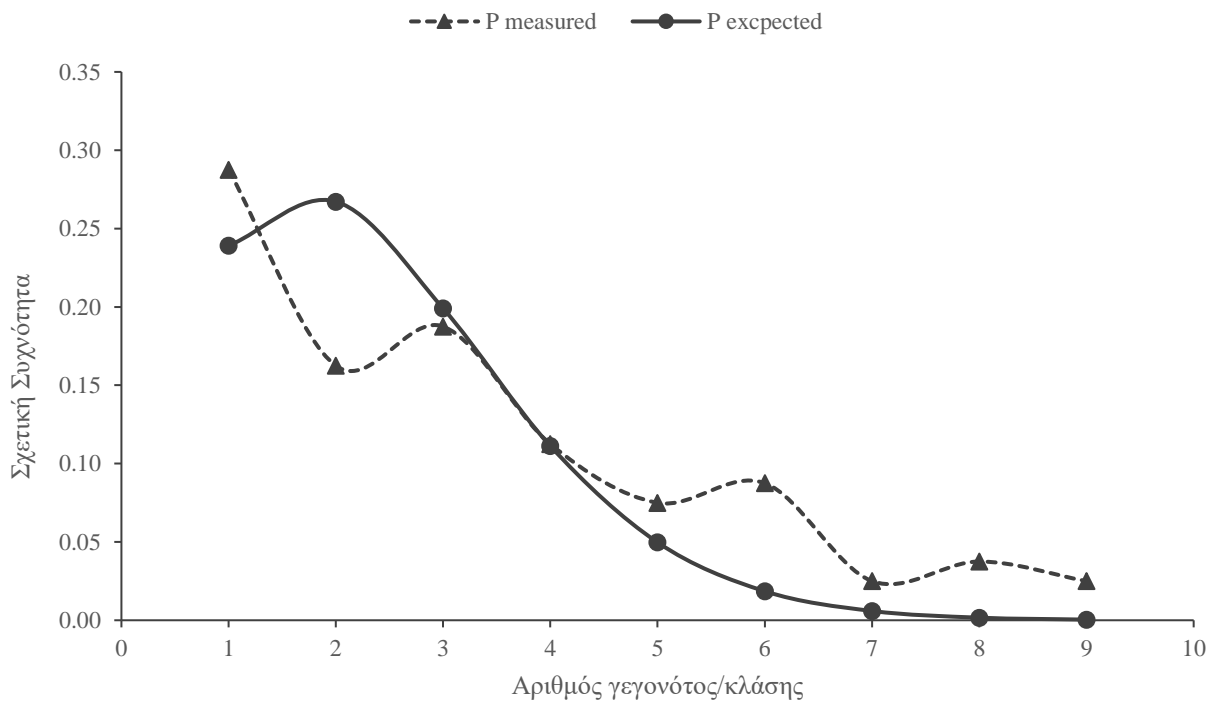
Έπειτα υπολογίζεται η σχετική συχνότητα εμφάνισης επί του συνόλου για κάθε κλάση P_{measured} και το P_{expected} που προκύπτει από την κατανομή Poisson με τιμή αρχικοποίησης $\lambda = 1$. Στη συνέχεια θέτουμε ως στόχο του Solver την ελαχιστοποίηση του RSS και έτσι προκύπτει

$$\lambda = 2.2351$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για $\lambda = 2.2351$ φαίνονται στον Πίνακα 11 και στο Διάγραμμα 28:

Πίνακας 11: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση – I.X.

k	Κλάσεις (m)	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
1	[5.00, 8.78]	23	0.2875	0.23910306	0.002342264
2	(8.78, 12.56]	13	0.1625	0.26721970	0.010966216
3	(12.56, 16.33]	15	0.1875	0.19909509	0.000134446
4	(16.33, 20.11]	9	0.1125	0.11125355	1.55363E-06
5	(20.11, 23.89]	6	0.0750	0.04973444	0.000638349
6	(23.89, 27.67]	7	0.0875	0.01852761	0.004757191
7	(27.67, 31.44]	2	0.0250	0.00591609	0.000364196
8	(31.44, 35.22]	3	0.0375	0.00165294	0.001285011
9	(35.22, 39.00]	2	0.0250	0.00041051	0.000604643
Άθροισμα		80			0.021093868



Διάγραμμα 72: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση – I.X.

Η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει ικανοποιητικά την καμπύλη Poisson που προκύπτει με βάση το λ που υπολογίσαμε με το RSS να είναι αρκετά μικρό (0.0210) αν και μεγαλύτερο από το RSS του συνολικού μοντέλου (0.0068).

Συνοψίζοντας, μπορούμε να καταλήξουμε ότι η πιθανότητα μη – απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ συναρτήσει της απόστασης του έτερου ΧΔ για τον τύπο οχήματος I.X. μοντελοποιείται σε μια στατιστική κατανομή Poisson της μορφής

$$P(X = k) = \frac{2.2351^k * e^{2.2351}}{k!}$$

όπου k ακέραιος που προκύπτει από τη σχέση

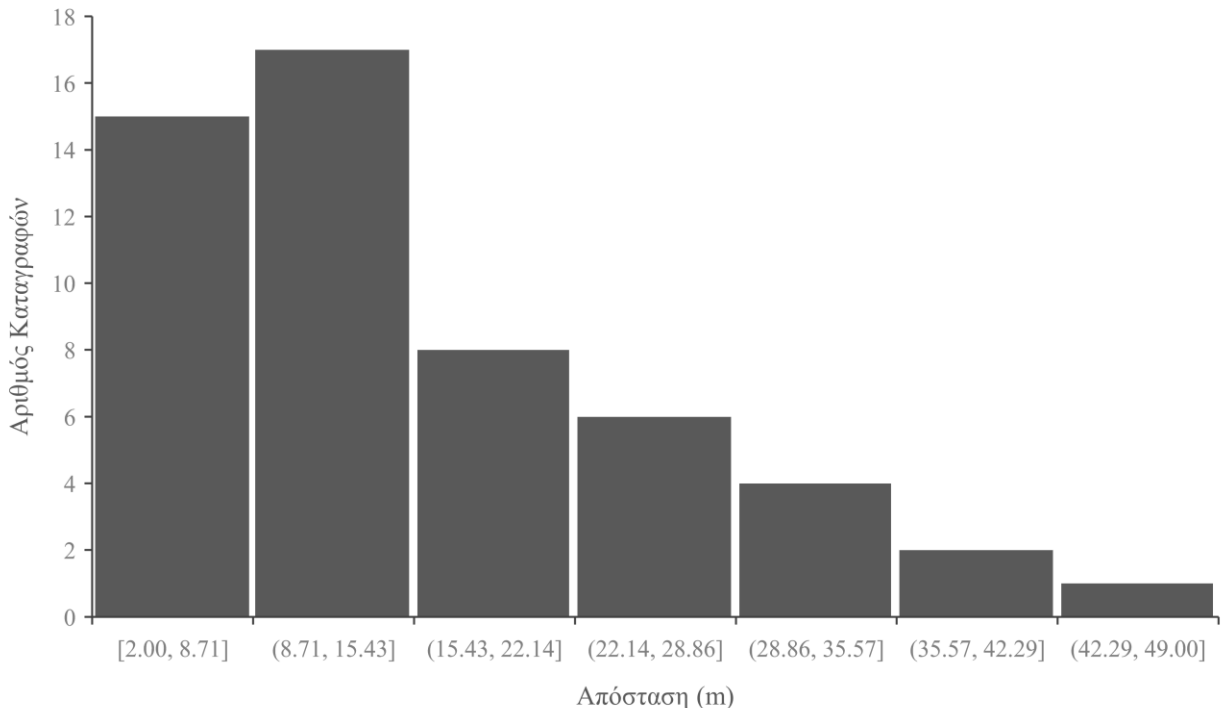
$k = \text{roundup}(\frac{d-d_0}{h})$, όπου d η απόσταση μεταξύ του ΥΕΟ και του έτερου ΧΔ, $d_0 = 5$ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και $h = 3.78$ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο.

Αντικαθιστώντας το k προκύπτει ο τύπος και με την εξής μορφή:

$$P(x = d) = \frac{2.2351^{\text{roundup}(\frac{d-5}{3.78})} * e^{2.2351}}{\text{roundup}(\frac{d-5}{3.78})!}$$

4.4.2. Τύπος οχήματος: Μοτοσυκλέτα

Ο τύπος οχήματος Μοτοσυκλέτα εμφανίζει 53 καταγραφές που χωρίζονται σε 7 κλάσεις πλάτους 6.71428 μέτρων με $k = 1$ για την κλάση [2.00, 8.71], $k = 2$ για την κλάση (8.71, 15.43] και ούτω καθεξής μέχρι το $k = 7$ για την κλάση (42.29, 49.00]. Έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 29:



Διάγραμμα 73: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης - Μοτοσυκλέτα

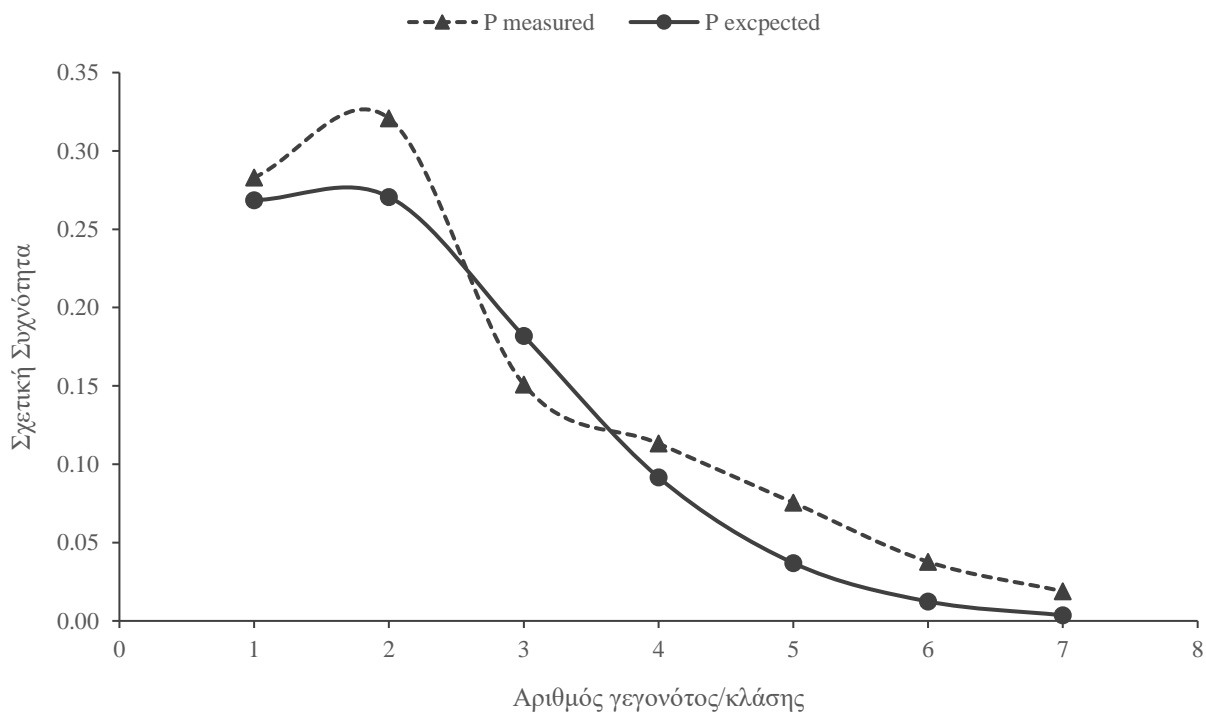
Έπειτα υπολογίζεται η σχετική συχνότητα εμφάνισης επί του συνόλου για κάθε κλάση P_{measured} και το P_{expected} που προκύπτει από την κατανομή Poisson με τιμή αρχικοποίησης $\lambda = 1$. Στη συνέχεια θέτουμε ως στόχο του Solver την ελαχιστοποίηση του RSS και έτσι προκύπτει

$$\lambda = 2.0157$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για $\lambda = 2.0157$ φαίνονται στον Πίνακα 12 και στο Διάγραμμα 30:

Πίνακας 12: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη - απόφασης διέλευσης κατά απόσταση - Μοτοσυκλέτα

k	Κλάσεις (m)	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
1	[2.00, 8.71]	15	0.283018868	0.2685439	0.000209525
2	(8.71, 15.43]	17	0.320754717	0.2706539	0.002510088
3	(15.43, 22.14]	8	0.150943396	0.1818537	0.000955448
4	(22.14, 28.86]	6	0.113207547	0.0916412	0.000465103
5	(28.86, 35.57]	4	0.075471698	0.0369445	0.001484342
6	(35.57, 42.29]	2	0.037735849	0.0124116	0.000641317
7	(42.29, 49.00]	1	0.018867925	0.0035740	0.000233903
Άθροισμα		53			0.006499724



Διάγραμμα 76: P_{expected} και P_{measured} μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση - Μοτοσυκλέτα

Η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει ικανοποιητικά την καμπύλη Poisson που προκύπτει με βάση το λ που υπολογίσαμε με το RSS να είναι αρκετά μικρό (0.0064).

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε ότι η πιθανότητα μη – απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ συναρτήσει της απόστασης του έτερου ΧΔ για τον τύπο οχήματος Μοτοσυκλέτα μοντελοποιείται σε μια στατιστική κατανομή Poisson της μορφής

$$P(X = k) = \frac{2.0157^k * e^{-2.0157}}{k!}$$

όπου k ακέραιος που προκύπτει από τη σχέση

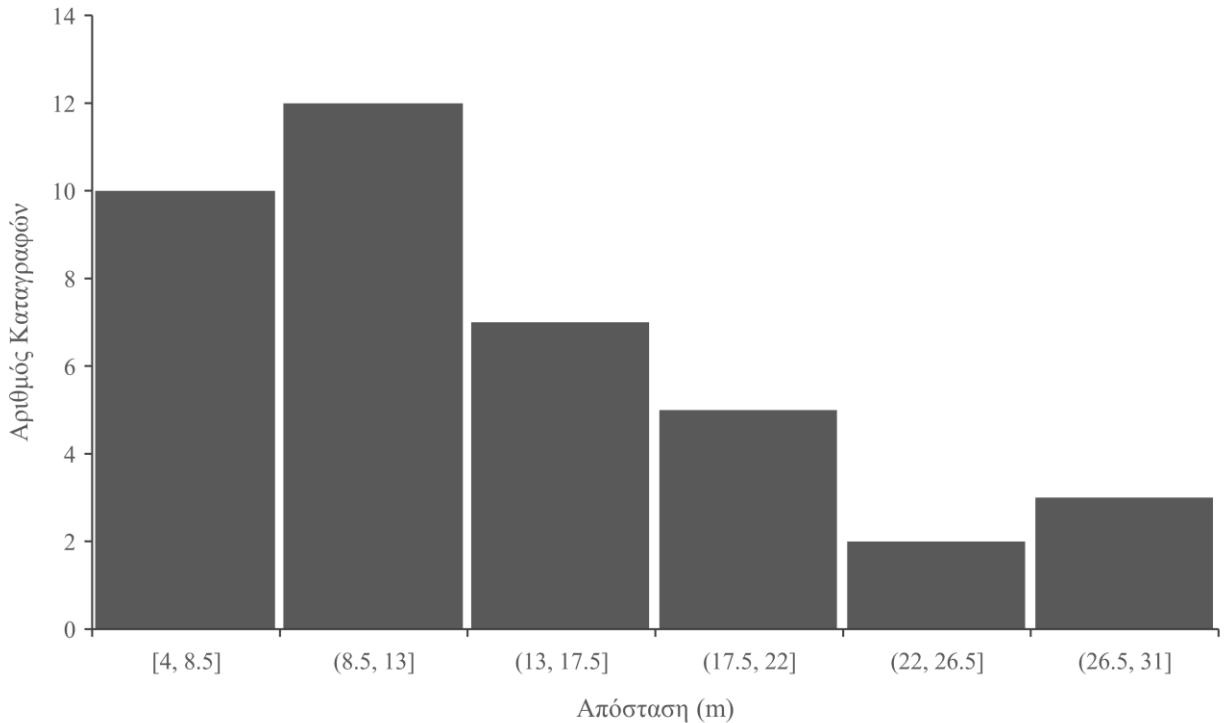
$k = \text{roundup}(\frac{d-d_0}{h})$, όπου d η απόσταση μεταξύ του ΥΕΟ και του έτερου ΧΔ, $d_0 = 2$ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και $h = 6.71428$ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο.

Αντικαθιστώντας το k προκύπτει ο τύπος και με την εξής μορφή:

$$P(x = d) = \frac{2.0157^{\text{roundup}(\frac{d-2}{6.71428})} * e^{-2.0157}}{\text{roundup}(\frac{d-2}{6.71428})!}$$

4.4.3. Τύπος οχήματος: Ταξί

Ο τύπος οχήματος Ταξί εμφανίζει 39 καταγραφές οι οποίες χωρίζονται σε 6 κλάσεις πλάτους 4.5 μέτρων η κάθε μία. Όπως προηγουμένως, προκύπτει ο αύξων αριθμός k για κάθε κλάση με τον $k = 1$ να αντιστοιχεί στην κλάση [4, 8.5], $k = 2$ για την κλάση (8.5, 13] και ούτω καθεξής μέχρι το $k = 6$ για την κλάση (26.5, 31]. Έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 31:



Διάγραμμα 79: Ιστόγραμμα αποστάσεων μη - απόφασης διέλευσης – Ταζί

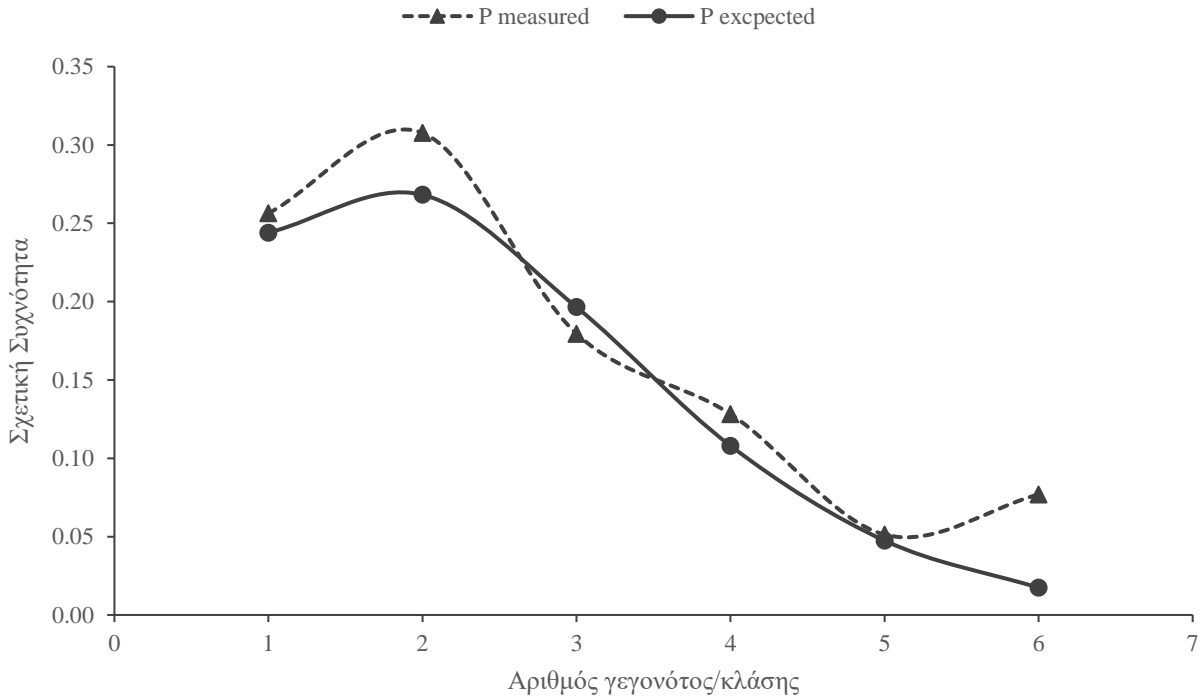
Έπειτα υπολογίζεται η σχετική συχνότητα εμφάνισης επί του συνόλου για κάθε κλάση P_{measured} και το P_{expected} που προκύπτει από την κατανομή Poisson με τιμή αρχικοποίησης $\lambda = 1$. Στη συνέχεια θέτουμε ως στόχο του Solver την ελαχιστοποίηση του RSS και έτσι προκύπτει

$$\lambda = 2.1977$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για $\lambda = 2.1977$ φαίνονται στον Πίνακα 13 και στο Διάγραμμα 32:

Πίνακας 13: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση – Ταζί

k	Κλάσεις (m)	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
1	[4, 8.5]	10	0.256410256	0.244060406	0.000152519
2	(8.5, 13]	12	0.307692308	0.268197169	0.001559866
3	(13, 17.5]	7	0.179487179	0.196480652	0.000288778
4	(17.5, 22]	5	0.128205128	0.107955968	0.000410028
5	(22, 26.5]	2	0.051282051	0.047452982	1.46618E-05
6	(26.5, 31]	3	0.076923077	0.017381975	0.003545143
Άθροισμα		39			0.005970995



Διάγραμμα 80: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά απόσταση – Ταξί

Η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει ικανοποιητικά την καμπύλη Poisson που προκύπτει με βάση το λ που υπολογίσαμε με το RSS να είναι αρκετά μικρό (0.0059).

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε ότι η πιθανότητα μη-απόφασης διέλευσης του YEO συναρτήσεται της απόστασης του έτερου ΧΔ για τον τύπο οχήματος Ταξί μοντελοποιείται σε μια στατιστική κατανομή Poisson της μορφής

$$P(X = k) = \frac{2.1977^k * e^{-2.1977}}{k!}$$

όπου k ακέραιος που προκύπτει από τη σχέση

$k = \text{roundup}\left(\frac{d-d_0}{h}\right)$, όπου d η απόσταση μεταξύ του YEO και του έτερου ΧΔ, $d_0 = 4$ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και $h = 4.5$ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο.

Αντικαθιστώντας το k προκύπτει ο τύπος και με την εξής μορφή:

$$P(x = d) = \frac{2.1977^{\text{roundup}(\frac{d-4}{4.5})} * e^{2.1977}}{\text{roundup}(\frac{d-4}{4.5})!}$$

4.4.4. Τύπος οχήματος: Όχημα Μεγάλου Μεγέθους

Ο τύπος οχήματος Όχημα Μεγάλου Μεγέθους εμφανίζει μόλις 11 καταγραφές. Για τον λόγο αυτό μια μοντελοποίηση με ένα μέγεθος δείγματος τόσο μικρό δεν έχει νόημα καθώς το μοντέλο που θα προκύψει δεν γίνεται να έχει επαρκή αξιοπιστία.

Μπορεί να γίνει μια προσέγγιση μοντελοποίησης με φθίνουσα εκθετική κατανομή, ωστόσο το μικρό μέγεθος δείγμα των καταγραφών δεν είναι επαρκές για να επιβεβαιώσει την αξιοπιστία του μοντέλου που προκύπτει και για τον λόγο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται στην παρούσα ανάλυση.

4.4.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Με βάση όλα τα προαναφερθέντα μπορούμε να συνοψίσουμε ότι η μοντελοποίηση της μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση στο σύνολο των καταγραφών αλλά και ανά τύπο οχήματος περιγράφεται από μια στατιστική κατανομή Poisson που του τύπου

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k * e^{-\lambda}}{k!}$$

όπου λ η παράμετρος της κατανομής που προκύπτει ανά είδος οχήματος ενώ ο αύξων ακέραιος αριθμός k προκύπτει από τον τύπο

$k = \text{roundup}(\frac{d-d_0}{h})$, όπου d η απόσταση μεταξύ του ΥΕΟ και του έτερου ΧΔ, d_0 το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και h το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση κατά περίπτωση, με στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο.

Έτσι προκύπτει τελικά

$$P(x = d) = \frac{\lambda^{\text{roundup}(\frac{d-d_0}{h})} * e^{-\lambda}}{\text{roundup}(\frac{d-d_0}{h})!}$$

Οι μεταβλητές λ , h , και d_0 κατά περίπτωση συνοψίζονται στον Πίνακα 14:

Πίνακας 14: Παράμετροι μοντελοποίησης Poisson μη – απόφασης διέλευσης κατά απόσταση ανά τύπο οχήματος

Τύπος οχήματος	λ	d_0	h
I.X.	2.2351	5	3.78
Μοτοσυκλέτα	2.0157	2	6.71428
Ταξί	2.1977	4	4.5
Μεγάλου Μεγέθους	-	-	-
Γενικός Τύπος	3.6935	2	3.35714

4.5. Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά χρόνο

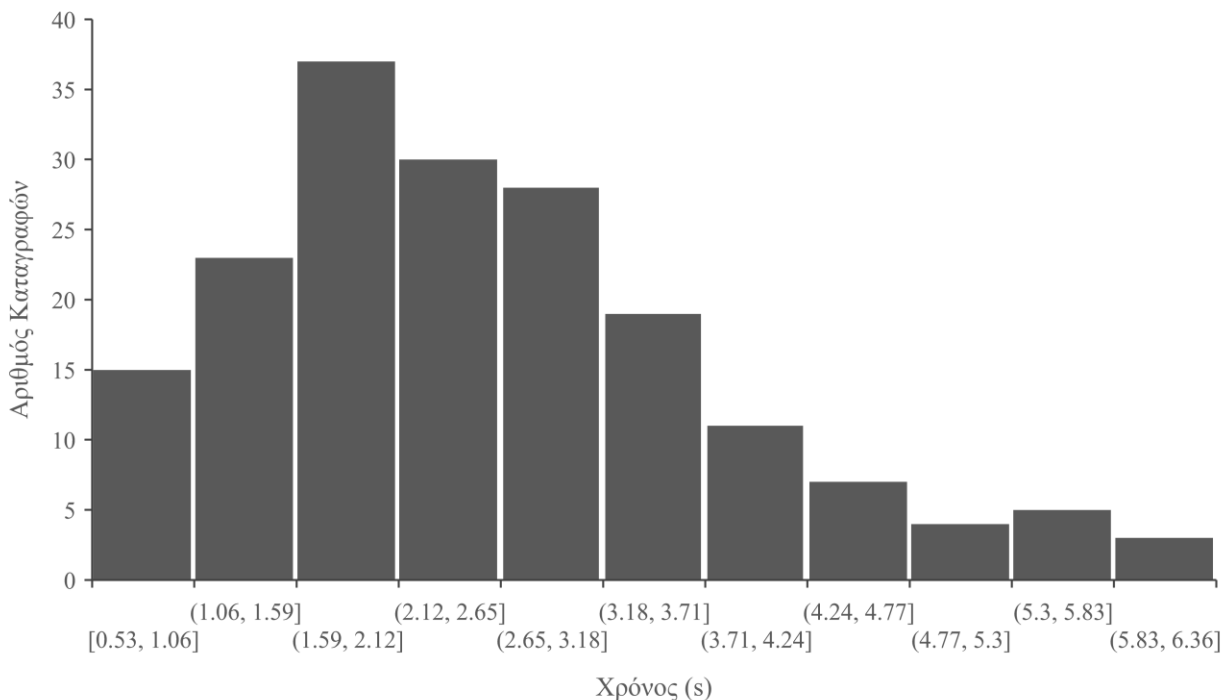
Εξίσου χρήσιμο εργαλείο, αν όχι χρησιμότερο, αποτελεί η μοντελοποίηση της μη – απόφασης εκτέλεσης της στροφής κατά χρόνο. Ο χρόνος που χρειάζεται ο έτερος ΧΔ για να διασχίσει το χώρο αλληλεπίδρασής του με τον ΥΕΟ που ονομάζεται χρόνος μέχρι τη σύγκρουση (Time to Collision – TTC) αποτελεί ευρέως χρησιμοποιούμενη μετρική που έχει εξεταστεί σε πλήθος μελετών, καθώς αποτελεί εύκολα μετρήσιμη μεταβλητή η οποία εξάγει χρήσιμα αποτελέσματα που οδηγούν σε σαφή ποσοτικά συμπεράσματα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι ενώ προηγουμένως χρησιμοποιήθηκε η στατιστική κατανομή Poisson για τη μοντελοποίηση κατά απόσταση, στη μοντελοποίηση κατά χρόνο επιλέγουμε φθίνουσα εκθετική κατανομή. Παρόλο που η κατανομή Poisson δίνει ιδιαίτερα ικανοποιητικά γραφικά αποτελέσματα στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η καλή αυτή προσαρμογή της θεωρητικής με την πραγματική καμπύλη εμφανίζει ένα παράδοξο, καθώς είναι πρακτικά αδύνατο καταγραφές μικρότερου χρόνου να εμφανίζουν μικρότερη πιθανότητα μη – απόφασης διέλευσης από καταγραφές μεγαλύτερου χρόνου, κάτι που εμφανίζεται στις αρχικές κλάσεις μικρών χρόνων σε μια κατανομή Poisson. Διαισθητικά αλλά και επιστημονικά πρόκειται για ισχυρισμό που δεν έχει βάση, καθώς δεν είναι εφικτό ο ΥΕΟ να είναι πιο πιθανό να λάβει την

απόφαση εκτέλεσης της στροφής όταν εμφανίζεται μικρότερο χρονικό περιθώριο (Time Gap) από τον έτερο ΧΔ, από ότι όταν εμφανίζεται ένα μεγαλύτερο.

Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται διότι διαθέτουμε λίγες συγκριτικά καταγραφές περιστατικών στις οποίες σημειώνεται μικρό χρονικό περιθώριο μεταξύ των διερχομένων ΧΔ. Προφανώς είναι αδύνατο το περιθώριο αυτό να πέσει κάτω από κάποια τιμή, καθώς εάν γινόταν αυτό η χρονοαπόσταση μεταξύ δυο διερχομένων οχημάτων θα παραβίαζε κανόνες απόστασης ασφαλείας μεταξύ τους, κάτι που είναι επικίνδυνο και συνεπώς σπάνιο να παρατηρηθεί. Ωστόσο ο περιορισμένος αυτός αριθμός καταγραφών μικρών χρόνων δεν συνεπάγεται και μικρή πιθανότητα μη – λήψης της απόφασης αλλά αντιθέτως μεγαλύτερη, καθώς ο ΥΕΟ έχει μικρότερο χρονικό περιθώριο να αντιδράσει, μικρότερη διαθέσιμη χρονοαπόσταση για να εισέλθει και να διακόψει το αντίθετα διερχόμενο ρεύμα κίνησης και συνεπώς μειωμένη ασφάλεια σε ενδεχόμενη λήψη απόφασης εκτέλεσης της στροφής.

Για την αποφυγή αυτού του παράδοξου, επιλέγεται για την μοντελοποίηση φθίνουσα εκθετική κατανομή, η οποία με αύξηση των χρόνων εμφανίζει συνεχώς ελάττωση της πιθανότητας μη – απόφασης, άρα και αύξηση της πιθανότητας λήψης της απόφασης, αποτέλεσμα που έχει τόσο διαισθητική όσο και επιστημονική εγκυρότητα και συνεπώς κάνει την εφαρμογή του πιο χρήσιμη και αξιόπιστη.



Διάγραμμα 81: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης

Όπως φαίνεται στο παραπάνω Διάγραμμα 33, χωρίζουμε το σύνολο των καταγραφών σε 11 κλάσεις [0.53, 1.06] , (1.06, 1.59] , ... , (5.38, 6.36], κάθε μια πλάτους 0.53 δευτερολέπτων.

Έπειτα, βρίσκουμε τις μέσες τιμές της κάθε κλάσης, δηλαδή 0.795, 1.325 και ούτω καθεξής, αφαιρούμε το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης δηλαδή 0.53 δευτερόλεπτα και διαιρούμε την κάθε τιμή με την ελάχιστη τιμή, δηλαδή το 0.53. Έτσι προκύπτει μια ακολουθία περιττών ακεραίων που θα αποτελέσει τη μεταβλητή x για το μοντέλο της φθίνουσας εκθετικής κατανομής που θα δοκιμάσουμε.

Με βάση το πλήθος των καταγραφών σε κάθε κλάση υπολογίζουμε το P_{measured} , δηλαδή τη σχετική συχνότητα εμφάνισης. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το P_{expected} κάθε κλάσης, δηλαδή την πιθανότητα που θα προέκυπτε από μια γνωστή φθίνουσα εκθετική κατανομή της μορφής:

$$P(t = x) = k * e^{-\lambda * x} + b$$

με γνωστούς συντελεστές έστω $k = \lambda = b = 1$

Για κάθε κλάση υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ P_{expected} και P_{measured} υψωμένη στο τετράγωνο. Στο σημείο αυτό η μεθοδολογία μας διαφοροποιείται από όσα εφαρμόζουμε σε όλες τις αντίστοιχες περιπτώσεις της μελέτης αυτής. Αντί για να αθροίσουμε όλες αυτές τις διαφορές των P_{expected} και P_{measured} , αθροίζουμε τις διαφορές των κλάσεων που συνεισφέρουν στην παραγωγή του επιθυμητού μοντέλου, δηλαδή τις κλάσεις που φαίνεται γραφικά ότι αντιστοιχούν σε φθίνουσα εκθετική κατανομή. Αφήνοντας έξω τις πρώτες, λίγες κατά περίπτωση, κλάσεις, που όπως προαναφέραμε λόγω των συνθηκών διεξαγωγής της μελέτης δεν προσφέρουν χρήσιμα δεδομένα για την παραγωγή του επιθυμητού μοντέλου, κατά την άθροιση των σφαλμάτων, η ελαχιστοποίηση του ολικού σφάλματος έχει σαν αποτέλεσμα η εκτιμώμενη καμπύλη του μοντέλου φθίνουσας εκθετικής κατανομής που προκύπτει να έχει σαφώς καλύτερη προσαρμογή στην καμπύλη των πραγματικών, χρήσιμων δεδομένων που έχουμε καταγράψει. Με άλλα λόγια, εφόσον στις πρώτες κλάσεις δεν μας ενδιαφέρει η ελαχιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης καμπύλης, η καμπύλη που προκύπτει με τον τρόπο αυτό περιγράφει με σημαντικά μεγαλύτερη ακρίβεια την τάση των μετρήσεων, παράγοντας ένα ακριβέστερο μοντέλο, με ιδιαίτερα ελαττωμένο RSS σε σύγκριση με το να συμπεριλαμβάναμε σε αυτό όλες τις κλάσεις. Ταυτόχρονα, πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το μοντέλο μπορεί να εκτιμήσει κανονικά πιθανότητες για χρόνους των κλάσεων που δεν έχουν συμπεριληφθεί στην

μοντελοποίηση, καθώς η επέκταση της καμπύλης προς χαμηλότερους χρόνους ακολουθεί την προσδοκώμενη τάση μιας φθίνουσας εκθετικής κατανομής, υποδεικνύοντας υψηλότερες πιθανότητες μη – απόφασης διέλευσης καθώς εισάγουμε στον υπολογισμό μικρότερους χρόνους διερχόμενων οχημάτων.

Στην περίπτωση αυτή, από το άθροισμα RSS παραλείπουμε τις πρώτες δυο κλάσεις, αθροίζοντας τις υπόλοιπες εννέα. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση του Solver, θέτουμε ως στόχο την ελαχιστοποίηση του RSS χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές παραμέτρους το λ , το k και το b . Έτσι προκύπτει:

$$k = 0.44448$$

$$\lambda = 0.14306$$

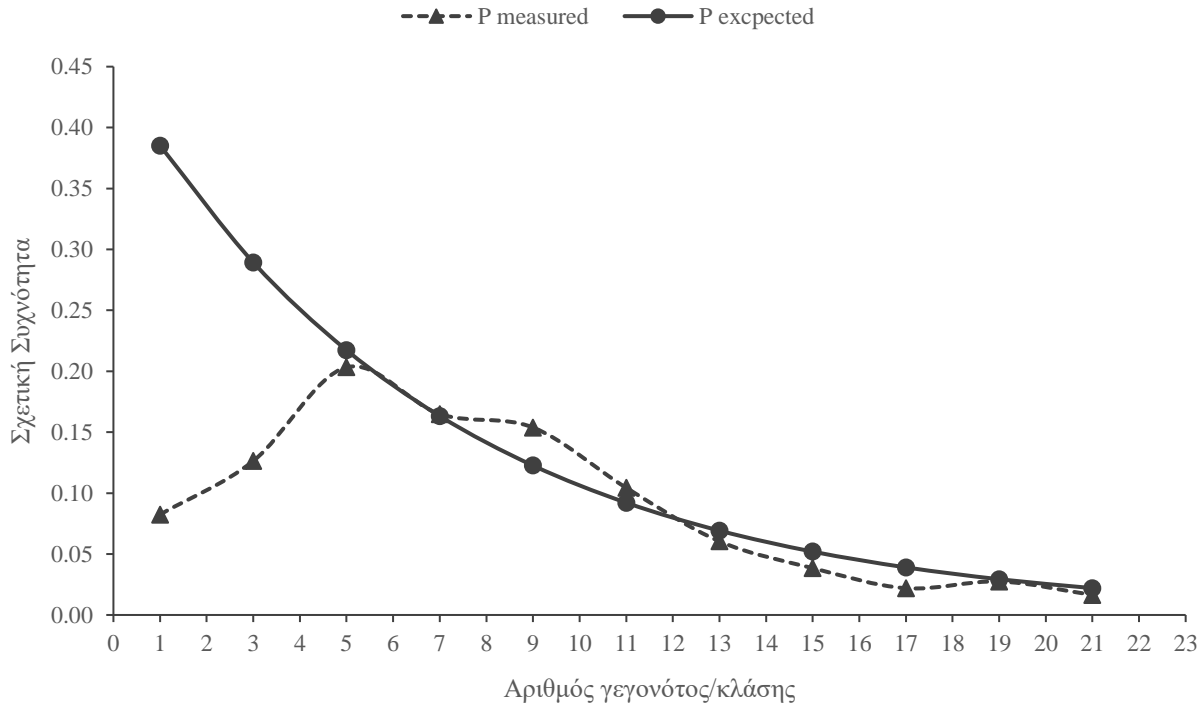
$$b = 0$$

Παρατηρούμε εδώ ότι η βέλτιστη λύση έχει προκύψει με μηδενισμό της μεταβλητής b . Καθώς όπως συμβαίνει και σε περιπτώσεις μοντελοποίησης ανά όχημα παρακάτω, η μεταβλητή b λαμβάνει μηδενικές ή κοντά στο 0 τιμές, ενώ η αφαίρεσή της από το μοντέλο δεν συνεπάγεται αξιοσημείωτη αύξηση του RSS, επιλέγουμε να την παραλείψουμε και σαν μεταβλητές που διαφοροποιούνται κατά περίπτωση να λαμβάνονται μόνο η k και η λ .

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για τις παραπάνω τιμές φαίνονται στον Πίνακα 15 και στο Διάγραμμα 34:

Πίνακας 15: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο

Κλάσεις (s)	Μέσες Τιμές	Μέσες (- 0.53s)	x	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
[0.53, 1.06]	0.795	0.265	1	15	0.0824175	0.3852298	0.091695247
(1.06, 1.59]	1.325	0.795	3	23	0.1263736	0.2893705	0.026567998
(1.59, 2.12]	1.855	1.325	5	37	0.2032967	0.2173645	0.000197905
(2.12, 2.65]	2.385	1.855	7	30	0.1648351	0.1632763	2.42997E-06
(2.65, 3.18]	2.915	2.385	9	28	0.1538461	0.1226472	0.000973374
(3.18, 3.71]	3.445	2.915	11	19	0.1043956	0.0921281	0.000150492
(3.71, 4.24]	3.975	3.445	13	11	0.0604395	0.0692032	7.68025E-05
(4.24, 4.77]	4.505	3.975	15	7	0.0384615	0.0519829	0.000182829
(4.77, 5.30]	5.035	4.505	17	4	0.0219780	0.0390477	0.000291374
(5.30, 5.83]	5.565	5.035	19	5	0.0274725	0.0293312	3.45468E-06
(5.83, 6.36]	6.095	5.565	21	3	0.0164835	0.0220325	3.07915E-05
Άθροισμα				182			0.001909452



Διάγραμμα 84: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο

Η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει εξαιρετικά την καμπύλη φθίνουσας εκθετικής κατανομής που προκύπτει από την τρίτη κλάση και έπειτα, ενώ στις πρώτες δυο υπάρχει διαφορά η οποία δικαιολογείται με βάση τα όσα προαναφέραμε. Ταυτόχρονα η προκύπτουσα καμπύλη φαίνεται να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα για τις κλάσεις αυτές, καθώς για μικρούς χρόνους προκύπτουν ιδιαίτερα υψηλές πιθανότητες μη – απόφασης διέλευσης. Το RSS προκύπτει ιδιαίτερα χαμηλό (0.0019).

Έτσι λοιπόν καταλήγουμε ότι η πιθανότητα μη – απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ συναρτήσκει της χρονοαπόστασης του έτερου ΧΔ μοντελοποιείται σε μια φθίνουσα εκθετική στατιστική κατανομή της μορφής

$$P(x) = 0.44448 * e^{-0.14306 * x}, \text{ όπου το } x \text{ υπολογίζεται από τη σχέση}$$

$$x = 2 * n - 1, \text{ με το } n \text{ να προκύπτει από τη σχέση}$$

$n = \text{roundup}\left(\frac{t-t_0}{h}\right)$, όπου t το TTC, $t_0 = 0.53$ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και $h = 0.53$ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με το n να στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο μεγαλύτερο ακέραιο.

Οπότε τελικά με αντικατάσταση καταλήγουμε στον τύπο:

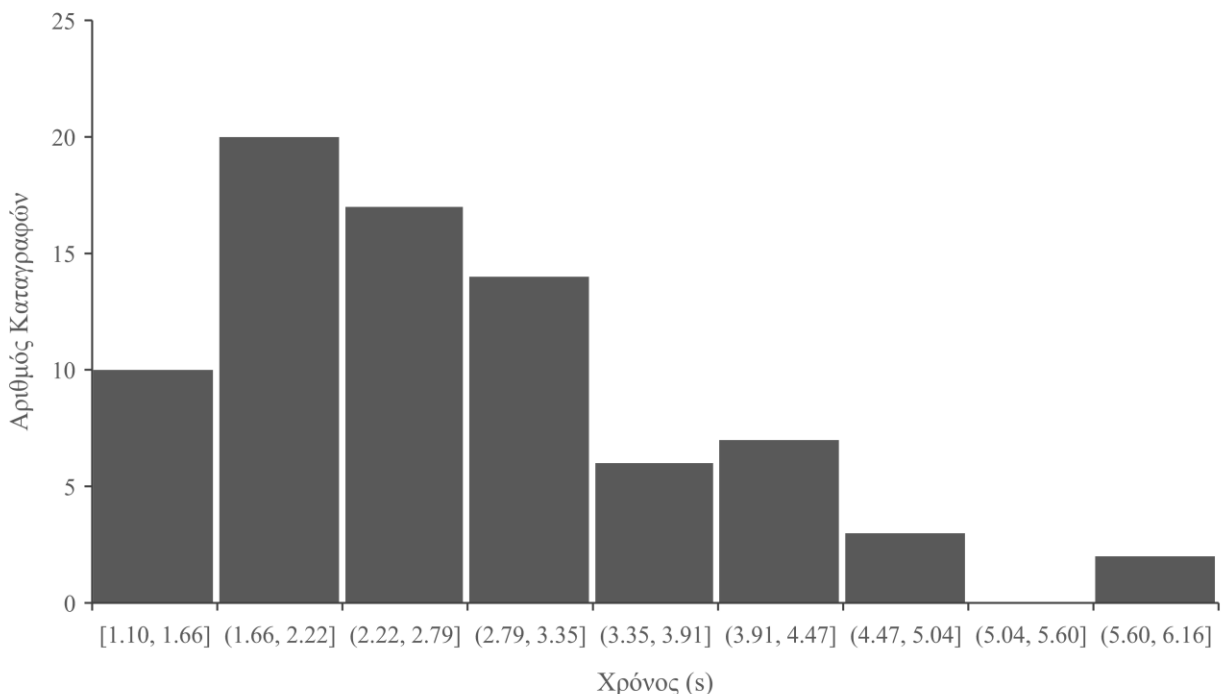
$$P(TTC = t) = 0.51285 * e^{-0.28613 * \text{roundup}\left(\frac{t-0.53}{0.53}\right)}$$

4.6. Μοντελοποίηση μη – απόφασης κατά χρόνο ανά τύπο οχήματος

Σε πλήρη αντιστοιχία με τη μοντελοποίηση της μη – απόφασης κατά απόσταση, επέκταση του παραπάνω εργαλείου αποτελεί η μοντελοποίηση της μη – απόφασης κατά χρόνο ανά τύπο οχήματος που εξετάζουμε. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζουμε την ίδια μεθοδολογία με προηγουμένως για κάθε τύπο οχήματος που εξετάζουμε με στόχο να καταλήξουμε σε έναν τύπο που να υπολογίζει την πιθανότητα μη λήψης της απόφασης του ΥΕΟ. Το περιορισμένο πλήθος των υποσυνόλων του κάθε τύπου μας οδηγεί σε ελαφρώς αυξημένες αποκλίσεις του μοντέλου σε σχέση με την κατανομή του συνόλου των μετρήσεων όπως και πριν.

4.6.1. Τύπος οχήματος: I.X.

Ο τύπος οχήματος I.X. εμφανίζει 79 καταγραφές οι οποίες χωρίζονται σε 9 κλάσεις πλάτους 0.56222 δευτερολέπτων και έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 35:



Διάγραμμα 87: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης - I.X.

Έπειτα, βρίσκουμε τις μέσες τιμές της κάθε κλάσης, αφαιρούμε το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και διαιρούμε την κάθε τιμή με την ελάχιστη τιμή για να προκύψει η ακολουθία περιττών ακεραίων x . Έπειτα υπολογίζεται το P_{measured} και το P_{expected} που προκύπτει από την φθίνουσα εκθετική κατανομή με τιμή αρχικοποίησης $k = \lambda = 1$.

Στην περίπτωση αυτή, από το άθροισμα RSS παραλείπουμε την πρώτη κλάση, αθροίζοντας τις υπόλοιπες οκτώ. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση του Solver, θέτουμε ως στόχο την ελαχιστοποίηση RSS χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές παραμέτρους το λ και το k . Έτσι προκύπτει:

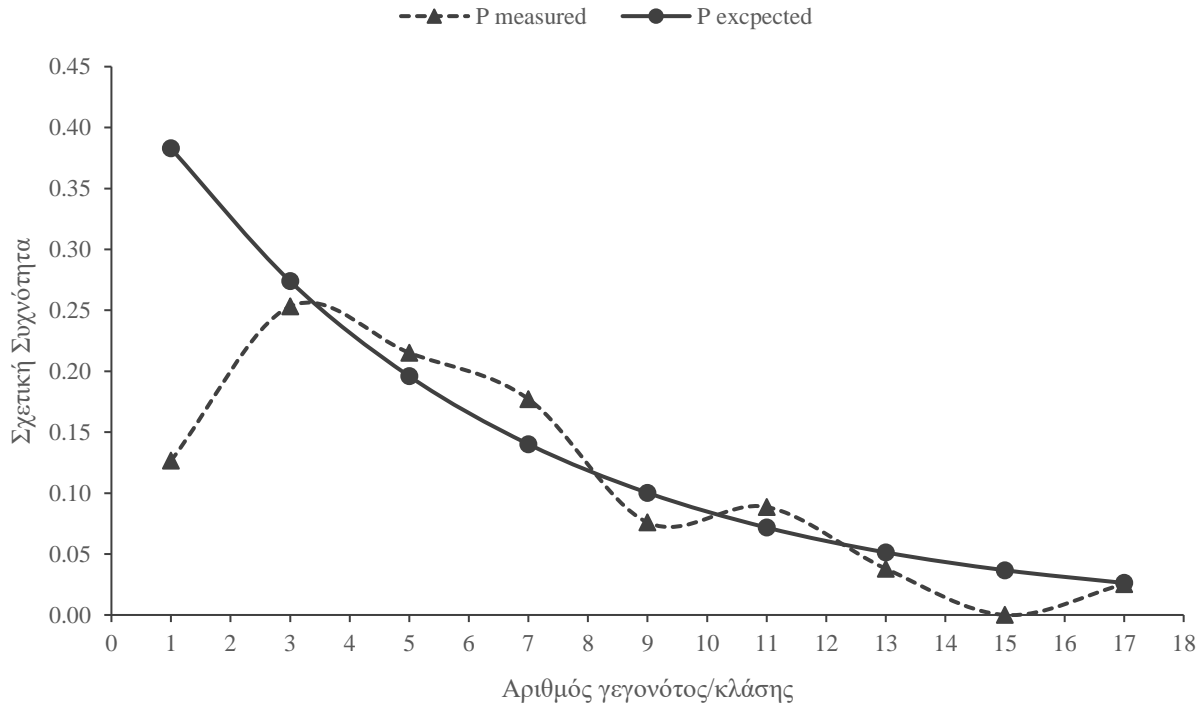
$$k = 0.45267$$

$$\lambda = 0.16747$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για τις παραπάνω τιμές φαίνονται στον Πίνακα 16 και στο Διάγραμμα 36:

Πίνακας 16: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο – I.X.

Κλάσεις (s)	Μέσες Τιμές	Μέσες (- 1.10s)	x	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
[1.10, 1.66]	1.38	0.28	1	10	0.12658228	0.3828746	0.065685758
(1.66, 2.22]	1.94222	0.84222	3	20	0.25316456	0.2738980	0.000429876
(2.22, 2.79]	2.50444	1.40444	5	17	0.21518987	0.1959391	0.000370591
(2.79, 3.35]	3.06666	1.96666	7	14	0.17721519	0.1401695	0.001372383
(3.35, 3.91]	3.62888	2.52888	9	6	0.07594937	0.1002734	0.000591660
(3.91, 4.47]	4.19110	3.09110	11	7	0.08860759	0.0717328	0.000284757
(4.47, 5.04]	4.75332	3.65332	13	3	0.03797468	0.0513157	0.000177983
(5.04, 5.60]	5.31554	4.21554	15	0	0	0.0367098	0.001347614
(5.60, 6.16]	5.87776	4.77776	17	2	0.02531646	0.0262612	8.92603E-07
Άθροισμα				79			0.004575756



Διάγραμμα 90: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο – I.X.

Η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει ικανοποιητικά την καμπύλη φθίνουσας εκθετικής κατανομής που προκύπτει από την δεύτερη κλάση και έπειτα, ενώ στην πρώτη υπάρχει η διαφορά που προαναφέραμε. Το RSS προκύπτει ιδιαίτερα μικρό (0.0045), αν και μεγαλύτερο από αυτό του συνόλου, πιθανά λόγω του περιορισμένου μεγέθους του υποσυνόλου των I.X. σε σχέση με το σύνολο των καταγραφών.

Έτσι καταλήγουμε ότι η πιθανότητα μη – απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ συναρτήσει της χρονοαπόστασης του έτερου ΧΔ για τον τύπο οχήματος I.X. μοντελοποιείται σε μια φθίνουσα εκθετική στατιστική κατανομή της μορφής

$$P(x) = 0.45267 * e^{-0.16747 * x}, \text{ όπου το } x \text{ υπολογίζεται από τη σχέση}$$

$$x = 2 * n - 1, \text{ με το } n \text{ να προκύπτει από τη σχέση}$$

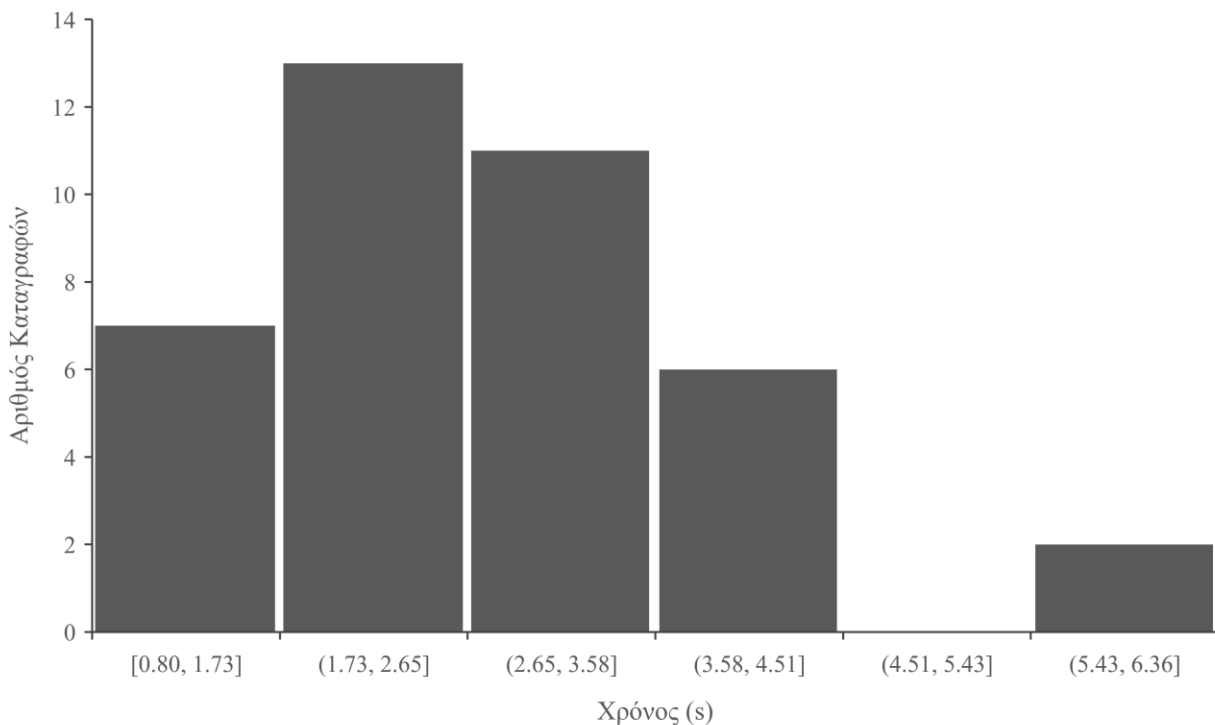
$$n = \text{roundup}\left(\frac{t-t_0}{h}\right), \text{ όπου } t \text{ το TTC, } t_0 = 1.10 \text{ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και } h = 0.56222 \text{ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με το } n \text{ να στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο μεγαλύτερο ακέραιο.}$$

Οπότε τελικά με αντικατάσταση καταλήγουμε στον τύπο:

$$P(TTC = t) = 0.53521 * e^{-0.33495 * \text{roundup}\left(\frac{t-1,10}{0,56222}\right)}$$

4.6.2. Τύπος οχήματος: Ταξί

Ο τύπος οχήματος Ταξί εμφανίζει 39 καταγραφές οι οποίες χωρίζονται σε 6 κλάσεις πλάτους 0.92666 δευτερολέπτων και έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 37:



Διάγραμμα 93: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης - Ταξί

Έπειτα, ακολουθούμε ακριβώς την ίδια διαδικασία, και όπως πριν, από το άθροισμα RSS παραλείπουμε την πρώτη κλάση, αθροίζοντας τις υπόλοιπες πέντε. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση του Solver, θέτουμε ως στόχο την ελαχιστοποίηση RSS χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές παραμέτρους το λ και το k . Έτσι προκύπτει:

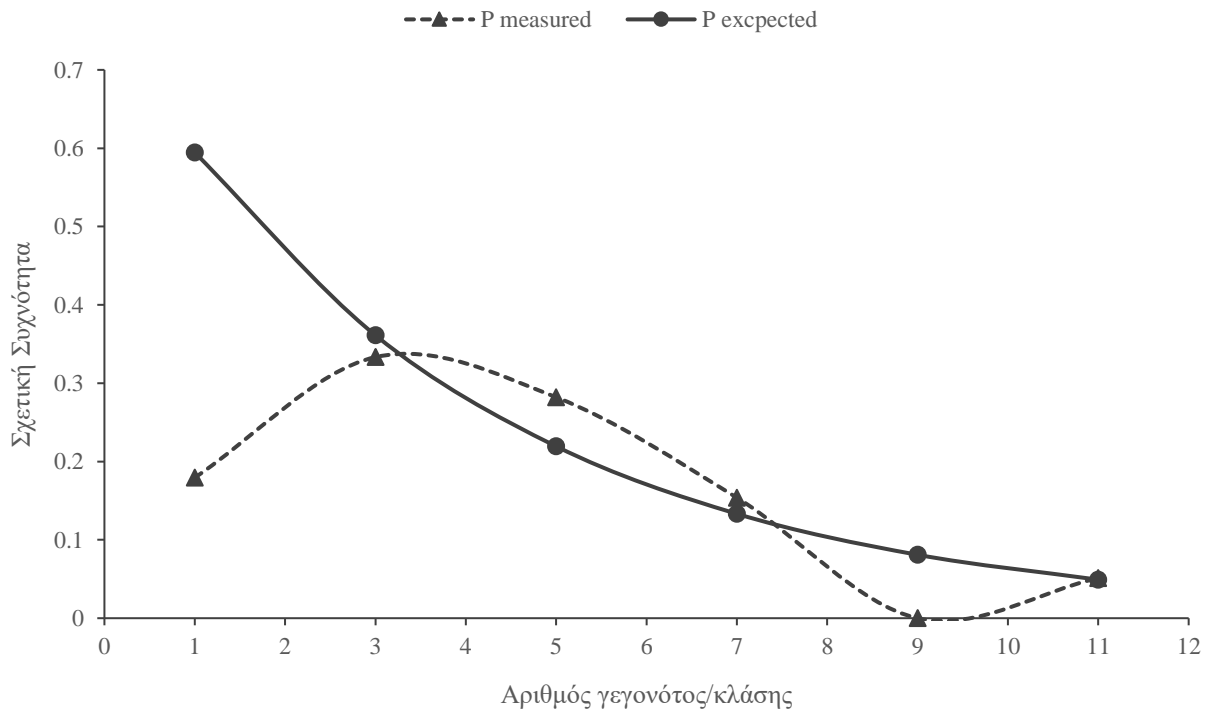
$$k = 0.76286$$

$$\lambda = 0.24926$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για τις παραπάνω τιμές φαίνονται στον Πίνακα 17 και στο Διάγραμμα 38:

Πίνακας 17: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο – Ταζί

Κλάσεις (s)	Μέσες Τιμές	Μέσες (- 0.80s)	x	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
[0.80, 1.73]	1.265	0.465	1	7	0.17948718	0.59456119	0.172286437
(1.73, 2.65]	2.19166	1.39166	3	13	0.33333333	0.36115205	0.000773881
(2.65, 3.58]	3.11832	2.31832	5	11	0.28205128	0.21937322	0.003928540
(3.58, 4.51]	4.04498	3.24498	7	6	0.15384615	0.13325304	0.000424076
(4.51, 5.43]	4.97164	4.17164	9	0	0	0.08094139	0.006551508
(5.43, 6.36]	5.89830	5.09830	11	2	0.05128205	0.04916592	4.47801E-06
Αθροισμα				39			0.011682483



Διάγραμμα 96: P_{expected} και P_{measured} μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο – Ταζί

Όπως προηγουμένως, η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει ικανοποιητικά την καμπύλη φθίνουσας εκθετικής κατανομής που προκύπτει από την δεύτερη κλάση και έπειτα, ενώ στην πρώτη υπάρχει η γνωστή διαφορά. Το RSS προκύπτει μικρό (0.0116), αν και μεγαλύτερο από πριν.

Έτσι καταλήγουμε ότι η πιθανότητα μη – απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ συναρτήσει της χρονοαπόστασης του έτερου ΧΔ για τον τύπο οχήματος Ταξί μοντελοποιείται σε μια φθίνουσα εκθετική στατιστική κατανομή της μορφής

$$P(x) = 0.76286 * e^{-0.24926 * x}, \text{ όπου το } x \text{ υπολογίζεται από τη σχέση}$$

$$x = 2 * n - 1, \text{ με το } n \text{ να προκύπτει από τη σχέση}$$

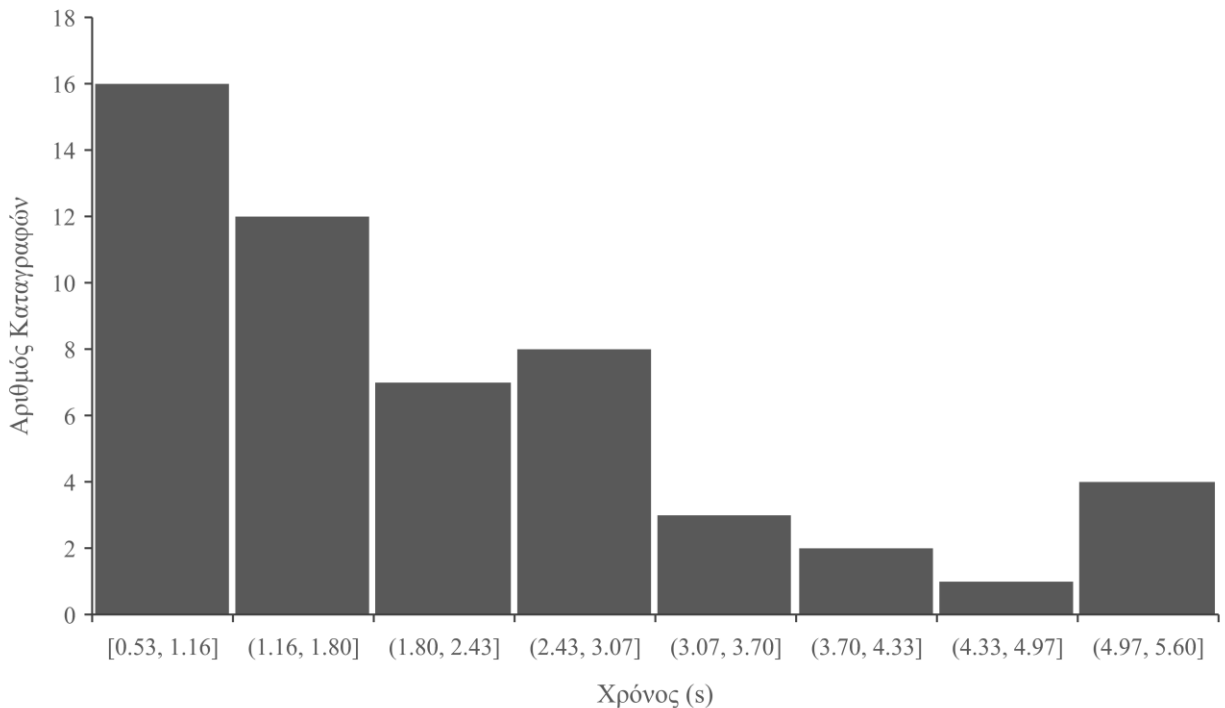
$n = \text{roundup}\left(\frac{t-t_0}{h}\right)$, όπου t το TTC, $t_0 = 0.80$ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και $h = 0.92666$ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με το n να στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο μεγαλύτερο ακέραιο.

Οπότε τελικά με αντικατάσταση καταλήγουμε στον τύπο:

$$P(TTC = t) = 0.97882 * e^{-0.49852 * \text{roundup}\left(\frac{t-0,80}{0.92666}\right)}$$

4.6.3. Τύπος οχήματος: Μοτοσυκλέτα

Ο τύπος οχήματος Μοτοσυκλέτα εμφανίζει 53 καταγραφές οι οποίες χωρίζονται σε 8 κλάσεις πλάτους 0.63375 δευτερολέπτων και έτσι προκύπτει το Διάγραμμα 39:



Διάγραμμα 99: Ιστόγραμμα χρόνων μη - απόφασης διέλευσης - Μοτοσυκλέτα

Εφαρμόζουμε την ίδια μέθοδο, ωστόσο αυτή την φορά από το άθροισμα RSS δεν παραλείπουμε καμία κλάση. Αυτό συμβαίνει καθώς φαίνεται γραφικά οι πρώτες κλάσεις να ακολουθούν τάση φθίνουσας εκθετικής κατανομής όπως και οι επόμενες, με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται να τις αφαιρέσουμε από τους υπολογισμούς της μοντελοποίησης, Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση του Solver, θέτουμε ως στόχο την ελαχιστοποίηση RSS χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές παραμέτρους το λ και το k . Έτσι προκύπτει:

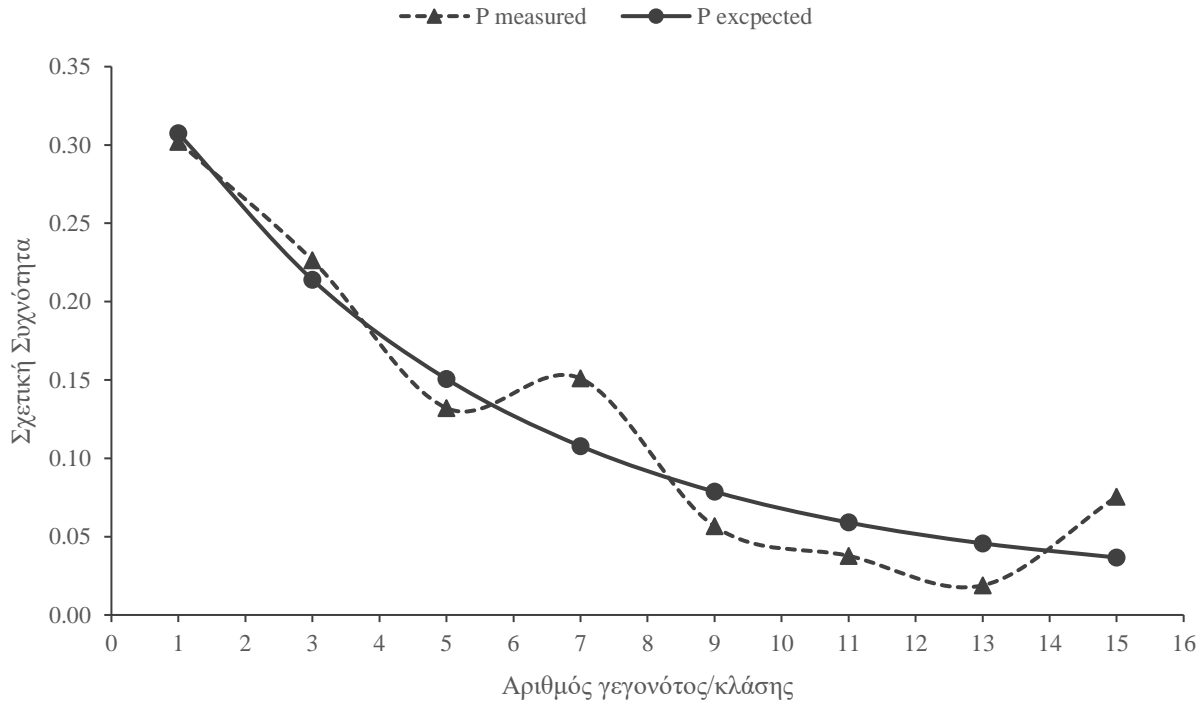
$$k = 0.35930$$

$$\lambda = 0.16808$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για τις παραπάνω τιμές φαίνονται στον Πίνακα 18 και στο Διάγραμμα 40:

Πίνακας 18: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο – Μοτοσυκλέτα

Κλάσεις (s)	Μέσες Τιμές	Μέσες (- 0.53s)	x	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
[0.53, 1.16]	0.845	0.315	1	16	0.3018867	0.3037142	3.33945E-06
(1.16, 1.80]	1.47875	0.94875	3	12	0.2264150	0.2170034	8.858E-05
(1.80, 2.43]	2.11250	1.58250	5	7	0.1320754	0.1550486	0.000527767
(2.43, 3.07]	2.74625	2.21625	7	8	0.1509434	0.1107820	0.001612934
(3.07, 3.70]	3.38	2.85	9	3	0.0566037	0.0791536	0.000508496
(3.70, 4.33]	4.01375	3.48375	11	2	0.0377358	0.0565551	0.000354167
(4.33, 4.97]	4.64750	4.11750	13	1	0.0188679	0.0404085	0.000464
(4.97, 5.60]	5.28125	4.75125	15	4	0.0754717	0.0288718	0.002171543
Άθροισμα				53			0.005730825



Διάγραμμα 102: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη - απόφασης κατά χρόνο – Μοτοσυκλέτα

Η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει εξαιρετικά την καμπύλη φθίνουσας εκθετικής κατανομής που προκύπτει σε όλο το εύρος των χρόνων. Το RSS προκύπτει αρκετά μικρό (0.0057).

Έτσι καταλήγουμε ότι η πιθανότητα μη - απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ συναρτήσει της χρονοαπόστασης του έτερου ΧΔ για τον τύπο οχήματος Μοτοσυκλέτα μοντελοποιείται σε μια φθίνουσα εκθετική στατιστική κατανομή της μορφής

$$P(x) = 0.35930 * e^{-0.16808 * x}, \text{ όπου το } x \text{ υπολογίζεται από τη σχέση}$$

$$x = 2 * n - 1, \text{ με το } n \text{ να προκύπτει από τη σχέση}$$

$n = \text{roundup}\left(\frac{t-t_0}{h}\right)$, όπου t το TTC, $t_0 = 0.53$ το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και $h = 0.63375$ το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση, με το n να στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο μεγαλύτερο ακέραιο.

Οπότε τελικά με αντικατάσταση καταλήγουμε στον τύπο:

$$P(TTC = t) = 0.42507 * e^{-0.33617 * \text{roundup}(\frac{t-0.53}{0.63375})}$$

4.6.4. Τύπος οχήματος: Όχημα Μεγάλου Μεγέθους

Όπως και στην μοντελοποίηση κατά απόσταση, οι αρκετά περιορισμένες σε πλήθος καταγραφές οχημάτων τύπου Μεγάλου Μεγέθους δεν επιτρέπουν την εξαγωγή κάποιου αξιόπιστου μοντέλου το οποίο να μπορεί να εφαρμοστεί με ασφάλεια σε ικανό εύρος περιπτώσεων χρονοαπόστασης. Για το λόγο αυτό η μοντελοποίηση μη – απόφασης για τον τύπο οχήματος αυτόν παραλείπεται.

4.6.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Με βάση τα προαναφερθέντα συνοψίζουμε ότι η μοντελοποίηση της μη – απόφασης διέλευσης κατά χρονοαπόσταση στο σύνολο των καταγραφών αλλά και για κάθε τύπο οχήματος περιγράφεται από μια φθίνουσα εκθετική στατιστική κατανομή της μορφής

$$P(t = x) = k * e^{-\lambda * x}$$

όπου λ και k σταθερές που προκύπτουν από την εκάστοτε μοντελοποίηση και η μεταβλητή x προκύπτει από τον τύπο

$x = 2 * n - 1$, με το n να προκύπτει από τη σχέση

$n = \text{roundup}(\frac{t-t_0}{h})$, όπου t η χρονοαπόσταση (TTC) μεταξύ του ΥΕΟ και του έτερου ΧΔ, t_0 το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης και h το πλάτος της κλάσης που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση κατά περίπτωση, με στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο. Αντικαθιστώντας προκύπτει ο τύπος

$$P(TTC = t) = k * e^{-\lambda * (2 * \text{roundup}(\frac{t-t_0}{h}) - 1)}$$

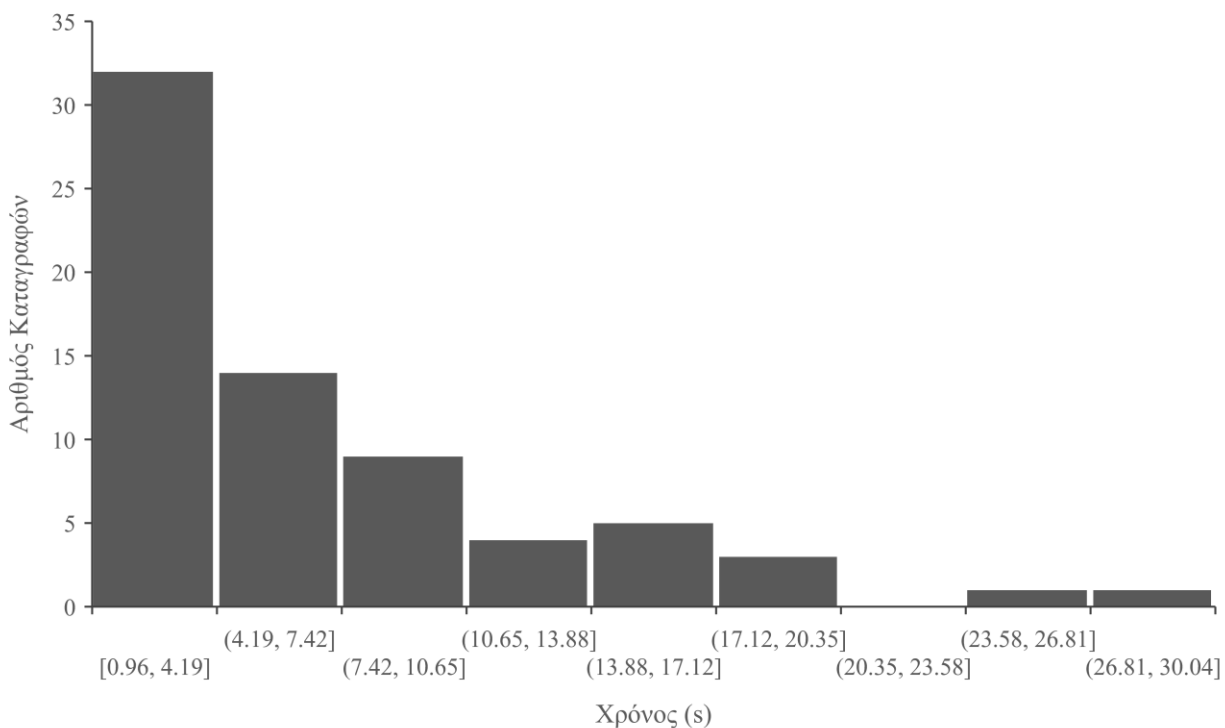
Οι συντελεστές k και λ καθώς και οι σταθερές t_0 και h κατά περίπτωση συνοψίζονται στον Πίνακα 19:

Πίνακας 19: Παράμετροι μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά χρόνο ανά τύπο οχήματος

Τύπος οχήματος	λ	k	t_0	h
I.X.	0.16747	0.45267	1.10	0.56222
Ταξί	0.24926	0.76286	0.80	0.92666
Μοτοσυκλέτα	0.16808	0.35930	0.53	0.63375
Μεγάλου Μεγέθους	-	-	-	-
Γενικός Τύπος	0.14306	0.44448	0.53	0.53

4.7. Μοντελοποίηση διάρκειας χρόνου αναμονής μη – απόφασης

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάλυση του χρόνου αναμονής των ΥΕΟ πριν από τη λήψη της απόφασης διάσχισης της διασταύρωσης. Για την ανάλυση αυτή λαμβάνουμε δεδομένα από 69 περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ΥΕΟ φθάνοντας στο σημείο της υπό εξέταση αριστερής στροφής δεν εκτελεί την στροφή. Στις περιπτώσεις αυτές οι ΥΕΟ αναμένουν τη διέλευση 2.65 οχημάτων κατά μέσο όρο ανά εξεταζόμενη περίπτωση, με μέσο χρόνο αναμονής τα 6.96 δευτερόλεπτα. Η κατανομή των χρόνων αναμονής παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 41:



Διάγραμμα 105: Ιστόγραμμα κατανομής χρόνων αναμονής μη - απόφασης διέλευσης

Από τη μορφή του ιστογράμματος μπορούμε να διακρίνουμε ότι οι χρόνοι αναμονής φαίνεται να ακολουθούν τη μορφή μιας φθίνουσας εκθετικής κατανομής. Για να επιβεβαιώσουμε τον παραπάνω ισχυρισμό, ακολουθούμε την εξής διαδικασία, σε αντιστοιχία με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προηγουμένως.

Αρχικά χωρίζουμε το σύνολο των καταγραφών σε κλάσεις με βάση το κριτήριο της τετραγωνικής ρίζας του πλήθους καταγραφών με στρογγυλοποίηση στον μεγαλύτερο ακέραιο.

$$\sqrt{69} = 8.30 \rightarrow 9 \text{ κλάσεις}$$

Έτσι προκύπτουν οι κλάσεις [0.96, 4.19] , (4.19, 7.42] , ... , (26.81, 30.04], κάθε μια πλάτους 3.23111 δευτερολέπτων. Βρίσκουμε τις μέσες τιμές της κάθε κλάσης, δηλαδή 2.5755, 5.8066 και ούτω καθεξής, αφαιρούμε το κάτω άκρο της μικρότερης κλάσης δηλαδή 0.96 δευτερόλεπτα και διαιρούμε την κάθε τιμή με την ελάχιστη τιμή, δηλαδή το 1.6155. Έτσι προκύπτει μια ακολουθία περιττών ακεραίων που θα αποτελέσει τη μεταβλητή x για το μοντέλο της φθίνουσας εκθετικής κατανομής που θα δοκιμάσουμε.

Με βάση το πλήθος των καταγραφών σε κάθε κλάση υπολογίζουμε το P_{measured} , δηλαδή τη σχετική συχνότητα εμφάνισης. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το P_{expected} κάθε κλάσης, δηλαδή την πιθανότητα που θα προέκυπτε από μια γνωστή φθίνουσα εκθετική κατανομή της μορφής:

$$P(t = x) = k * e^{-\lambda * x} + b$$

με γνωστούς συντελεστές έστω $k = \lambda = b = 1$

Για κάθε κλάση υπολογίζουμε την διαφορά μεταξύ P_{expected} και P_{measured} υψωμένη στο τετράγωνο, αθροίζουμε όλες τις διαφορές και έτσι προκύπτει το RSS. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση του Solver, θέτουμε ως στόχο την ελαχιστοποίηση του RSS χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές παραμέτρους το λ το k και το b . Έτσι προκύπτει:

$$k = 0.6402$$

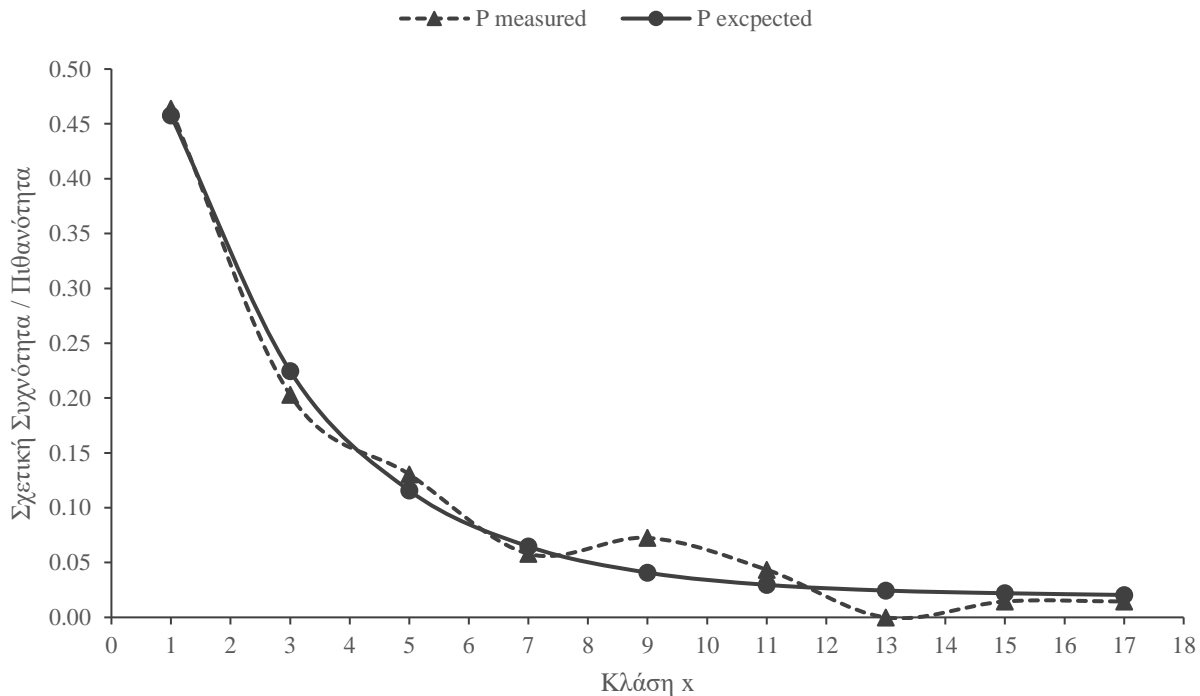
$$\lambda = 0.3799$$

$$b = 0.0198$$

Οι υπολογισμοί καθώς και τα γραφήματα των P_{expected} και P_{measured} για τις παραπάνω τιμές φαίνονται στον Πίνακα 20 και στο Διάγραμμα 42:

Πίνακας 20: Υπολογισμοί μοντελοποίησης μη – απόφασης διέλευσης κατά διάρκεια χρόνου αναμονής

Κλάσεις (s)	Μέσες Τιμές	Μέσες (- 0.96s)	x	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
[0.96, 4.19]	2.575555	1.615555	1	32	0.46376811	0.45770403	3.67731E-05
(4.19, 7.42]	5.806665	4.846665	3	14	0.20289855	0.22463941	0.000472665
(7.42, 10.65]	9.037775	8.077775	5	9	0.13043478	0.11563506	0.000219032
(10.65, 13.88]	12.268885	11.308885	7	4	0.05797101	0.06465371	4.46585E-05
(13.88, 17.12]	15.499995	14.539995	9	5	0.07246376	0.04080972	0.001001978
(17.12, 20.35]	18.731105	17.771105	11	3	0.04347826	0.02965789	0.000191003
(20.35, 23.58]	21.962215	21.002215	13	0	0	0.02444217	0.00059742
(23.58, 26.81]	25.193325	24.233325	15	1	0.01449275	0.02200278	5.64006E-05
(26.81, 30.04]	28.424435	27.464435	17	1	0.01449275	0.02045437	3.55409E-05
Άθροισμα				69			0.0026



Διάγραμμα 108: $P_{expected}$ και $P_{measured}$ μοντελοποίησης μη – απόφασης κατά διάρκεια χρόνου αναμονής

Βλέπουμε από το παραπάνω γράφημα ότι η καμπύλη της συχνότητας των καταγραφών προσεγγίζει αρκετά ικανοποιητικά τη γραμμή του μοντέλου της φθίνουσας εκθετικής κατανομής που υποθέσαμε, και το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από το $RSS = 0.0026$, τιμή ιδιαίτερα μικρή που καταδεικνύει πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ της πραγματικής καμπύλης και του μοντέλου που υποθέσαμε.

Έτσι, η πιθανότητα αναμονής, σε ένα σενάριο μη – απόφασης διέλευσης ενός οδηγού, για χρονική διάρκεια t εκφράζεται από φθίνουσα εκθετική κατανομή της μορφής:

$$P(x) = 0.6402 * e^{-0.3799*x} + 0.0198, \text{ όπου το } x \text{ υπολογίζεται από τη σχέση}$$

$$x = 2 * n - 1, \text{ με το } n \text{ να προκύπτει από τη σχέση}$$

$$n = \text{roundup}\left(\frac{t-0.96}{3.23111}\right), \text{ όπου } t \text{ ο χρόνος αναμονής και το } n \text{ να στρογγυλοποιείται στον μεγαλύτερο ακέραιο}$$

Οπότε τελικά με αντικατάσταση καταλήγουμε στον τύπο

$$P(t) = 0.9361 * e^{-0.3799*\text{roundup}\left(\frac{t-0.96}{3.23111}\right)} + 0.0198$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να αποτελέσει ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο, καθώς με τη λήψη μιας εύκολα καταγράψιμης ποσοτικής μετρικής που είναι ο χρόνος αναμονής ενός οδηγού κατά την παρακολούθησή του από κάποιο σύστημα αισθητήρων/καταγραφής, μπορεί να προκύψει η πιθανότητα μη απόφασης εκτέλεσης μιας στροφή και ως εκ τούτου η συμπληρωματική της πιθανότητα λήψης της απόφασης εκτέλεσης της στροφής που θα οδηγήσει σε αλληλεπίδραση με το σύστημα το οποίο εξετάζουμε.

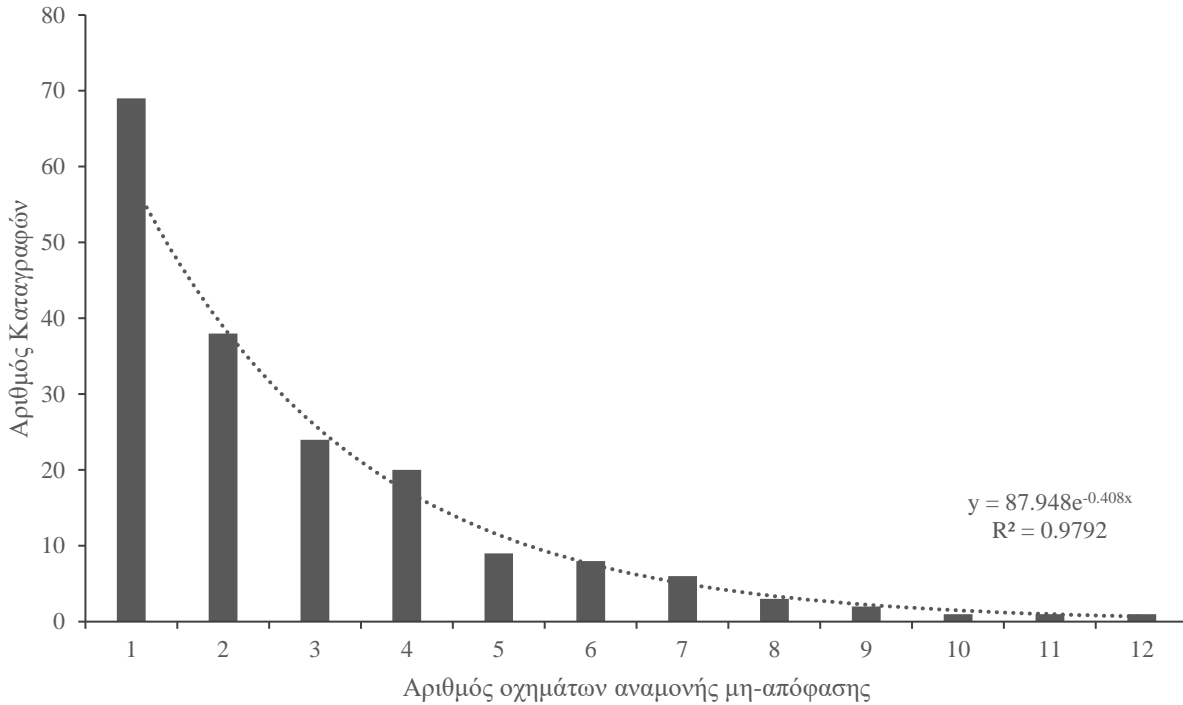
4.8. Επιπρόσθετες παρατηρήσεις μη – απόφασης

4.8.1. Μοντελοποίηση αριθμού οχημάτων αναμονής

Σε αντιστοιχία με την διάρκεια του χρόνου αναμονής ανά ΥΕΟ, έχει ενδιαφέρον να μελετήσουμε τον αριθμό των οχημάτων που διέρχονται σε κάθε μη – απόφαση διέλευσης που εξετάζουμε.

Από το σύνολο των 132 καταγραφών αριστερών στροφών, στις 69 από αυτές, δηλαδή στο 52% των περιπτώσεων, έχουμε μη – απόφαση διέλευσης και ο ΥΕΟ αναμένει τη διέλευση τουλάχιστον ενός ΧΔ κατά τη διάρκεια της αναμονής του. Στο υπόλοιπο 48% των περιπτώσεων παρατηρείται άμεση λήψη απόφασης διέλευσης χωρίς ο ΥΕΟ να αναμένει τη διέλευση ΧΔ από το αντίθετο ρεύμα κίνησης.

Για τις 69 αυτές περιπτώσεις μη – απόφασης, η κατανομή του αριθμού των διερχόμενων οχημάτων τα οποία ο ΥΕΟ αναμένει μέχρι να λάβει την απόφαση διέλευσης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 43:



Διάγραμμα 111: Αριθμός οχημάτων αναμονής μη – απόφασης διέλευσης

Έτσι βλέπουμε ότι σε 69 περιπτώσεις ο ΥΕΟ ανέμενε τη διέλευση τουλάχιστον ενός οχήματος, σε 38 περιπτώσεις τη διέλευση τουλάχιστον δύο οχημάτων και ούτω καθεξής.

Τόσο από τη μορφή του γραφήματος όσο και από τη γραμμή τάσης είναι εμφανής μία έντονη συσχέτιση φθίνουσας εκθετικής μορφής του πλήθους καταγραφών με τον αριθμό των διερχόμενων οχημάτων κατά τη μη – απόφαση.

Για να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο η παρατήρηση αυτή, είναι σκόπιμη η εξαγωγή μια συνάρτησης της κατανομής του πλήθους αυτού. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε τη σχετική συχνότητα εμφάνισης του κάθε αριθμού διερχόμενων οχημάτων κατά τη μη – λήψη της απόφασης διέλευσης επί του συνόλου των 132 καταγραφών στροφών, και με την προαναφερθείσα μεθοδολογία για τη μοντελοποίηση της διάρκειας αναμονής θέλουμε να καταλήξουμε στη μορφή μιας φθίνουσας εκθετικής κατανομής της μορφής:

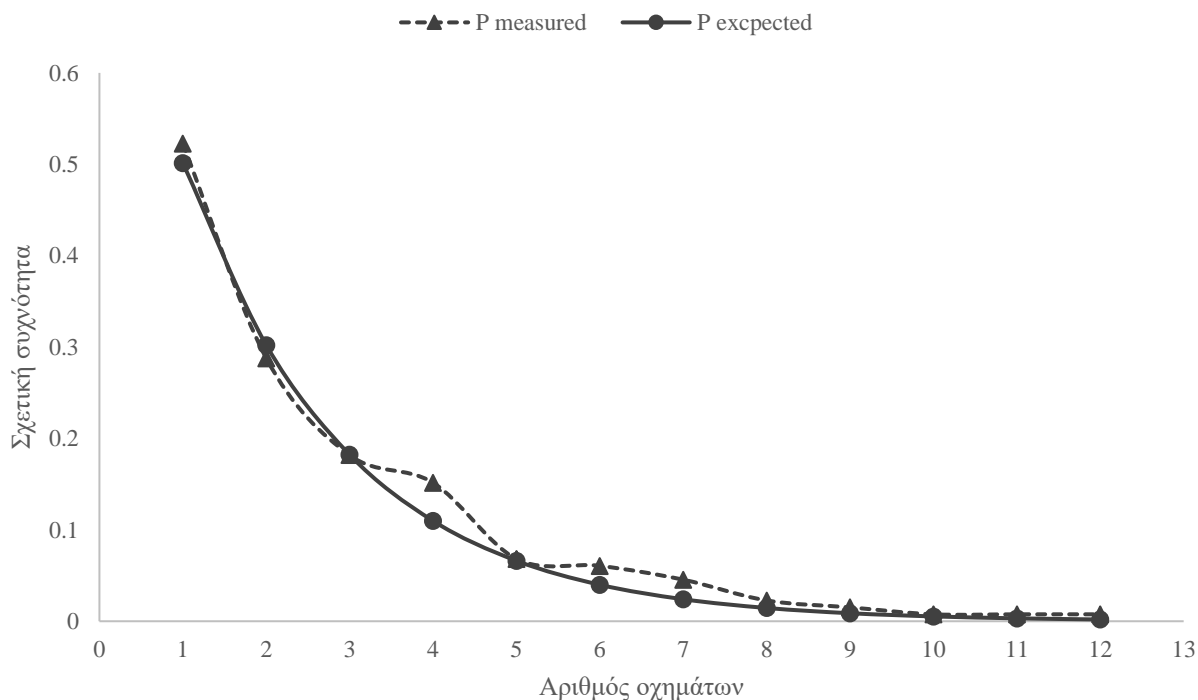
$$P(n = x) = k * e^{-\lambda * x} + b$$

όπου n ο αριθμός των οχημάτων αναμονής.

Όπως και πριν εκτελούμε τους υπολογισμούς για τα P_{expected} και P_{measured} και με χρήση του MS Solver καταλήγουμε ότι $k = 0.8319$ και $\lambda = 0.5062$. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 21 και το Διάγραμμα 44:

Πίνακας 21: Υπολογισμοί μοντελοποίησης αριθμού οχημάτων αναμονής μη – απόφασης

Αριθμός Οχημάτων	Πλήθος #	P measured	P expected	RSS
1	69	0.522727	0.501441	0.000453
2	38	0.287879	0.302244	0.000206
3	24	0.181818	0.182178	1.3E-07
4	20	0.151515	0.109808	0.001739
5	9	0.068182	0.066187	3.98E-06
6	8	0.060606	0.039894	0.000429
7	6	0.045455	0.024046	0.000458
8	3	0.022727	0.014494	6.78E-05
9	2	0.015152	0.008736	4.12E-05
10	1	0.007576	0.005266	5.34E-06
11	1	0.007576	0.003174	1.94E-05
12	1	0.007576	0.001913	3.21E-05
Σύνολο	132			0.003456



Διάγραμμα 114: P_{expected} και P_{measured} μοντελοποίησης αριθμού οχημάτων αναμονής

Έτσι λοιπόν καταλήγουμε ότι η πιθανότητα αναμονής n αριθμού οχημάτων κατά τη μη – απόφαση διέλευσης αντιστοιχεί σε μια φθίνουσα εκθετική κατανομή που εκφράζεται από τον τύπο:

$$P(n = x) = 0.8319 * e^{-0.5062*x}$$

Στις τιμές των παραμέτρων που καταλήγουμε βάσει του στόχου της ελαχιστοποίησης του RSS με χρήση του MS Solver, η παράμετρος b λαμβάνει ιδιαίτερα μικρή τιμή (0.009), ενώ η αφαίρεσή της δεν συνεπάγεται αξιοσημείωτη μεταβολή του RSS και για τον λόγο αυτό παραλείπεται από τον τελικό τύπο της μοντελοποίησης.

4.8.2. Ανάλυση 1^{ου} οχήματος

Καθώς μας ενδιαφέρει η λήψη της απόφασης, είναι θεμιτό να εξετάσουμε ξεχωριστά το πρώτο όχημα στην απόφαση μη διέλευσης, καθώς με αυτό έρχεται πρώτο αντιμέτωπος ο ΥΕΟ όταν καλείται να λάβει την απόφαση να εκτελέσει τη στροφή ή να αναμένει το διερχόμενο όχημα επιβραδύνοντας ή ακινητοποιώντας το δικό του.

Τα δεδομένα του πρώτου οχήματος που συναντούν οι οδηγοί κατά τη λήψη της θέσης για στροφή συνοψίζονται στον Πίνακα 22:

Πίνακας 22: Στοιχεία καταγραφών 1ου οχήματος μη - απόφασης διέλευσης

Τύπος οχήματος	Αριθμός καταγραφών	Μέση Απόσταση (m)	Μέσος Χρόνος (s)	Μέση Ταχύτητα (km/h)
I.X.	21	17.42	2.95	21.26
Μοτοσυκλέτα	16	17.21	1.96	31.61
Ταξί	24	14.92	2.78	19.32
Μεγάλου Μεγέθους	8	15.47	3.04	18.32
Σύνολο	69			

Οι μέσες αποστάσεις μη διέλευσης στην περίπτωση του 1^{ου} οχήματος είναι μεγαλύτερες σε κάθε τύπο οχήματος από τις μέσες αποστάσεις για το σύνολο των οχημάτων του κάθε τύπου, γεγονός που καταδεικνύει ότι κατά την λήψη απόφασης διέλευσης, ο ΥΕΟ είναι διστακτικότερος σε σχέση με τη λήψη της απόφασης διέλευσης ύστερα από κάποια αναμονή.

5. Ανακεφαλαίωση

5.1. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν, μέσω της διεξαγωγής πειράματος και της λήψης πρωτογενών στοιχείων, η μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ οδηγών σε αστικό περιβάλλον και η παραγωγή μοντέλων που τη διέπουν με σκοπό την εφαρμογή και υλοποίησή τους σε συστήματα αυτόνομων οχημάτων. Με γνώμονα αυτό, σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε πείραμα κατά το οποίο οδηγοί εκτέλεσαν μια προκαθορισμένη διαδρομή η οποία καταγράφηκε μέσω γυαλιών eye – tracking και στη συνέχεια μελετήθηκε και αναλύθηκε. Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την ανάλυση αυτή είναι τα εξής.

Το πρώτο αντικείμενο της μελέτης ήταν η απόφαση διέλευσης του ΥΕΟ. Εξετάζοντας τα αποτελέσματα με βάση το είδος κίνησης που εκτελεί ο έτερος ΧΔ έχουμε τις εξής παρατηρήσεις. Η επιταχυνόμενη κίνηση εμφανίστηκε σε πολύ λίγες καταγραφές και σε μεγάλες αποστάσεις, γεγονός που καταδεικνύει σπανιότητα λήψης της απόφασης του ΥΕΟ όταν ο ΧΔ εκτελεί αυτού του είδους την κίνηση. Η επιβραδυνόμενη κίνηση εμφανίστηκε σε περισσότερες καταγραφές και σε μικρομεσαίες αποστάσεις, ωστόσο και πάλι οι καταγραφές ήταν συγκριτικά περιορισμένες σε αριθμό. Το είδος κίνησης επιβραδυνόμενης μέχρι ακινητοποίησης εμφάνισε περισσότερες καταγραφές από τις προηγούμενες, και σε ακόμα μικρότερες αποστάσεις, ενώ συχνά εμφανίστηκε παραχώρηση προτεραιότητας από τον ΧΔ στον ΥΕΟ η οποία συνοδεύταν από κάποιο επιπρόσθετο σήμα. Επόμενες σε πλήθος καταγραφές ήταν αυτές του είδους κίνησης σταθερής ταχύτητας οι οποίες εμφάνισαν μεσαίες προς υψηλές αποστάσεις. Τις περισσότερες καταγραφές παρουσίασε η περίπτωση ακινητοποιημένου οχήματος με μεσαία προς μικρή μέση απόσταση καταγραφών.

Η συσχέτιση του πλήθους καταγραφών ανά είδος κίνησης με την μέση απόσταση στις οποίες αυτές καταγράφηκαν φαίνεται να καταδεικνύει με σαφήνεια ότι ο ΥΕΟ έχει μια έντονη τάση να λαμβάνει την απόφαση εκτέλεσης της στροφής όταν ο έτερος ΧΔ εκτελεί μια αντιληπτικά σαφή και εύκολα προβλεπόμενη κίνηση όπως η επιβραδυνόμενη μέχρι ακινητοποίησης ή η ακινητοποίηση του οχήματός του. Στις περιπτώσεις αυτές η συμπεριφορά του ΧΔ κρίνεται διαισθητικά σαφής και ο ΥΕΟ αισθάνεται ασφάλεια στην λήψη απόφασης εκτέλεσης της στροφής. Στις περιπτώσεις που η κίνηση του ΧΔ θεωρείται απρόβλεπτη, ασαφής ή επισφαλής τότε

παρατηρούμε αφενός αύξηση των μέσων αποστάσεων αυτού του είδους κίνησης, όπως η σταθερή ταχύτητα που παρουσιάζει τη μέγιστη μέση απόσταση, και αφετέρου σαφώς μειωμένες καταγραφές αυτού του τύπου, όπως η επιταχυνόμενη κίνηση, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

Χρήσιμα συμπεράσματα προκύπτουν και από την εξέταση της απόφασης διέλευσης με γνώμονα τον τύπο οχήματος του έτερου ΧΔ. Αφενός, από τα αποτελέσματα γίνεται γρήγορα αντιληπτό ότι ο τύπος οχήματος του ΧΔ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην λήψη της απόφασης. Τα ιδιαίτερα δυναμικά και κινηματικά χαρακτηριστικά του κάθε τύπου οχήματος δημιουργούν διαφορετικές προσδοκίες του ΥΕΟ κατά την αλληλεπίδρασή του με αυτά με αποτέλεσμα να τα αντιμετωπίζει με διαφορετικό τρόπο. Σημαντικά μεγαλύτερες μέσες αποστάσεις καταγραφών εμφανίζει ο τύπος οχήματος Μοτοσυκλέτα, ένδειξη ότι τα χαρακτηριστικά που τη συνοδεύουν (υψηλές ταχύτητες, σοβαρές συνέπειες για τον αναβάτη σε ενδεχόμενη σύγκρουση) έχουν σαν αποτέλεσμα ο ΥΕΟ να την αντιμετωπίζει με ιδιαίτερη επιφυλακτικότητα και προσοχή. Ακολουθεί ο τύπος Οχημάτων Μεγάλου Μεγέθους ο οποίος επίσης αντιμετωπίζεται με σύνεση από τον ΥΕΟ, και πάλι πιθανώς λόγω των ιδιόμορφων κινηματικών χαρακτηριστικών που τον διέπουν (περιορισμένη δυνατότητα πέδησης, μειωμένη ικανότητα ελιγμών, συνέπειες ενδεχόμενης σύγκρουσης για όλους τους συμμετέχοντες). Τη μικρότερη μέση απόσταση εμφανίζει ο τύπος οχήματος Ταξί, ενώ ο τύπος οχήματος Ι.Χ. εμφανίζει μια μέση απόσταση καταγραφών που εμπίπτει ανάμεσα στις υπόλοιπες, χωρίς κάποια σαφή ένδειξη ότι αντιμετώπισή του από τον ΥΕΟ διέπεται από κάποια ορισμένη τάση.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκύπτει από την εισαγωγή μιας επιπρόσθετης μεταβλητής, που δεν έχει μελετηθεί ενδελεχώς στο παρελθόν, κατά τη λήψη της απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ, και αυτή είναι ο τύπος οδηγού του έτερου ΧΔ. Ενώ θα περιμέναμε παρεμφερή αποτελέσματα για τύπους οχημάτων που εμφανίζουν σχεδόν ταυτόσημα κινηματικά χαρακτηριστικά, όπως οι τύποι Ι.Χ. και Ταξί, τα αποτελέσματα φαίνεται να υποδεικνύουν το αντίθετο. Παρόλο που τα Ταξί ως οχήματα στην πλειοψηφία τους είναι συμβατικού τύπου, δηλαδή όπως αυτά των ιδιωτών οδηγών, οι χειριστές τους δεν είναι οι ίδιοι. Η συμπεριφορά ενός επαγγελματία οδηγού Ταξί αποκλίνει από αυτή ενός συμβατικού οδηγού Ι.Χ. Ο ισχυρισμός αυτός επιβεβαιώνεται τόσο από το είδος κίνησης που εκτελούν, καθώς για τον τύπο Ταξί οι περισσότερες καταγραφές εμφανίζουν επιβράδυνση μέχρι ακινητοποίησης ή ακινητοποιημένο όχημα, όσο και από τις μέσες αποστάσεις οι οποίες είναι σαφώς μικρότερες για τον τύπο των Ταξί. Ταυτόχρονα μέσω των εξειδικευμένων παρατηρήσεων

διαφαίνεται μια έντονη τάση των οδηγών Ταξί να παραχωρούν προτεραιότητα, συχνά με χρήση κάποιου επιπρόσθετου σήματος προς τον ΥΕΟ. Ως εκ τούτου, καθίσταται σαφές πως ο τύπος οδηγού αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική μεταβλητή στην απόφαση διέλευσης, καθώς δημιουργεί διαφορετικές προσδοκίες στον ΥΕΟ για την αλληλεπίδρασή του με τον ΧΔ, μεταβάλλοντας κατά περίπτωση την συμπεριφορά του πρώτου.

Τα συμπεράσματα αυτά έρχεται να συμπληρώσει ο δεύτερος πυλώνας της ανάλυσης, δηλαδή η μελέτη της μη – απόφασης διέλευσης, όπου ο ΥΕΟ αποφασίζει να μην εκτελέσει τη στροφή κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασής του με έτερο ΧΔ. Από τις καταγραφές χρονοαπόστασης βλέπουμε πως υψηλότερα απορριπτέα όρια χρονοαποστάσεων εμφανίζει ο τύπος οχήματος Μοτοσυκλέτα, ακολουθεί το Ι.Χ., έπειτα το Ταξί και τέλος τα Οχήματα Μεγάλου Μεγέθους. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε πλήρη συμφωνία με την μελέτη της απόφασης διέλευσης, καθώς ο τύπος Μοτοσυκλέτα που εμφανίζει τα μέγιστα αποδεκτά όρια διέλευσης εδώ εμφανίζει και τα μέγιστα απορριπτέα όρια μη – απόφασης. Όπως είναι λογικό, για τους λόγους που ο ΥΕΟ εμφανίζεται διστακτικός απέναντι στον τύπο αυτό στην λήψη της απόφασης, φαίνεται να έχει την αντίστοιχη συμπεριφορά και στην περίπτωση μη – απόφασης. Αντίστοιχα για τον τύπο Οχημάτων Μεγάλου Μεγέθους, στην περίπτωση μη – απόφασης διέλευση, αυτά εμφανίζουν τις μικρότερες καταγραφές χρονοαπόστασης, καθώς ο ΥΕΟ δείχνει να είναι ιδιαίτερα επιφυλακτικός απέναντι στον τύπο αυτό, απορρίπτοντας κενά στην κυκλοφορία μικρότερης απόστασης ή χρόνου (TTC) από τύπους οχημάτων απέναντι στα οποία θα επέλεγε να εκτελέσει τη στροφή υπό το πρίσμα αντίστοιχων συνθηκών. Ο συνδυασμός μέγιστων απορριπτέων και ελάχιστων αποδεκτών ορίων, συγκρίνοντας την απόφαση και τη μη – απόφαση διέλευσης, φαίνεται να έρχεται σε πλήρη αντιστοιχία συγκρίνοντας μεταξύ τους τύπους οχημάτων, και ταυτόχρονα αποτελεί βασικό εργαλείο μελέτης των κανόνων που διέπουν την συμπεριφορά ενός οδηγού.

Έπειτα από τη λήψη και την επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων, καθίσταται δυνατή η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς ενός οδηγού σε συνθήκες διαφοράς προτεραιότητα, μελετώντας κάθε φορά τις εκάστοτε συνθήκες όπως ο τύπος οχήματος ή η μεταβλητή την οποία εξετάζουμε. Ξεκινώντας από την απόσταση του ΧΔ στη μη – απόφαση διέλευσης, παρατηρούμε ότι αυτή μπορεί να μοντελοποιηθεί σε μια στατιστική κατανομή Poisson. Έτσι, εισάγοντας στον αλγόριθμο την απόσταση στην οποία βρίσκεται ο ΧΔ τη χρονική στιγμή που εξετάζουμε, εξάγουμε την πιθανότητα για μη λήψη της απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ, ή διαφορετικά την

συμπληρωματική πιθανότητα ο ΥΕΟ να εκτελέσει τη στροφή υπό τις δεδομένες συνθήκες απόστασης μεταξύ των οχημάτων. Επέκταση του εργαλείου αποτελεί η μοντελοποίηση ανά τύπο οχήματος, και έτσι προκύπτει η πιθανότητα για μη – απόφαση διέλευσης για κάθε τύπο οχήματος του ΧΔ.

Εξίσου χρήσιμο εργαλείο αποτελεί η μοντελοποίηση της πιθανότητας μη – απόφασης διέλευσης του ΥΕΟ χρησιμοποιώντας σαν μεταβλητή το TTC, ευρέως χρησιμοποιούμενη μετρική σε αντίστοιχες μελέτες. Αυτή τη φορά χρησιμοποιούμε φθίνουσα εκθετική στατιστική κατανομή και έτσι προκύπτει η πιθανότητα ο ΥΕΟ να μη λάβει την απόφαση διέλευσης και αντίστοιχα η πιθανότητα να λάβει την απόφαση αυτή. Όπως και πριν η μοντελοποίηση επεκτείνεται χρησιμοποιώντας δεδομένα για κάθε τύπο οχήματος για να υπολογίσει με βάση το TTC την πιθανότητα ο ΥΕΟ να μην εκτελέσει τη στροφή, ανάλογα με τον τύπο οχήματος με τον οποίο διασταυρώνεται. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι η επιλογή της φθίνουσας εκθετικής κατανομής γίνεται υπό το πρίσμα της απόρριψης δεδομένων για χρόνους που βρίσκονται κάτω κάποιο κατά περίπτωση όριο, καθώς δεν είναι εφικτό να υπάρχουν TTC κάτω από κάποιο χρόνο, εφόσον αυτό θα παραβίαζε κανόνες αποστάσεων ασφαλείας σε ένα τυπικό περιβάλλον αστικής κυκλοφορίας. Ωστόσο επέκταση του μοντέλου για χρόνους μικρότερους από το όριο που τίθεται κατά περίπτωση μπορεί να δώσει σωστά αποτελέσματα υπολογισμού των πιθανοτήτων μη – διέλευσης. Η επιλογή μοντέλου φθίνουσας εκθετικής κατανομής θα μπορούσε να έχει χρησιμοποιηθεί και στη μοντελοποίηση κατά απόσταση, όμως η κατανομή Poisson παράγει αποδεκτά αποτελέσματα για το εύρος και τις περιπτώσεις αποστάσεων που αφενός μας ενδιαφέρουν και αφετέρου έχουν νόημα επιστημονικής εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες. Ταυτόχρονα, οι μικρότερες πιθανότητες μη – απόφασης διέλευσης που προκύπτουν από την κατανομή Poisson στην μοντελοποίηση κατά απόσταση για τις μικρότερες αποστάσεις που καταγράφονται, σε σύγκριση με τις λίγο μεγαλύτερες, έχουν νόημα, καθώς ενώ μικρότερα από κάποιο όριο TTC δεν είναι εφικτά με βάση τους κανόνες ασφαλείας και τις συνθήκες κίνησης, μικρότερες από τη μέγιστη πιθανότητα απόρριψης αποστάσεις είναι εφικτές, καθώς η μεταβλητή της απόστασης δεν εμπεριέχει την έννοια της κίνησης και της ταχύτητας. Ως εκ τούτου θα μπορούσε για παράδειγμα σε ένα σενάριο μικρότερη απόσταση μεταξύ του ΥΕΟ και του ΧΔ να εμφανίζει μικρότερη πιθανότητα μη – διέλευσης (και άρα μεγαλύτερη πιθανότητα διέλευσης) εάν ο ΧΔ στην περίπτωση αυτή είναι ακινητοποιημένος, ενώ σε μια λίγο μεγαλύτερη απόσταση ο ΧΔ

μπορεί να κινείται και έτσι να προκύπτει μεγαλύτερη πιθανότητα μη – απόφασης από την προηγούμενη.

Αντίστοιχα γίνεται στη συνέχεια μια μοντελοποίηση της πιθανότητας μη – απόφασης διέλευσης συναρτήσει του χρόνου αναμονής του ΥΕΟ. Όπως και πριν χρησιμοποιείται μοντέλο φθίνουσας εκθετικής κατανομής. Αυτό αποτελεί επίσης χρήσιμο εργαλείο, καθώς με τη λήψη μιας απλής μετρικής όπως η διάρκεια που ένας οδηγός έχει αναμείνει, μας δίνει μια εικόνα για την πιθανότητα να λάβει την απόφαση διέλευσης στην επόμενη εξεταζόμενη χρονική στιγμή. Σε πλήρη αντιστοιχία προκύπτει μια κατανομή χρησιμοποιώντας ως δεδομένο τον αριθμό των οχημάτων που έχουν παρέλθει κατά την αναμονή του ΥΕΟ, επίσης με φθίνουσα εκθετική κατανομή. Άλλωστε οι μεταβλητές του χρόνου αναμονής με τον αριθμό οχημάτων είναι αλληλένδετες.

Τέλος, εξετάζοντας τα δεδομένα που προκύπτουν από το πρώτο όχημα με το οποίο ο ΥΕΟ έρχεται αντιμέτωπος σε μια μη – απόφαση διέλευσης, παρατηρούμε ότι οι μέσες αποστάσεις μη διέλευσης στην περίπτωση του 1ου οχήματος είναι μεγαλύτερες σε κάθε τύπο οχήματος από τις μέσες αποστάσεις για το σύνολο των οχημάτων του κάθε τύπου, γεγονός που καταδεικνύει ότι κατά την λήψη απόφασης διέλευσης, ο ΥΕΟ είναι διστακτικότερος σε σχέση με τη λήψη της απόφασης διέλευσης ύστερα από κάποια αναμονή.

5.2. Επίλογος

Ανέκαθεν ο φόβος αποτελούσε τροχοπέδη της προόδου. Όταν μια νέα τεχνολογία κάνει την εμφάνισή της, συνήθως δεν χαίρει ευρείας αποδοχής αλλά αντιμετωπίζεται με επιφυλακτικότητα, σκεπτικισμό ή ακόμα και φόβο. Όμως η εξέλιξη δεν επηρεάζεται από την άποψή μας. Όταν μια καινούργια καινοτομία πλεονεκτεί σε σχέση με ότι προϋπάρχει, τότε συνήθως αυτή και θα επικρατήσει. Η εξάλειψη των συμβατικών οχημάτων με την εμφάνιση των αυτόνομων φαίνεται να αποτελεί μονόδρομο, όπως μονόδρομος ήταν η εξάλειψη της άμαξας με την εμφάνιση του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Στα χρόνια που θα ακολουθήσουν, η αρμονική συνύπαρξη συμβατικών και αυτόνομων οχημάτων στη μεταβατική περίοδο που θα χρειαστεί για την ομαλή εξάπλωση των τελευταίων, αποτελεί πρόκληση για την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Τα αυτόνομα οχήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να ερμηνεύουν με ακρίβεια τη συμπεριφορά των συμβατικών οδηγών και να επικοινωνούν με σαφήνεια την πρόθεσή τους σε αυτούς, και οι οδηγοί

συμβατικών οχημάτων με τη σειρά τους πρέπει να είναι σε θέση να κατανοούν διαισθητικά τη λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων και να αλληλεπιδρούν αποτελεσματικά και απρόσκοπτα με αυτά. Μελέτες σαν την παρούσα έρχονται να θέσουν τα θεμέλια για το σωστό σχεδιασμό της αλληλεπίδρασης αυτής με στόχο ένα αποτελεσματικό, αποδοτικό, μα πάνω από όλα ασφαλές περιβάλλον κίνησης οχημάτων. Εξάλλου, όταν μιλάμε για μια τεχνολογία ικανή να συνεισφέρει στον μαζικό περιορισμό της άδικης απώλειας ανθρωπίνων ζώων, εκπτώσεις και συμβιβασμοί δεν μπορούν να γίνουν.

6. Βιβλιογραφία

- Anderson, J. et al., 2016. *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*. Santa Monica, California: RAND Corporation.
- Arbogast, C., 2017. *Experiments show that a few self-driving cars can dramatically improve traffic flow*. [Online]
Available at: <https://grainger.illinois.edu/news/stories/29357>
- Ba, Y. et al., 2015. The effect of communicational signals on drivers' subjective appraisal and visual attention during interactive driving scenarios. *Behaviour and Information Technology*, pp. 1107-1118.
- Björklund, G. M. & Åberg, L., 2005. Driver behaviour in intersections: Formal and informal traffic rules. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, pp. 239-253.
- CDC, 2020. *Road Traffic Injuries and Deaths—A Global Problem*. [Online]
Available at: <https://www.cdc.gov/injury/features/global-road-safety/index.html>
- Hendricks, D. L., 2001. *The relative frequency of unsafe driving acts in serious traffic crashes: final report*, s.l.: U.S. Department of Transportation - National Highway Traffic Safety Administration.
- IDC, 2020. *A New IDC Forecast Shows How Vehicles Will Gradually Incorporate the Technologies that Lead to Autonomy*. [Online]
Available at: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46887020>
- KPMG, 2015. *Connected and Autonomous Vehicles – The UK Economic Opportunity*, s.l.: s.n.
- Kulmala, R., 1991. *Driver behaviour at urban junctions with the right-hand rule*. s.l., University of Lund, Department of Traffic Planning and Engineering, Sweden, pp. 137-147.
- NHTSA, 2020. *Automated Vehicles for Safety*. [Online]
Available at: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles>
- Ohio, U., 2020. *The Future of Driving in the United States*. [Online]
Available at: <https://onlinemasters.ohio.edu/blog/the-future-of-driving/>
- Risto, M. et al., 2017. *Human-Vehicle Interfaces: The Power of Vehicle Movement Gestures in Human Road User Coordination*. Manchester Village, Vermont. Iowa, Public Policy Center, University of Iowa, pp. 186-192.
- Sundquist, E., 2016. *Automated vehicles will bring big highway capacity increases*. [Online]
Available at: <https://ssti.us/2016/12/12/automated-vehicles-will-bring-big-highway-capacity-increases-2/>
- Tanackov, I. et al., 2018. Safety time in critical gap of left turn manoeuvre from priority approach at TWSC unsignalized intersections. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, pp. 1196-1211.