

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΟΜΒΟΪ
ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΔΕΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

υπό

ΓΕΩΡΓΙΑΝΑ ΤΣΙΑΝΟΥ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2020

© 2020 Γεωργιάνα Τσιάνου

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Ευτυχία Ναθαναήλ
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής (Συν-επιβλέπων) Δρ. Ιωάννης Αδάμος
Διδάσκων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Μανέτος
ΕΔΙΠ, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και
Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Κυκλοφορίας, Μεταφορών και Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (ΠΘ) με επιβλέποντες καθηγητές την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ευτυχία Ναθαναήλ και τον Δρα. Ιωάννη Αδάμο, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγησή τους.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρα. Ιωάννη Αδάμο για την άριστη συνεργασία, τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου παρείχε κατά τη διεξαγωγή της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρα. Παναγιώτη Μανέτο, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε με τους χάρτες και το λογισμικό ArcGIS.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΠΘ, κο. Ιωάννη Καρακικέ για τη βοήθεια και τις πολύ λεπτομερείς και κατανοητές οδηγίες που μου παρείχε για την κατανόηση του λογισμικού προσομοίωσης PTV VISSIM, όπως και για τις συμβουλές του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την απόφοιτη του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΠΘ, κα. Παναγιώτα Μαυρογενίδου, για την παροχή του υποβάθρου του βαθμονομημένου κυκλοφοριακού μοντέλου μικροσκοπικής προσομοίωσης στην περιοχή μελέτης.

Εκτός Ακαδημίας, η εταιρεία ταχυμεταφορών ELTA Courier συνέβαλε καθοριστικά στο ερευνητικό έργο, χορηγώντας δεδομένα για τη διαμόρφωση των σεναρίων της

διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο. Ανδρέα Παπασταύρου και τους συνεργάτες του για την επικοινωνία και τις πληροφορίες που μου παρείχε.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια της φοίτησής μου και ιδιαίτερα την αδερφή μου Μαριάννα Τσιάνου για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου μετέδωσε.

Γεωργιάνα Τσιάνου

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΟΜΒΟΪ
ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΔΕΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Γεωργιάνα Τσιάνου

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2020

Περίληψη

Η συνεχής αστικοποίηση έχει οδηγήσει στη συγκέντρωση της πλειοψηφίας του πληθυσμού και των οικονομικών δραστηριοτήτων στις πόλεις. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις του αστικού περιβάλλοντος έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για μετακίνηση των ανθρώπων και μεταφορά των αγαθών που διαδραματίζει εξέχοντα ρόλο στην οικονομία και την καθημερινή ζωή. Συνεπώς, η ανάγκη για μεταφορά αγαθών με το μικρότερο δυνατό κόστος για το περιβάλλον και τον άνθρωπο καθιστά απαραίτητη τη μελέτη των αστικών εμπορευματικών μεταφορών. Ταυτόχρονα οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στην ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων θεωρούνται ως η επόμενη επανάσταση στον τομέα των μεταφορών με σκοπό τη μείωση των συνολικών επιπτώσεων στο αστικό περιβάλλον. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική προσομοίωση των διαδρομών των εμπορευματικών μεταφορών στο δίκτυο της Ανατολικής Θεσσαλονίκης. Πραγματικά δεδομένα παραδόσεων χορηγήθηκαν από γνωστή εταιρεία ταχυμεταφορών και χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο λογισμικό PTV VISSIM με σκοπό αρχικά την αξιολόγηση της τρέχουσας λειτουργίας των παραδόσεων στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον, αναπτύχθηκε εναλλακτικό σενάριο, στο οποίο τα συμβατικά οχήματα παράδοσης αντικαταστάθηκαν με συστήματα κομβοί αυτόνομων οχημάτων. Τέλος, έγινε αξιολόγηση και

σύγκριση των επιπτώσεων στην κυκλοφορία, την ασφάλεια και το περιβάλλον των δύο σεναρίων.

Λέξεις – κλειδιά: εφοδιαστική αλυσίδα, αστικές εμπορευματικές μεταφορές, κομβίαυτόνομων οχημάτων, μικροσκοπική προσομοίωση κυκλοφορίας, ασφάλεια, κυκλοφορία, περιβάλλον.

INVESTIGATING THE OPERATION OF AN AUTONOMOUS TRUCK PLATOONING SYSTEM IN THE EAST SIDE OF THESSALONIKI

Georgiana Tsianou

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2020

Abstract

Constant urbanization has led to the concentration of the majority of the population and the economic activities in the cities. The increasing demand of the urban environment has created the need for people to move and transport goods that play a prominent role in the economy and in everyday life. Therefore, the requirement to transport goods at the least possible cost to the environment and to humans makes it necessary to study advanced urban freight transport solutions. At the same time, recent technological evolution in the development of autonomous vehicles has been announced as the next revolution in the transport sector with a view to reducing the overall impact on the urban environment. In this thesis, a microscopic simulation of freight routes was carried out on the East Thessaloniki network. Actual delivery data were provided by a well-known courier company and were used as input data to the PTV VISSIM software for the purpose of initially evaluating the current delivery function in the study area. In addition, an alternative scenario was developed, in which conventional delivery vehicles were replaced by autonomous truck platooning systems. Finally, the traffic, safety and environmental impacts of the two scenarios were evaluated and cross-compared.

Keywords: city logistics, urban freight transport, autonomous truck platooning system, microscopic traffic simulation, safety, traffic, environment.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	15
1.1 Ερευνητική περιοχή	15
1.2 Κίνητρο - Στόχος	16
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	16
Κεφάλαιο 2 Μεθοδολογία.....	18
Κεφάλαιο 3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	20
3.1 Αστικές εμπορευματικές μεταφορές.....	20
3.2 Προβλήματα στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές.....	22
3.2.1 Αύξηση του ηλεκτρονικού εμπορίου	22
3.2.2 Παραδόσεις στο σπίτι.....	23
3.3 Αναδυόμενες τάσεις στις υπηρεσίες των αστικών εμπορευματικών μεταφορών	23
3.4 Η έννοια των city logistics.....	26
Κεφάλαιο 4 Χρήση αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές και τα	
logistics	28
4.1 Ιστορική αναδρομή	29
4.2 Επισκόπηση τεχνολογίας	34
4.3 Θεσμικό πλαίσιο	40
4.4 Αποδοχή χρηστών	46
4.5 Εφαρμογές – καλές πρακτικές	48
4.5.1 Αυτόνομα οχήματα σε logistics εσωτερικού χώρου	49
4.5.2 Αυτόνομα οχήματα σε logistics εξωτερικού χώρου.....	51
4.5.3 Αυτόνομα οχήματα σε εμπορευματικές μεταφορές μακρινών αποστάσεων.....	52
4.6 Παραδόσεις εμπορευμάτων στο τελευταίο μίλι.....	53
4.7 Συστήματα κομβία αυτόνομων οχημάτων	57
4.8 Αξιολόγηση χρήσης αυτόνομων οχημάτων στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές	68
Κεφάλαιο 5 Μελέτη περίπτωσης	70
5.1 Περιοχή μελέτης.....	70
5.2 Διάθεση, περιγραφή και επεξεργασία δεδομένων δεμάτων.....	70
5.3 Διάθεση, περιγραφή και επεξεργασία κυκλοφοριακών δεδομένων	76

Κεφάλαιο 6 Ανάπτυξη κυκλοφοριακού μοντέλου παράδοσης δεμάτων στην περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης	79
6.1 Διαμόρφωση βασικού σεναρίου κυκλοφοριακού μοντέλου	79
6.2 Αποτελέσματα βασικού σεναρίου	86
6.3 Διαμόρφωση εναλλακτικού σεναρίου.....	96
6.3.1 Προσέγγιση και παραδοχές.....	96
6.3.2 Ενσωμάτωση των χωρικών δικτύων στην ανάπτυξη του εναλλακτικού σεναρίου	104
6.4 Αποτελέσματα εναλλακτικού σεναρίου	105
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	122
Βιβλιογραφία.....	124

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4-1: Νομοθεσία για τις αποστάσεις ασφαλείας ανά χώρα (Πηγή: Τροποποιήθηκε από Tobar et al., 2019).....	66
Πίνακας 5-1: Στοιχεία παραδόσεων από το πρακτορείο της Ανάλυσης για το χρονικό διάστημα μελέτης.	73
Πίνακας 5-2: Στοιχεία παραδόσεων από το πρακτορείο της Καλαμαριάς για το χρονικό διάστημα μελέτης.	74
Πίνακας 5-3: Στοιχεία παραδόσεων από το πρακτορείο της Πυλαίας για το χρονικό διάστημα μελέτης.	75
Πίνακας 5-4: Σημεία συλλογής κυκλοφοριακών φόρτων (Μαυρογενίδου, 2019).....	77
Πίνακας 6-1: Κωδικοποίηση και παράμετροι των δρομολογίων των οχημάτων παράδοσης του βασικού σεναρίου (PTV Vissim).	84
Πίνακας 6-2: Εκπομπές CO, CO ₂ , NO _x , PM και VOC για το βασικό σενάριο (COPERT Street level).....	90
Πίνακας 6-3: Προδιαγραφές για τις εκπομπές αέριων ρύπων των πετρελαιοκίνητων Icn (Dieselnet, 2019).	91
Πίνακας 6-4: Συνολικές καθυστερήσεις στην κυκλοφορία λόγω των εμπορευματικών οχημάτων των ELTA Courier στο βασικό σενάριο.....	92
Πίνακας 6-5: Συνολικά οχηματοχιλιόμετρα (veh-km) που διανύουν τα εμπορευματικά οχήματα των ELTA Courier στο βασικό σενάριο.	93
Πίνακας 6-6: Αριθμός δρομολογίων μετ' επιστροφής για κάθε εμπορευματικό όχημα των ELTA Courier στο βασικό σενάριο.....	94

Πίνακας 6-7: Συγκεντρωτικός Πίνακας περιβαλλοντικών και κυκλοφοριακών δεικτών για το βασικό σενάριο.	95
Πίνακας 6-8: Φορτίο που εκτιμάται ότι θα μεταφέρει το κάθε κομβίο για το βασικό και το εναλλακτικό σενάριο.	100
Πίνακας 6-9: Νέα κατανομή ΤΚ στα τρία πρακτορεία.	111
Πίνακας 6-10: Καλύτερα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Ανάληψης.	116
Πίνακας 6-11: Καλύτερα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Καλαμαριάς.	118
Πίνακας 6-12: Καλύτερα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Πυλαίας.	120

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Μεθοδολογική προσέγγιση διπλωματικής εργασίας.	18
Σχήμα 4-1: Επίπεδα αυτοματοποίησης αυτόνομων οχημάτων (Windover et al., 2018).	36
Σχήμα 5-1: Πρακτορείο 1 (αριστερά), Πρακτορείο 2 (μέση), Πρακτορείο 3 (δεξιά) (Google maps).	71
Σχήμα 5-2: Χάρτης του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης (Μαυρογενίδου, 2019).	78
Σχήμα 6-1: Σχεδίαση πρακτορείου Ανάληψης (αριστερά), σχεδίαση στάσης στον ΤΚ 54642 (δεξιά) (PTV Vissim).	81
Σχήμα 6-2: Οχήματα της εταιρείας ELTA Courier: βαν (αριστερά), δίκυκλο (δεξιά) (Πηγή: https://www.elta-courier.gr/).	89
Σχήμα 6-3: Έξυπνη θυρίδα σε τερματικό σταθμό στην Πολωνία (Πηγή: http://portalvendingowy.pl/polska/Odbierz_przesylke_w_paczkomacie).	102
Σχήμα 6-4: Χάρτης της περιοχής μελέτης με βάση την πυκνότητα του πληθυσμού.	106

Σχήμα 6-5: Χάρτης περιοχών εξυπηρέτησης από τα πρακτορεία Ανάληψης και Πυλαίας... 107	107
Σχήμα 6-6: Χάρτης περιοχών εξυπηρέτησης από τα πρακτορεία Ανάληψης και Πυλαίας... 107	107
Σχήμα 6-7: Χάρτης απεικόνισης του τομέα επικάλυψης με TK: 55132 (συνδυασμός χρωμάτων) από τα πρακτορεία Ανάληψης και Καλαμαριάς. 108	108
Σχήμα 6-8: Χάρτης απεικόνισης του τομέα επικάλυψης με TK: 55134 (συνδυασμός χρωμάτων) από τα πρακτορεία Καλαμαριάς και Πυλαίας..... 109	109
Σχήμα 6-9: Συνολικός χάρτης απεικόνισης της υπάρχουσας κατάστασης. 110	110
Σχήμα 6-10: Βέλτιστη κατανομή των περιοχών ευθύνης (υπαρχόντων TK) στα τρία πρακτορεία..... 112	112
Σχήμα 6-11: Νέα κατανομή των TK με βάση τη βελτιστοποίηση p-median..... 113	113
Σχήμα 6-12: Απεικόνιση σημείων ενδιαφέροντος στην περιοχή μελέτης. 114	114
Σχήμα 6-13: Απεικόνιση πιθανών διαδρομών κομβόι αυτόνομων οχημάτων. 115	115
Σχήμα 6-14: Απεικόνιση των 5 καλύτερων σημείων ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Ανάληψης. 116	116
Σχήμα 6-15: Χάρτης απεικόνισης βέλτιστης διαδρομής από το πρακτορείο της Ανάληψης προς τα 5 επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος, κατά σειρά στάσεων. 117	117
Σχήμα 6-16: Απεικόνιση των 5 καλύτερων σημείων ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Καλαμαριάς. 118	118
Σχήμα 6-17: Χάρτης απεικόνισης βέλτιστης διαδρομής από το πρακτορείο της Καλαμαριάς προς τα 5 επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος, κατά σειρά στάσεων. 119	119
Σχήμα 6-18: Απεικόνιση των 5 καλύτερων σημείων ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Πυλαίας. 120	120

Σχήμα 6-19: Χάρτης απεικόνισης βέλτιστης διαδρομής από το πρακτορείο της Πυλαίας προς
τα 5 επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος, κατά σειρά στάσεων..... 121

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Στο 1^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με την περιοχή της έρευνας, το κίνητρο και τον στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και γίνεται σύντομη περιγραφή των βασικών ενοτήτων που ακολουθούν.

1.1 Ερευνητική περιοχή

Η μεταφορά ατόμων και αγαθών διαδραματίζει εξέχοντα ρόλο στην οικονομία και την καθημερινή ζωή. Η ευρεία εισαγωγή των μηχανοκίνητων οχημάτων από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα έχει αναμφισβήτητα προκαλέσει επανάσταση στον κλάδο των μεταφορών εκμηδενίζοντας τις αποστάσεις, επιτυγχάνοντας ομαλή συνδεσιμότητα μεγάλων αποστάσεων και επιτρέποντας τη διακίνηση μεγαλύτερων φορτίων, έχοντας τεράστιο αντίκτυπο σε πολλές πτυχές της κοινωνίας. Ειδικά στον ανεπτυγμένο κόσμο, τα αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται από πολλούς ανθρώπους σε καθημερινή βάση, για ιδιωτικούς και επαγγελματικούς σκοπούς, οι επιχειρήσεις βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση οχημάτων για τη λειτουργία τους και η συνδυασμένη επίδραση των μεταφορών και της κατασκευής αυτοκινήτων στην οικονομία είναι πολύ σημαντική.

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στην ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων θεωρούνται ως η επόμενη επανάσταση στον τομέα των μεταφορών. Η εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων δίνει την υπόσχεση της πλήρους καινοτομίας του τρόπου με τον οποίο αντιμετωπίζεται η κινητικότητα και η εφοδιαστική αλυσίδα (Van Meldert & De Boeck,

2016). Τα αυτόνομα οχήματα αναμένεται να φέρουν την επανάσταση στις δομές ιδιοκτησίας οχημάτων μέσω υπηρεσιών κατ' απαίτηση, να φέρουν νέες λύσεις για τη γεφύρωση των χιλιομέτρων και να επαναπροσδιορίσουν τον ρόλο της σύνδεσης και της ανάλυσης δεδομένων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Anderson, et al., 2014, DHL, 2014, Fagnant & Kockelman, 2013; Gao, et al., 2014; Sebestyen, et al., 2014; Silberg, 2013; Silberg & Wallace, 2012; Yeomans, 2014).

1.2 Κίνητρο - Στόχος

Στόχος της συγκεκριμένης έρευνας είναι η καταγραφή των επιπτώσεων στην ασφάλεια, την κυκλοφορία και το περιβάλλον από τη χρήση συμβατικών οχημάτων για παραδόσεις δεμάτων σε αστικές περιοχές και η σύγκρισή τους με τις αντίστοιχες επιπτώσεις που προκύπτουν από την αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων με συστήματα κομβίου αυτόνομων οχημάτων. Επιπλέον, στόχος είναι η διερεύνηση των συνθηκών για την εφαρμογή των νέων αυτών συστημάτων και η αξιολόγησή τους με σκοπό την εφαρμογή τους σε αστική περιοχή.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το παρόν Κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας. Στο 2^ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων για την ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης, τη διαμόρφωση των εναλλακτικών σεναρίων και την εκτίμηση των επιπτώσεων.

Στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε θέματα που άπτονται του περιεχομένου της εργασίας, όπως είναι οι αστικές εμπορευματικές μεταφορές, τα

προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι παραγωγοί, διανομείς και οι τελικοί αποδέκτες, όπως και τις αναδυόμενες τάσεις στην υπηρεσία των city logistics.

Το Κεφάλαιο 4 εστιάζει στα αυτόνομα οχήματα και συστήματα στις εμπορευματικές μεταφορές και τα logistics, ξεκινώντας από την κατάλληλη ιστορική αναδρομή και στη συνέχεια περιγράφεται η τεχνολογία που χρησιμοποιείται, το σχετικό θεσμικό και νομικό πλαίσιο σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, εφαρμογές αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο και τέλος εξετάζονται με λεπτομέρεια τα συστήματα κομβία αυτόνομων οχημάτων.

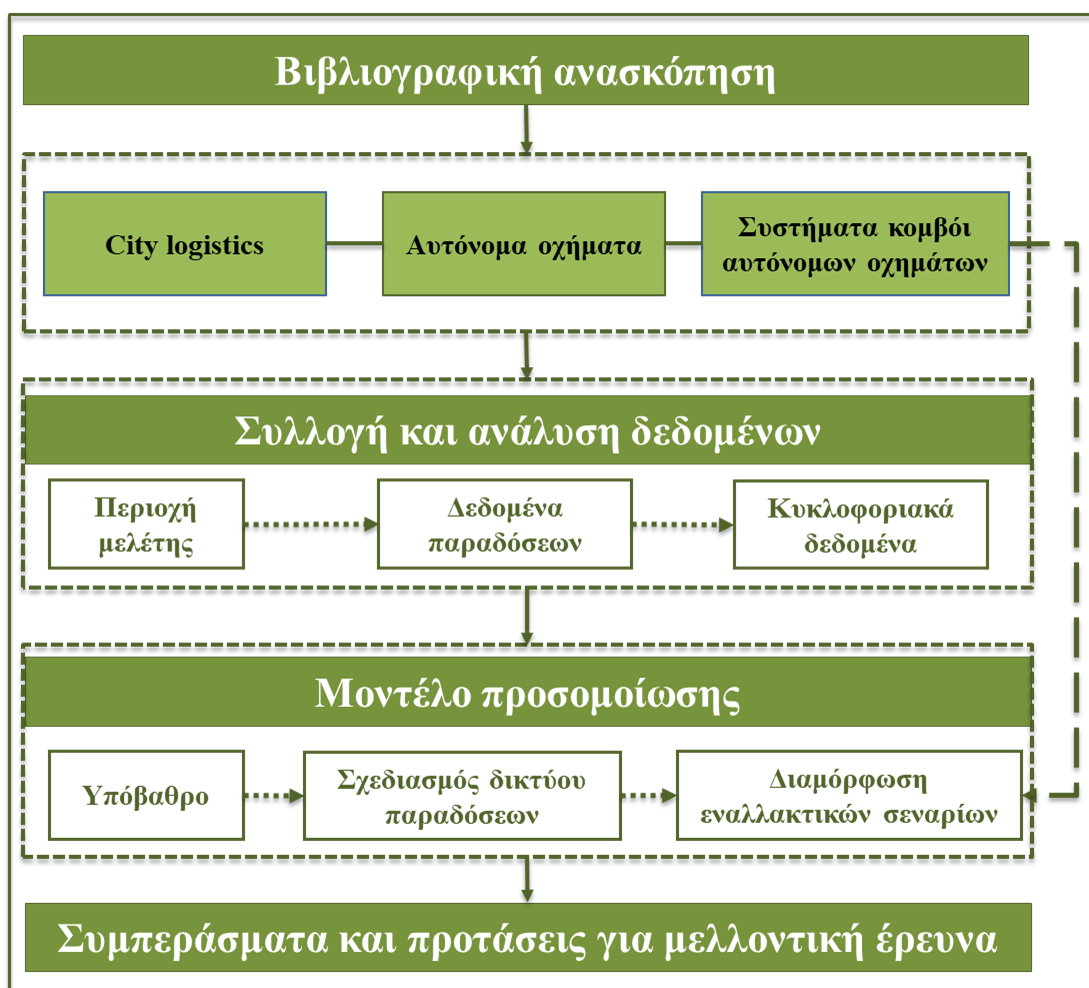
Στο 5^ο Κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε για την εργασία, αναλύονται τα δεδομένα παραδόσεων εμπορευμάτων που χορηγήθηκαν από την εταιρεία ταχυμεταφορών για τους σκοπούς της εργασίας, καθώς και τα κυκλοφοριακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του οδικού δικτύου του μοντέλου.

Στο 6^ο Κεφάλαιο διαμορφώνεται το μοντέλο παράδοσης εμπορευμάτων στην περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης, όπως προκύπτει από τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την εταιρεία. Επιπλέον, αναπτύσσεται εναλλακτικό σενάριο που περιλαμβάνει τη χρήση συστημάτων κομβία αυτόνομων οχημάτων για την παράδοση των δεμάτων. Για κάθε σενάριο, παρουσιάζονται τα σχετικά ευρήματα, συγκρίνονται τα αποτελέσματα και γίνεται προσπάθεια εκτίμησης των επιπτώσεων των δύο σεναρίων στην ασφάλεια, την κυκλοφορία και το περιβάλλον. Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά και συζήτηση των συμπερασμάτων που εξάγονται από τα αποτελέσματα της εργασίας και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Τέλος, ακολουθεί η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2 Μεθοδολογία

Στο παρόν Κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη διεκπεραίωσή της φαίνονται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί (Σχήμα 2-1).



Σχήμα 2-1: Μεθοδολογική προσέγγιση διπλωματικής εργασίας.

Για τη συγγραφή της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, έγινε αναζήτηση επιστημονικών άρθρων στις ηλεκτρονικές βάσεις Science Direct και Google Scholar, χρησιμοποιώντας τις εξής λέξεις-κλειδιά: «city logistics», «new trends in freight transport», «autonomous freight vehicles», «city logistics solutions», «home deliveries», «last mile goods' distribution», «truck platooning», «simulation of truck platooning system», «impact assessment», «traffic simulation», «safety of autonomous systems» και «environmental impacts».

Στη συνέχεια, αξιοποιώντας υφιστάμενο βαθμονομημένο κυκλοφοριακό μοντέλο μικροσκοπικής προσομοίωσης για την περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης, έγινε προσπάθεια εξεύρεσης διαθέσιμων στοιχείων για παραδόσεις δεμάτων στη συγκεκριμένη περιοχή. Μετά από επικοινωνία με σημαντικό αριθμό εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην Ανατολική Θεσσαλονίκη, η εταιρεία ELTA Courier, διευκόλυνε την παρούσα έρευνα με τη διάθεση δεδομένων που αφορούν στις διανομές τριών της πρακτορείων στην Ανάληψη, την Καλαμαριά και την Πυλαία. Με χρήση του λογισμικού PTV VISSIM, έγινε προσομοίωση της κυκλοφορίας του υφιστάμενου στόλου της εταιρείας και εκτιμήθηκαν ενδεικτικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κυκλοφορία.

Προκειμένου, να διερευνηθεί ο βαθμός που ένα σύστημα κομβία αυτόνομων οχημάτων θα μπορούσε να βελτιώσει τις παραδόσεις μιας εταιρείας ταχυμεταφορών, τόσο σε λειτουργικό επίπεδο, όσο και από την πλευρά των κυκλοφοριακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, διαμορφώθηκε εναλλακτικό σενάριο με τη βοήθεια χαρτών και αξιοποιώντας τις δυνατότητες βελτιστοποίησης διαδρομών του λογισμικού ArcGIS.

Κεφάλαιο 3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Το Κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, εστιάζοντας στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές, τα προβλήματα που εντοπίζονται στον συγκεκριμένο τομέα, όπως και τις αναδυόμενες τάσεις. Επίσης, περιγράφεται η έννοια των «city logistics» και τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

3.1 Αστικές εμπορευματικές μεταφορές

Η ανάγκη για μεταφορά αγαθών με τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση στο περιβάλλον και τον άνθρωπο, ενισχύει το ερευνητικό ενδιαφέρον και τη διερεύνηση της οργάνωσης και λειτουργίας των αστικών εμπορευματικών μεταφορών (Taniguchi & van der Heijden, 2000). Ως «αστική διακίνηση αγαθών» ορίζεται η μετακίνηση των αγαθών ή η παροχή υπηρεσιών που παράγονται και καταναλώνονται εντός του αστικού συστήματος, προς, από και μέσα στις αστικές περιοχές, όπως και διάμεσου αυτών (Ogden, 1992). Πέραν αυτού του ορισμού, οι Taniguchi & Tompson (2001) δίνουν τον εξής ορισμό για τις αστικές εμπορευματικές μεταφορές: *«τα μέσα και οι διαδικασίες, με τις οποίες μπορεί να λάβει χώρα μια διανομή εμπορευμάτων σε αστική περιοχή, καθώς και οι στρατηγικές που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος μεταφορών»* (Taniguchi & Tompson, 2001).

Το αρχικό ενδιαφέρον των ερευνητών για τη μελέτη των αστικών εμπορευματικών μεταφορών επικεντρώθηκε κυρίως στις περιβαλλοντικές και κοινωνικό-οικονομικές πτυχές με στόχο την έναρξη της συζήτησης για τη βιωσιμότητα των αστικών εμπορευματικών

μεταφορών. Όσον αφορά στο περιβαλλοντικό ζήτημα, αυτό που απασχόλησε τους επιστήμονες είναι η πολιτική περί «εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα» και επομένως οι αρνητικές επιπτώσεις των μεταφορών, όπως εντοπίστηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη μετά τη Σύνοδο Κορυφής του Ρίο (1992) και τη συμφωνία του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1994), η οποία στοχεύει στο να μειώσουν τα κράτη τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Πέρα από τη συζήτηση και τη χρηματοδότηση έργων σχετικά με «πράσινες μεταφορές» που απασχόλησαν την Ευρωπαϊκή Ένωση το διάστημα 2006-2010, οι στρατηγικές βιωσιμότητας για την εφοδιαστική αλυσίδα στις πόλεις αποτέλεσαν το επίκεντρο των συζητήσεων - δράσεων ανάμεσα στις οποίες είναι οι ζώνες χαμηλών εκπομπών (Low Emission Zones - LEZ), τα αστικά κέντρα ενοποίησης εμπορευμάτων (Urban Consolidation Centres - UCC) και οι συνεργασίες ποιότητας στις εμπορευματικές μεταφορές (Freight Quality Partnerships - FQP) (Allen and Browne, 2010). Αξίζει να σημειωθεί ότι η βιομηχανία αναγνωρίζει τις στρατηγικές αστικών εμπορευματικών μεταφορών (Allen et al., 2007; Zunder et al., 2014) και αυτό αποδείχθηκε ως εξής: σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το έργο «BESTUFS - Best Urban Freight Solutions», ένα χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα έργο (2000-2008), προωθήθηκε ως εργαλείο για τους επαγγελματίες του κλάδου των αστικών εμπορευματικών μεταφορών προκειμένου να διδαχθούν, να ανταλλάξουν ή να υιοθετήσουν βέλτιστες πρακτικές, με επίκεντρο τρεις κύριες στρατηγικές: πρόσβαση και φόρτωση εμπορευματικών οχημάτων σε αστικές περιοχές, λύσεις για το «τελευταίο μίλι» των διανομών («last mile solutions») και αστικά κέντρα ενοποίησης εμπορευμάτων.

Σύμφωνα με στατιστικές αναλύσεις σε ευρωπαϊκό επίπεδο, φαίνεται ότι αναμένεται αύξηση του πληθυσμού που διαμένει σε πόλεις, γεγονός το οποίο συνδυαστικά με αναδυόμενες τάσεις στον τομέα των μεταφορών, όπως είναι η παράδοση αγαθών στο σπίτι, το ηλεκτρονικό εμπόριο, αλλά και η γήρανση του πληθυσμού, οδηγούν σε αύξηση της

ζήτησης για αγαθά και υπηρεσίες, με συνέπεια την αύξηση των αναγκών για αστικές διανομές (Λευκή Βίβλος, 2011).

3.2 Προβλήματα στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές

3.2.1 Αύξηση του ηλεκτρονικού εμπορίου

Οι αγορές στο διαδίκτυο έχουν αυξηθεί σε αξιοσημείωτο βαθμό κατά την τελευταία δεκαετία. Οι δυνητικές επιπτώσεις του ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce) περιλαμβάνουν μεταβολές στον όγκο αγαθών που αγοράζονται (Comi and Nuzzolo, 2016; Mokhtarian, 2004). Κατ' επέκταση, αυξάνονται τα δρομολόγια σε περιοχές κατοικίας για τη διανομή των αγαθών, ενώ επηρεάζονται ταυτόχρονα οι μετακινήσεις των τελικών καταναλωτών και τροποποιούνται οι δομές της εφοδιαστικής αλυσίδας προκειμένου να συμπεριληφθεί αυτή η κατηγορία της ζήτησης και να αντιμετωπιστεί ο αυξημένος κατακερματισμός των παραδόσεων με σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών. Ο υψηλός ανταγωνισμός, η οικονομία που βασίζεται στον καταναλωτή, το ζήτημα των «αποτυχημένων» παραδόσεων και τα περιβαλλοντικά μέτρα που λαμβάνουν οι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής είναι παράγοντες που αυξάνουν το κόστος των παραγγελιών μέσω διαδικτύου. Το αποτέλεσμα είναι ότι το τελευταίο μίλι θεωρείται το μέρος της διανομής αγαθών με το υψηλότερο κόστος και έτσι έχει αποσπάσει το ενδιαφέρον των μελετητών στους τομείς των αστικών εμπορευματικών μεταφορών (Weltevreden & Rotem-Mindali, 2009). Τελικά, θεωρείται ότι η παράδοση κατά το τελευταίο μίλι είναι μια εξισορρόπηση μεταξύ του εσωτερικού κόστους, των εξωγενών παραγόντων και της πυκνότητας των παραδόσεων.

3.2.2 Παραδόσεις στο σπίτι

Η παράδοση στο σπίτι θεωρείται ζήτημα το οποίο έχει να κάνει με όλους τους εμπλεκόμενους παράγοντες σε αυτή τη σχέση, συμπεριλαμβανομένων των πελατών, των μεταφορέων και των λιανοπωλητών του διαδικτύου. Οι καταναλωτές, αφενός, αναφέρουν ζητήματα όπως η μη έγκαιρη παράδοση από τους μεταφορείς (εκτός του προσυμφωνημένου χρόνου), η παράδοση σε χρόνο που απουσιάζουν από την κατοικία τους ή η μη παράδοση. Επιπρόσθετα, συχνά αναφέρουν το υπερβολικά υψηλό κόστος παράδοσης ή τον πολύ μεγάλο χρόνο παράδοσης. Τέλος, ένας μεγάλος αριθμός πελατών αναγκάζεται να παραμείνει στο σπίτι για την παράδοση, ενώ οι μεταφορείς αναφέρουν το προσθετό κόστος της επαναλαμβανομένης παράδοσης, αλλά και της μη παράδοσης.

3.3 Αναδυόμενες τάσεις στις υπηρεσίες των αστικών εμπορευματικών μεταφορών

Οι πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις σχετίζονται με την έκρηξη των μεγάλων δεδομένων (Big Data), όπως και την επέκταση της αντίληψης του διαδικτύου (π.χ. Internet of Things - IoT). Χάρη στην ανάπτυξη και την ευρεία εφαρμογή των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transport Systems - ITS), μπορεί να γίνει εύκολα συλλογή μεγάλων δεδομένων σχετικά με τις μετακινήσεις φορητών για παραλαβή, παράδοση ή μεταφορά αγαθών στις αστικές περιοχές, με χαμηλότερο κόστος. Οι συσκευές πλοήγησης (π.χ. GPS), με τις οποίες είναι συνηθώς εξοπλισμένα τα φορητά, επιτρέπουν την ακριβή καταγραφή της θέσης των φορητών κάθε δευτερόλεπτο. Η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων των μετακινήσεων φορητών σε αστικές περιοχές επιτρέπει την απόκτηση γνώσεων σχετικά με τη συμπεριφορά

των οδηγών (Taniguchi et al., 2016). Με τις σύγχρονες εφαρμογές των ΤΠΕ είναι ευκολότερο να παρέχονται ακριβέστερες πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο παράδοσης, μια δυνατότητα την οποία φαίνεται πως οι μεταφορείς δεν εκμεταλλεύονται ακόμη σε ικανοποιητικό βαθμό (Visser et al., 2014). Η εφοδιαστική αλυσίδα (logistics) παρέχει ιδανικά περιβάλλοντα εργασίας για αυτόνομα οχήματα. Αυτόνομα οχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη εδώ και αρκετά χρόνια στα logistics, αλλά μέχρι στιγμής μόνο σε σαφώς καθορισμένα όρια ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος, όπως είναι τα λιμάνια, τα κέντρα διανομής και τα εργοστάσια παραγωγής. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις αποσκοπούν στη χρήση αυτόνομων οχημάτων όχι μόνο στις ελεγχόμενες τοποθεσίες, αλλά και στα αβέβαια περιβάλλοντα της καθημερινής κυκλοφορίας (Piekenbrock, 2014). Στο Κεφάλαιο 4, αναλύονται εκτενώς όλες οι προηγμένες τεχνολογίες που είναι απαραίτητες για να λειτουργήσουν τα νέα αυτά συστήματα, καθώς και διάφορες εφαρμογές τους στις εμπορευματικές μεταφορές και τα logistics.

Τα οχηματοχιλιόμετρα που πραγματοποιούνται από μέσα οδικών μεταφορών αντιπροσωπεύουν το 10-18% των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων που καλύπτονται εντός των αστικών περιοχών και σχεδόν το 40% των εκπομπών αερίων και του θορύβου αποδίδεται στους στόλους των αστικών διανομών (Korver et al., 2012). Στη Λευκή Βίβλο για τις μεταφορές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η *«επίτευξη του στόχου για αστικές εμπορευματικές μεταφορές χωρίς CO₂ έως το 2030»*, ορίζεται ως ο ενδιάμεσος στόχος προς την κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 60% (European Commission, 2011). Η ευρωπαϊκή πολιτική στον τομέα των εμπορευματικών μεταφορών στις πόλεις είναι να προωθήσει την ενσωμάτωση των σχετικών πολιτικών στον στρατηγικό πολεοδομικό σχεδιασμό και την περιφερειακή οικονομική πολιτική, να προωθήσει την ανάπτυξη επιχειρηματικών συνεργειών μεταξύ των βασικών ενδιαφερομένων, όπως και να

δημιουργήσει μηχανισμούς διαμοιρασμού πληροφοριών και ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα στα συνεργαζόμενα μέρη (Papoutsis & Nathanail, 2016).

Οι Russo και Comi (2012) στο πλαίσιο της βιώσιμης διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας στις πόλεις, τονίζουν την ανασκόπηση των μέτρων που πρέπει να εφαρμοστούν, με ισχυρές αναφορές στην εκ των υστέρων αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επίσης, οι συγκεκριμένοι συγγραφείς παρέχουν ένα εργαλείο για την υποστήριξη του ορισμού των σεναρίων εφοδιαστικής σε μια πόλη που θα πρέπει να αξιολογούνται εκ των προτέρων με τη βοήθεια μοντέλων προσομοίωσης. Η ανάλυση γίνεται σε σχέση με τους στόχους της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας που πρέπει να ακολουθηθούν και τα κύρια χαρακτηριστικά των πόλεων (π.χ. πληθυσμός). Ως παράδειγμα χρησιμοποιούνται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Σε άλλη περίπτωση, οι Schliwa et al. (2015) διερευνούν τη δυναμική των τρίκυκλων που εξυπηρετούν τη μεταφορά δεμάτων (cargo cycles), ώστε να καταστήσουν την εφοδιαστική της πόλης περισσότερο βιώσιμη και μελετούν τρόπους που θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν τη διάδοσή τους. Πρώτον, αναπτύσσεται μια τυπολογία της εφοδιαστικής των cargo cycles με βάση την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και συνεντεύξεις εμπειρογνομόνων προκειμένου να αποσαφηνιστούν οι ορισμοί και η ορολογία. Δεύτερον, οι συγγραφείς εντοπίζουν θέματα αντιλήψεων, έλλειψη ευαισθητοποίησης και κανονισμών ως μείζονες φραγμούς στην ευρύτερη εφαρμογή σε επίπεδο πόλεων με βάση κάποιες μελέτες περίπτωσης. Τρίτον, προτείνουν ένα βιώσιμο πλαίσιο υλικοτεχνικής υποστήριξης για την αστική διακυβέρνηση, τις εφοδιαστικές δραστηριότητες και τη μελλοντική έρευνα, προκειμένου να αξιοποιηθεί η προοπτική της χρήσης των cargo cycles για βιώσιμες αστικές εμπορευματικές μεταφορές. Η έρευνα υποστηρίζει ότι οι τοπικές αρχές έχουν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία συνθηκών που θα ενθαρρύνουν τις μεγάλες εταιρείες logistics, όπως η DHL, η Hermes και η TNT να ενσωματώσουν τα cargo cycles

στην εφοδιαστική αλυσίδα και, ως εκ τούτου, να οδηγήσουν σε μια μακροπρόθεσμη τροποποίηση της οργάνωσης των μεταφορών. Τα ευρήματα της εργασίας παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τους φορείς χάραξης πολιτικής, τους φορείς εκμετάλλευσης των αστικών μεταφορών, τα ερευνητικά ιδρύματα και τους πολίτες ως δυνητικούς πελάτες.

3.4 Η έννοια των city logistics

Ο Taniguchi (2001) ορίζει τα city logistics ως «τη διαδικασία για τη συνολική βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων logistics και των μεταφορών από ιδιωτικές εταιρείες με υποστήριξη προηγμένων συστημάτων πληροφοριών σε αστικές περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη το κυκλοφοριακό περιβάλλον, τη συμφόρησή του, την ασφάλεια και την εξοικονόμηση ενέργειας στο πλαίσιο μιας οικονομίας της αγοράς». Ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει τα εξής κοινωνικά ζητήματα: τα περιβαλλοντικά, αυτά της συμφόρησης και της εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και οικονομικά ζητήματα που σχετίζονται με τις αστικές εμπορευματικές μεταφορές. Η έννοια των city logistics εμπλέκει τους εξής παρακάτω ενδιαφερόμενους (Taniguchi, 2015; Papoutsis & Nathanail, 2016):

- *Εμποροι/αποστολείς (shippers)*, οι οποίοι στέλνουν τα εμπορεύματα σε άλλες εταιρείες ή ιδιώτες. Τείνουν να μεγιστοποιούν το επίπεδο εξυπηρέτησής τους όσον αφορά στο κόστος και την αξιοπιστία των μεταφορών.
- *Πάροχοι υπηρεσιών logistics (logistics providers)*, παραδίδουν τα εμπορεύματα στους τελικούς καταναλωτές. Προσπαθούν να αυξάνουν την αποτελεσματικότητα των διαδρομών παραλαβής και παράδοσης με στόχο την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού τους κόστους, να παρέχουν υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης με χαμηλό κόστος (τα φορτηγά οχήματα φορτώνονται ανεπαρκώς).

- *Πελάτες/τελικοί καταναλωτές (customers)*, είναι οι άνθρωποι που ζουν, εργάζονται και προμηθεύονται αγαθά στην πόλη. Υποφέρουν από οχλήσεις που προκύπτουν από τις αστικές μεταφορές εμπορευμάτων κοντά στην περιοχή της κατοικίας τους. Ωστόσο, επωφελούνται επίσης από μια αποτελεσματική και αξιόπιστη παράδοση.
- *Δημόσιες αρχές (public authorities)*, οι οποίοι προσπαθούν για την ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης της πόλης, για τη μείωση της συμφόρησης και των περιβαλλοντικών οχλήσεων, καθώς και για την αύξηση της ασφάλειας της οδικής κυκλοφορίας.

Ανάμεσα στις κυρίες κατηγορίες μέτρων city logistics που ξεκινούν από δημόσιες αρχές και φορείς χάραξης πολιτικής είναι η ανάπτυξη των υποδομών, τα κέντρα διανομής και ενοποίησης εμπορευμάτων, οι τερματικοί σταθμοί διατροφικών μεταφορών, ρυθμιστικά μέτρα, μέτρα διαχείρισης και μετριασμού της κυκλοφορίας και οι ζώνες χρήσεων γης. Ομοίως, οι ιδιωτικές εταιρείες εφαρμόζουν καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα, όπως συνεργατικές λειτουργίες, παραδόσεις εκτός ωρών αιχμής, χρήση εναλλακτικών τύπων καυσίμων στα φορτηγά, τεχνικές προγραμματισμού/δρομολόγησης οχημάτων, συστήματα διαχείρισης υλικών, κτλ. (OECD, 2007; Papoutsis & Nathanail, 2016).

Οι πιο πρόσφατες στρατηγικές για city logistics που συναντώνται στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία είναι οι εξής κατά τους Zunder et al., 2014: ζώνες χαμηλών εκπομπών, αστικά κέντρα ενοποίησης εμπορευμάτων, συνεργασίες δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, περιορισμοί σε βάρος/μέγεθος/χρόνο στην πρόσβαση των οχημάτων, παραδόσεις εκτός ωρών αιχμής και μείωση θορύβου από τη λειτουργία, χρήση θυρίδων διανομής εμπορευμάτων (city lockers) και σημείων παραλαβής, χρήση μη-οδικών μέσων (π.χ. τραμ), σχήματα δρομολόγησης φορτηγών, σχεδιασμός και χρήση περιβαλλοντικά φιλικών οχημάτων για τη μεταφορά εμπορευμάτων (πχ. ποδήλατο).

Κεφάλαιο 4 Χρήση αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές και τα logistics

Σκοπός του συγκεκριμένου Κεφαλαίου είναι να μελετηθεί σε βάθος ο όρος «αυτόνομα οχήματα» και πιο συγκεκριμένα η εισαγωγή τους στις εμπορευματικές μεταφορές και τα logistics. Αρχικά γίνεται ιστορική αναδρομή, στην οποία επεξηγούνται απαραίτητες για αυτό το Κεφάλαιο έννοιες και προκύπτουν τα αδύναμα και δυνατά σημεία της χρήσης αυτόνομων οχημάτων στις μεταφορές.

Στη συνέχεια, αναφέρονται τα στάδια αυτοματοποίησης των αυτόνομων οχημάτων, καθώς και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ομαλή λειτουργία τους. Σημαντική, επίσης, αναφορά γίνεται στο θεσμικό πλαίσιο και τη νομοθεσία για τη χρήση των αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές, καθώς και εάν η χρήση τους είναι αποδεκτή από τους χρήστες. Επιπρόσθετα, αναφέρονται ενδεικτικές υπάρχουσες εφαρμογές των αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές και τα logistics. Τέλος, το 4^ο Κεφάλαιο εστιάζει στην εφαρμογή των συστημάτων κομβία αυτόνομων οχημάτων στις μεταφορές και πιο συγκεκριμένα στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές που είναι και το κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.1 Ιστορική αναδρομή

Παρόλο που εξακολουθεί να είναι ασαφές για το αν οι επιχειρήσεις, οι κυβερνήσεις και οι καταναλωτές θα είναι έτοιμοι για παραγωγή και χρήση των αυτόνομων οχημάτων σε μεγάλη κλίμακα, οι περισσότεροι εμπειρογνώμονες και παρατηρητές της βιομηχανίας φαίνεται να συμφωνούν ότι η εισαγωγή κάποιων αυτόνομων οχημάτων στις καθημερινές λειτουργίες είναι πιθανό να συμβεί μέσα στην επόμενη δεκαετία. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις ώθησαν τους παραδοσιακούς κατασκευαστές αυτοκινήτων και τους νέους εμπλεκόμενους φορείς (stakeholders) (π.χ. Google) να αρχίσουν να δουλεύουν με το δικό τους αυτόματο όχημα, ενώ αρκετές κυβερνήσεις άρχισαν να προτείνουν σχετική νομοθεσία και να εκδίδουν τις απαιτούμενες άδειες, ώστε να δημιουργήσουν το βέλτιστο περιβάλλον για την ανάπτυξη αυτής της νέας τεχνολογίας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας αυτόνομων οχημάτων ενθάρρυνε τη σχετική βιβλιογραφία να αρχίσει να ασχολείται με ένα ευρύ φάσμα θεμάτων που αφορούν στα αυτόνομα οχήματα.

Παρά την αύξηση των δραστηριοτήτων και την πρόοδο που έχει επιτευχθεί, η ιδέα των αυτόνομων οχημάτων στην καθημερινή κυκλοφορία στο άμεσο μέλλον εξακολουθεί να αντιμετωπίζει μεγάλο σκεπτικισμό και άγνοια (Shanker et al., 2013). Ωστόσο, εάν τα αυτόνομα οχήματα θα είναι διαθέσιμα την επόμενη δεκαετία για ευρεία χρήση στις εμπορευματικές μεταφορές, είναι σημαντικό για τους επαγγελματίες logistics να προετοιμαστούν για την άφιξή τους, καθώς η ομαλή υιοθέτηση της τεχνολογίας θα μπορούσε να επιτρέψει την οικοδόμηση ενός ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Πράγματι, όπως αναγνωρίζεται από τη DHL στην έκθεσή της για την εξέλιξη των τεχνολογιών των αυτόνομων οχημάτων στα logistics (2014), η εφοδιαστική αλυσίδα παρέχει ιδανικές συνθήκες εργασίας για αυτόνομα οχήματα.

Η βιβλιογραφία σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα επικεντρώνεται στις τεχνικές πτυχές, τα πιθανά εμπόδια, τα οφέλη και το κόστος της εισαγωγής των αυτόνομων οχημάτων. Επιπλέον, το κύριο βάρος επικεντρώνεται στα επιβατικά αυτόνομα αυτοκίνητα, με αποτέλεσμα το σημαντικό τμήμα των οδικών μεταφορών που συνίσταται στη μεταφορά αγαθών να μην έχει διερευνηθεί όσο θα έπρεπε (Flämig, 2015). Ως εκ τούτου, ελάχιστη προσοχή έχει δοθεί μέχρι στιγμής στην εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα και στην αξιολόγηση των αντίστοιχων επιπτώσεων.

Παρά τις ελάχιστες έρευνες, υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους τα αυτόνομα συστήματα θα μπορούσαν να υιοθετηθούν νωρίτερα από τα logistics σε σχέση με τις επιβατικές μεταφορές (Ghaffary, 2014; Stromberg, 2014). Καταρχάς, όπως αναγνωρίζεται από την DHL (2014), η εφοδιαστική αλυσίδα παρέχει συχνά το ιδανικό περιβάλλον για τα αυτόνομα οχήματα/συστήματα. Η λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων σε ελεγχόμενες ρυθμίσεις όπως οι αποθήκες, τα εργοστάσια παραγωγής ή τα λιμάνια και οι απομακρυσμένες υπαίθριες τοποθεσίες είναι ευκολότερη συγκριτικά με το περίπλοκο περιβάλλον της αστικής κυκλοφορίας. Εκτός αυτού, σε αυτές τις ρυθμίσεις, η χρήση των αυτόνομων συστημάτων υπόκειται σε λιγότερους κανονισμούς ή/και νομικούς περιορισμούς. Με τη χρήση αυτόνομων συστημάτων σε αυτά τα περιβάλλοντα, οι ειδικοί της εφοδιαστικής αλυσίδας βρίσκονται σε γνώριμο έδαφος και μπορούν να αποκτήσουν εμπειρία με τη χρήση των αυτόνομων συστημάτων, επιτρέποντάς τους έτσι να υιοθετήσουν ταχύτερα την τεχνολογία στην καθημερινή κυκλοφορία συγκριτικά με τους καταναλωτές που δεν είναι εξοικειωμένοι με την τεχνολογία. Δεύτερον, υποστηρίζεται ότι το προαναφερθέν ζήτημα ευθύνης θα είναι λιγότερο αυστηρό, όταν μεταφέρονται αγαθά παρά άνθρωποι. Τρίτον, οι επιχειρήσεις είναι πιο πιθανό να στηρίξουν την απόφασή τους σε ένα δυνητικό πλεονέκτημα κόστους, ενώ οι καταναλωτές θα μπορούσαν να είναι πιο δεκτικοί σε θέματα εμπιστοσύνης και δεοντολογίας.

Επιπλέον, οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην εφοδιαστική αλυσίδα, από την εξόρυξη των πρώτων υλών και την ενδιάμεση μεταφορά για τις εργασίες στις αποθήκες, τα κέντρα διανομής και τις μονάδες παραγωγής, μέχρι τα συστήματα που γεφυρώνουν το τελευταίο χιλιόμετρο, μπορούν να επηρεαστούν από την υιοθέτηση των αυτόνομων οχημάτων για την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

Δεδομένου του σημαντικού αντίκτυπου που αναμένεται να υιοθετήσει η χρήση των αυτόνομων οχημάτων για τις βέλτιστες πρακτικές στον τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι σημαντικό να σημειωθεί ο χαμηλός αριθμός ερευνών/μελετών που σχετίζονται με τα αυτόνομα οχήματα που μπορούν να εξυπηρετήσουν την αποστολή, τον προγραμματισμό και τη δρομολόγηση οχημάτων αυτής της τεχνολογίας σε ασφαλή εσωτερικά και εξωτερικά περιβάλλοντα. Η περιορισμένη εμπειρία που υπάρχει στην ανάλυση και τη δοκιμή του δυνητικού αντίκτυπου και της καλύτερης χρήσης των αυτόνομων οχημάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα, πραγματοποιείται από επιχειρήσεις και αναλυτές και σε μεγάλο βαθμό δεν είναι διαθέσιμη στο κοινό.

Καθώς η ιδέα της αυτονομίας στις μεταφορές έγινε όλο και πιο ρεαλιστική με την πάροδο των χρόνων, πολλοί ερευνητές ξεκίνησαν να ασχολούνται με ένα ευρύ φάσμα θεμάτων που αφορούν στα αυτόνομα οχήματα. Οι περισσότεροι από αυτούς τους τομείς έρευνας δεν έχουν άμεση σχέση με την εφοδιαστική αλυσίδα, οπότε είναι σημαντικό να διερευνηθούν συμπληρωματικές λειτουργίες, όπως είναι για παράδειγμα, η υλικοτεχνική υποστήριξη.

Ως αυτόνομο όχημα ορίζεται το όχημα το οποίο χρησιμοποιεί αυτόματο εξοπλισμό για να αντικαταστήσει τον οδηγό (Zhao et al., 2017). Ένας άλλος ορισμός, αναφέρεται στα αυτόνομα οχήματα, ως αυτοκίνητα ή φορτηγά, στα οποία οι οδηγοί δεν χρειάζεται να αναλάβουν τον έλεγχο για την ασφαλή λειτουργία του οχήματος. Είναι επίσης γνωστά και με

τον όρο οχήματα χωρίς οδηγό και συνδυάζουν αισθητήρες και λογισμικό για τον έλεγχο, την πλοήγηση και την οδήγηση του οχήματος (Union of Concerned Scientists, 2017). Τα αυτόνομα οχήματα ταξινομούνται σε 6 επίπεδα αυτοματοποίησης: καθόλου αυτοματοποίηση έως πλήρης αυτοματοποίηση. Στόχος είναι να κυκλοφορούν οχήματα πλήρως αυτοματοποιημένα, στα οποία δεν θα απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση.

Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι η ενσωμάτωση των αυτόνομων οχημάτων στους δρόμους έχει πολλά πλεονεκτήματα. Αρχικά, ίσως και το πιο σημαντικό πλεονέκτημα των αυτόνομων οχημάτων είναι ότι αυξάνουν την ασφάλεια των οδηγών. Εφόσον ο ανθρώπινος παράγοντας εμπλέκεται όλο και λιγότερο όσο αυξάνεται το επίπεδο αυτοματοποίησης, υπάρχουν πλέον μικρότερες πιθανότητες για ανθρώπινο λάθος. Επίσης, το λειτουργικό σύστημα των αυτόνομων οχημάτων λαμβάνει πιο γρήγορες και καλύτερες αποφάσεις σε σχέση με τους ανθρώπους και έτσι ο χρόνος αντίδρασης είναι πολύ μικρότερος. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς μερικά δευτερόλεπτα μπορούν να κοστίσουν ανθρώπινες ζωές. Επιπλέον, γίνεται παρακολούθηση του περιβάλλοντος της οδήγησης με προηγμένα συστήματα, με σκοπό την αποφυγή οποιουδήποτε εμποδίου και την προσαρμογή στην κυκλοφορία και τις καιρικές συνθήκες με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα, σε σχέση με τον άνθρωπο. Ένα άλλο πλεονέκτημα που προσφέρει η χρήση αυτόνομων οχημάτων είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Επειδή οι χρόνοι αντίδρασης είναι πολύ μικρότεροι και η διαδικασία της πέδησης/επιτάχυνσης γίνεται αυτόματα, μειώνεται σημαντικά η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση λιγότερων καυσίμων και τη μείωση του κόστους του κινητήρα. Λόγω της μείωσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της κατανάλωσης καυσίμων, η χρήση των αυτόνομων οχημάτων έχει μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον. Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αέριων ρύπων και να έχουν θετική επίδραση στο

περιβάλλον. Τέλος, τα αυτόνομα οχήματα δίνουν τη δυνατότητα μετακίνησης σε ομάδες ανθρώπων που δυσκολεύονται ή αδυνατούν να οδηγήσουν, όπως είναι τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι, άνθρωποι με κινητικές δυσκολίες ή άνθρωποι υπό την επήρεια ουσιών (αλκοόλ, ναρκωτικά). Όσο αυξάνεται το επίπεδο της αυτοματοποίησης, τόσο ο οδηγός γίνεται επιβάτης και δεν χρειάζεται να επεμβαίνει στην οδήγηση του οχήματος. Τα αυτόνομα οχήματα όχι μόνο δίνουν την ευκαιρία στα ηλικιωμένα άτομα και στους ανθρώπους με κινητικές δυσκολίες να χρησιμοποιούν αυτοκίνητα, αλλά τους προσφέρουν και μεγαλύτερη άνεση λόγω της ομαλότερης επιτάχυνσης και του περιορισμού των κραδασμών (Alessandrini et al., 2015). Σημαντική είναι επίσης η άνεση που προσφέρει στους οδηγούς φορτηγών, οι οποίοι δεν θα απαιτείται να κάνουν στάσεις για να ξεκουράζονται, αλλά θα μπορούν να ταξιδεύουν συνεχώς και να ξεκουράζονται μέσα στο αυτόνομο φορτηγό, ενώ εκείνο θα συνεχίζει την πορεία του. Επομένως, πολλοί είναι οι φορείς που θα επωφεληθούν από την ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων, όπως οι κατασκευαστές, οι κυβερνήσεις και οι καταναλωτές. Οι κατασκευαστές επωφελούνται από την παραγωγή και πώληση οχημάτων. Για τις κυβερνήσεις, τα οφέλη είναι πολλαπλά, όπως για παράδειγμα η μείωση των ατυχημάτων, των εκπομπών αερίων ρύπων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Οι καταναλωτές θα μετακινούνται πιο άνετα, θα κερδίζουν χρόνο και θα χρησιμοποιούν πιο ασφαλή μέσα για τη μετακίνησή τους έχοντας ως αποτέλεσμα να ξοδεύουν λιγότερα χρήματα για τα ασφάλιστρα (Vellinga, 2017).

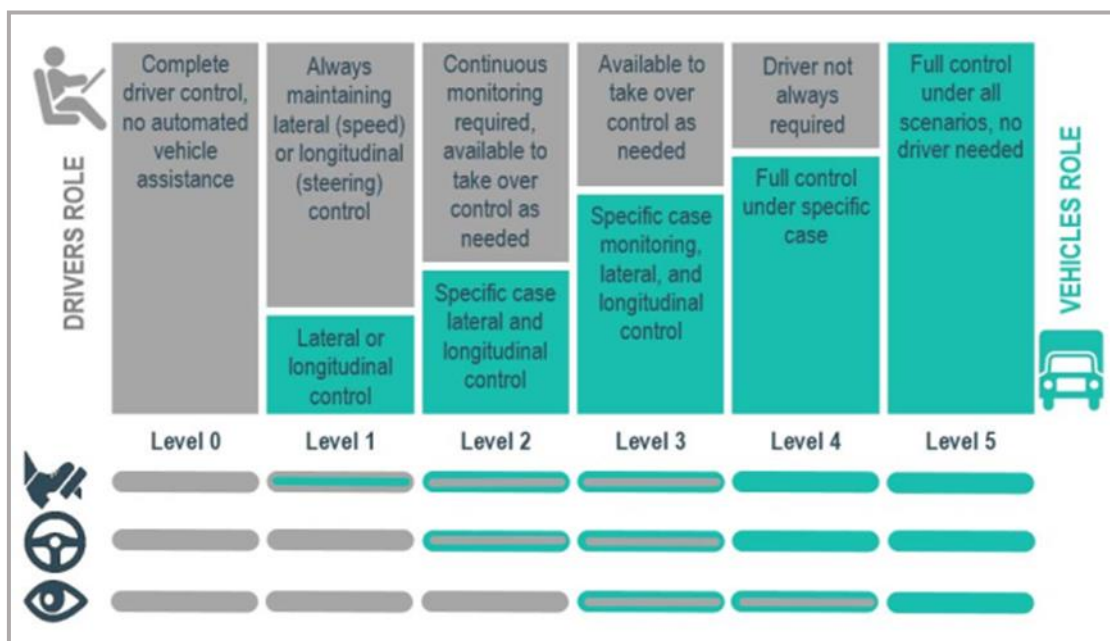
Συνοψίζοντας, οι θετικές επιδράσεις της χρήσης αυτόνομων οχημάτων είναι ποικίλες, υπάρχουν όμως και αδύναμα σημεία. Ένα από αυτά είναι οι αστοχίες του υλικού και του λογισμικού. Τα σύνθετα ηλεκτρονικά συστήματα είναι επιρρεπή σε αποτυχίες απόδοσης. Σε αντίθεση με τις αστοχίες σε άλλα μηχανήματα, η αστοχία ενός μικρού λειτουργικού συστήματος του οχήματος, όπως ένας μη λειτουργικός αισθητήρας, ένα ανακριβές σήμα ή

δυσλειτουργίες λογισμικού, μπορεί να οδηγήσει σε θανατηφόρα ατυχήματα (Adnan et al., 2018). Επίσης, υπάρχει ο κίνδυνος της «πειρατείας» (hacking) και της υποκλοπής δεδομένων. Οι τεχνολογίες των αυτόνομων οχημάτων είναι ευάλωτες στη χειραγώγηση από τα υφιστάμενα δίκτυα επικοινωνίας, στα οποία η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έγκλημα ή ακόμη και για διασκέδαση. Η «πειρατεία» μπορεί να προκαλέσει ατυχήματα και να στοιχίσει ανθρώπινες ζωές. Τέλος, η χρήση αυτόνομων οχημάτων δίνει μια υπέρμετρη πεποίθηση ασφάλειας τόσο στους επιβάτες των οχημάτων όσο και στους υπόλοιπους χρήστες του οδικού δικτύου, με αποτέλεσμα να συμπεριφέρονται περισσότερο ριψοκίνδυνα. Το γεγονός ότι η χρήση αυτόνομων οχημάτων παρέχει ασφάλεια και σιγουριά στους χρήστες, οδηγεί τους επιβάτες στο να παίρνουν περισσότερα ρίσκα και να αγνοούν βασικούς κανόνες ασφαλείας, όπως για παράδειγμα τη χρήση ζώνης ασφαλείας ή προστατευτικού κράνους, ενώ οι πεζοί μπορεί να είναι απρόσεκτοι, όταν διασχίζουν τον δρόμο.

4.2 Επισκόπηση τεχνολογίας

Η «Society of Automotive Engineers» γνωστή και ως SAE International έχει αναγνωρίσει 6 επίπεδα αυτοματοποίησης των οχημάτων: καθόλου αυτοματοποίηση έως πλήρης αυτοματοποίηση. Τα στάδια της αυτοματοποίησης έχουν καθοριστεί στην προδιαγραφή της SAE J3016. Με σκοπό την παροχή μιας κοινής ορολογίας, η προδιαγραφή J3016 (SAE International, 2014) παρέχει ένα σύστημα ταξινόμησης, το οποίο περιγράφει τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των διάφορων επιπέδων αυτοματοποίησης, συνάδει με την τρέχουσα πρακτική των βιομηχανιών, εξαλείφει τη σύγχυση και τέλος, ενημερώνει το ευρύ κοινό για το ρόλο των οδηγών σε περίπτωση κατά την οποία εμπλέκεται κάποιο σύστημα αυτοματοποίησης. Σύμφωνα με την παραπάνω προδιαγραφή, στο επίπεδο 0 δεν υπάρχει καμία αυτονομία στο όχημα και ο οδηγός ελέγχει όλες τις κινήσεις του οχήματος. Στο

επίπεδο 1 υπάρχει ένα προηγμένο σύστημα υποστήριξης του οδηγού (Advanced Driver-Assistance Systems ή ADAS) στο όχημα, το οποίο μπορεί κάποιες φορές να βοηθάει τον οδηγό είτε στην οδήγηση είτε στην πέδηση/επιτάχυνση, αλλά όχι και στα δύο ταυτόχρονα με την προσδοκία όμως ότι ο οδηγός εκτελεί όλες τις υπόλοιπες κινήσεις της οδήγησης. Προχωρώντας, στο επίπεδο 2 υπάρχουν ένα ή και περισσότερα συστήματα υποστήριξης (ADAS) στο όχημα που μπορούν να ελέγχουν ταυτόχρονα την οδήγηση και την πέδηση/επιτάχυνση υπό ορισμένες συνθήκες, χρησιμοποιώντας πληροφορίες για το περιβάλλον της οδήγησης, ενώ ο οδηγός συνεχίζει να παρακολουθεί το περιβάλλον της οδήγησης και να εκτελεί τις υπόλοιπες κινήσεις. Στο επίπεδο 3, ένα αυτόματο σύστημα οδήγησης (ADS) στο όχημα μπορεί να εκτελεί όλες τις κινήσεις της οδήγησης υπό ορισμένες συνθήκες. Σε αυτές τις συνθήκες ο οδηγός θα πρέπει να βρίσκεται σε ετοιμότητα να ανακτήσει τον έλεγχο του οχήματος ανά πάσα στιγμή, όταν ζητείται από το σύστημα. Σε όλες τις άλλες συνθήκες, ο οδηγός είναι εκείνος που εκτελεί τις κινήσεις. Συνεχίζοντας, στο επίπεδο 4, ένα αυτόματο σύστημα οδήγησης (ADS) στο όχημα εκτελεί όλες τις κινήσεις της οδήγησης και ταυτόχρονα επιβλέπει το περιβάλλον της οδήγησης. Στην ουσία, το σύστημα αναλαμβάνει την οδήγηση ακόμη και όταν ο οδηγός δεν καταφέρει να αντιδράσει κατάλληλα, ανεξάρτητα από το εάν το σύστημα του ζητήσει να παρέμβει. Τέλος, στο επίπεδο 5 ένα αυτόματο σύστημα οδήγησης μπορεί να εκτελεί όλες τις κινήσεις της οδήγησης υπό όλες τις συνθήκες, ενώ ο οδηγός είναι απλά επιβάτης και δεν χρειάζεται να εμπλακεί καθόλου στην οδήγηση. Τα επίπεδα 1 έως 3 θεωρούνται “ημιαυτόνομα” (semi-autonomous) λόγω του ότι και το αυτόματο σύστημα, αλλά και ο οδηγός συμβάλλουν στην οδήγηση του οχήματος, ενώ τα επίπεδα 4 και 5 θεωρούνται πλήρως αυτόνομα (Favarò et al., 2017). Στο Σχήμα 4-1, εμφανίζονται τα επίπεδα αυτοματοποίησης των αυτόνομων οχημάτων, όπως τα παρουσίασαν οι Windover et al. το 2018.



Σχήμα 4-1: Επίπεδα αυτοματοποίησης αυτόνομων οχημάτων (Windover et al., 2018).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ανάλογα με το επίπεδο αυτοματοποίησης, το όχημα περιλαμβάνει είτε συστήματα υποστήριξης του οδηγού (ADAS) είτε αυτόματα συστήματα οδήγησης (ADS). Στα συστήματα υποστήριξης περιλαμβάνονται τεχνολογίες, όπως για παράδειγμα το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών (anti-lock braking system) ή αλλιώς ABS, το οποίο λειτουργεί παρεμποδίζοντας τους τροχούς να ασφαρίζονται κατά τη διάρκεια της πέδησης, διατηρώντας έτσι την επαφή έλξης με την επιφάνεια του δρόμου. Ένα επίσης γνωστό σύστημα υποστήριξης είναι η αυτόματη νυχτερινή όραση (automotive night vision). Όπως αναφέρει η SAE International σκοπός των συστημάτων νυχτερινής όρασης είναι να παρέχουν στους οδηγούς κατά τη διάρκεια της νύχτας και των δυσμενών καιρικών συνθηκών οπτική πληροφορία πέρα από την εμβέλεια των προβολέων τους και πέρα από την αντανάκλαση του προβολέα ενός οχήματος που βρίσκεται όπισθεν. Έτσι, ο οδηγός έχει περισσότερο χρόνο για να αντιδράσει σε περίπτωση απροσδόκητων και επικίνδυνων καταστάσεων. Στα συστήματα υποστήριξης του οδηγού συγκαταλέγεται και το σύστημα

πλοήγησης του οχήματος. Σε αυτήν την περίπτωση, το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών και το παγκόσμιο σύστημα στιγματοθέτησης (Global Positioning System - GPS) είναι εξοπλισμένα για να λαμβάνουν πληροφορίες θέσης, όπως είναι το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος από τον δορυφόρο. Αυτές οι πληροφορίες, μαζί με τις πληροφορίες για τον δρόμο που δημιουργούνται από το σύστημα τοποθεσίας και τη βάση δεδομένων ψηφιακών χαρτών, χρησιμεύουν ως πηγή δεδομένων που εισάγονται στο μοντέλο της χαρτογράφησης, στο οποίο οι αλγόριθμοι προγραμματισμού έξυπνων διαδρομών (π.χ. αλγόριθμος Dijkstra, Bellman-Ford αλγόριθμος, κτλ.) χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν τον υπολογισμό του σχεδιασμού της πορείας ή του δρομολογίου. Μετά τον υπολογισμό, το αυτόνομο όχημα μπορεί να εντοπιστεί. Με τις πληροφορίες που σχετίζονται με την τοποθεσία και τον προορισμό του αυτόνομου οχήματος, η διαδρομή μπορεί επίσης να προγραμματιστεί και να υπολογιστεί από το μοντέλο προγραμματισμού διαδρομής (Zhao et al., 2017). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί και το σύστημα «adaptive cruise control» (ACC), το οποίο έχει την ικανότητα να ρυθμίζει αυτόματα την ταχύτητα του οχήματος για να διατηρεί μια ασφαλή απόσταση από τα οχήματα που βρίσκονται μπροστά. Σύμφωνα με τη SAE το όχημα που είναι εξοπλισμένο με το ACC ακολουθεί το όχημα που προηγείται σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, ελέγχοντας τον κινητήρα, το σύστημα κίνησης ή/και τα φρένα λειτουργίας. Τέτοια συστήματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιούν ραντάρ ή αισθητήρα laser ή κάμερα, επιτρέποντας στο όχημα να φρενάρει, όταν εντοπίσει ότι βρίσκεται πολύ κοντά στο μπροστινό όχημα και στη συνέχεια να επιταχύνει, όταν το επιτρέπει η κυκλοφορία.

Όσο αυξάνεται το επίπεδο αυτοματοποίησης τόσο περισσότερες προηγμένες είναι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο όχημα, όπως για παράδειγμα είναι αυτή της επικοινωνίας Vehicle-to-Vehicle (V2V Communication). Όπως αναφέρει η National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA, 2017), η V2V επικοινωνία επιτρέπει στα οχήματα να

ανταλλάσσουν ασύρματα πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα, την τοποθεσία και την πορεία. Η τεχνολογία πίσω από την επικοινωνία V2V επιτρέπει στα οχήματα να εκπέμπουν και να λαμβάνουν μηνύματα (έως και 10 φορές το δευτερόλεπτο), δημιουργώντας μια «ευαισθητοποίηση» 360 μοιρών σε σχέση με τα άλλα οχήματα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Τα οχήματα που είναι εφοδιασμένα με κατάλληλο λογισμικό (ή εφαρμογές ασφάλειας) μπορούν να χρησιμοποιούν τα μηνύματα από τα περιβάλλοντα οχήματα για να προσδιορίσουν πιθανές απειλές συντριβής, καθώς εμφανίζονται. Η τεχνολογία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιεί οπτικές, απτικές και ακουστικές ειδοποιήσεις ή έναν συνδυασμό αυτών για να προειδοποιεί τους οδηγούς. Αυτές οι ειδοποιήσεις δίνουν στους οδηγούς τη δυνατότητα να αναλαμβάνουν δράση για την αποφυγή συγκρούσεων. Αυτά τα μηνύματα επικοινωνίας V2V έχουν μια εμβέλεια πάνω από 300 μέτρα και μπορούν να ανιχνεύσουν δυσδιάκριτους κινδύνους λόγω της κυκλοφορίας, του εδάφους ή του καιρού. Η επικοινωνία V2V επεκτείνει και ενισχύει τα υπάρχοντα συστήματα αποφυγής συγκρούσεων που χρησιμοποιούν ραντάρ και κάμερες για την ανίχνευση απειλών σύγκρουσης. Αυτή η νέα τεχνολογία δεν βοηθά μόνο τους οδηγούς να επιβιώσουν τη συντριβή, αλλά τους βοηθά, επίσης, να αποφύγουν τη συντριβή.

Τα οχήματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν τεχνολογία επικοινωνίας V2V κυμαίνονται από αυτοκίνητα και φορτηγά έως λεωφορεία και μοτοσυκλέτες. Ακόμη και τα ποδήλατα και οι πεζοί μπορούν να αξιοποιήσουν μια τεχνολογία επικοινωνίας V2V για να βελτιώσουν την ορατότητά τους στους αυτοκινητιστές. Επιπλέον, οι πληροφορίες του οχήματος που κοινοποιούνται δεν αναγνωρίζουν τον οδηγό ή το όχημα και υπάρχουν τεχνικοί έλεγχοι που αποτρέπουν την παρακολούθηση του οχήματος και την παραβίαση του συστήματος.

Εκτός από την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων, υπάρχει και η επικοινωνία Vehicle-to-Infrastructure (V2I Communication), δηλαδή η ασύρματη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των οχημάτων και της οδικής υποδομής. Κατά την επικοινωνία αυτή, τα οχήματα ανταλλάσσουν δεδομένα ή συνδέονται με το διαδίκτυο μέσω σταθερών οδικών υποδομών που ονομάζονται Road Side Units (RSU), οι οποίες είναι ουσιαστικά σταθμοί βάσης εγκατεστημένοι σε διασταυρώσεις σε φανάρια ή σε άλλες τοποθεσίες, όπως για παράδειγμα σε στάσεις λεωφορείων και πρατήρια καυσίμων. Οι οδικές αυτές υποδομές επικοινωνούν με τα οχήματα για να λαμβάνουν και να μεταδίδουν πληροφορίες σχετικές με την κυκλοφορία, όπως για παράδειγμα τον υπολογισμό της κίνησης ή την προειδοποίηση για ατύχημα. Η επικοινωνία V2I είναι χρήσιμη για εφαρμογές οχημάτων, όπως είναι η προστασία και η ασφάλεια, η αποδοτική χρήση των δρόμων και των διασταυρώσεων, εφαρμογές ενημέρωσης και διασκέδασης, κτλ. (Ndashimye et al., 2017).

Για να μπορέσει λοιπόν ένα όχημα να λειτουργήσει ως αυτόνομο απαιτούνται τέσσερις ανεξάρτητες μεταξύ τους λειτουργίες. Οι λειτουργίες αυτές είναι η πλοήγηση (navigation), η ανάλυση της κατάστασης (situational analysis), ο προγραμματισμός της κίνησης (motion planning) και τέλος, ο έλεγχος της πορείας (trajectory control) (Ziegler et al., 2014). Πλοήγηση είναι ο σχεδιασμός της πορείας και επιτυγχάνεται με συστήματα, όπως είναι το GPS και με πιο προηγμένα συστήματα, όπως την επικοινωνία V2V που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η ανάλυση της κατάστασης παρακολουθεί το περιβάλλον, στο οποίο κινείται το όχημα μέσα από βιντεοκάμερες, επισημάνσεις και σημάδια στην υποδομή, ραντάρ και αισθητήρες έχοντας σκοπό να διασφαλίσει ότι το αυτόνομο σύστημα γνωρίζει όλες τις σχετικές κινήσεις των αντικειμένων και τις κινήσεις τους. Στη συνέχεια, ως προγραμματισμός της κίνησης εννοείται η καταγραφή των κινήσεων του οχήματος με τη χρήση αισθητήρων. Οι αισθητήρες είναι εκείνοι που αποφασίζουν την πορεία της κίνησης σε καθορισμένη χρονική

περίοδο και βεβαιώνεται ότι το όχημα παραμένει στη λωρίδα του και στη σωστή κατεύθυνση με σκοπό την αποφυγή σύγκρουσης με τα αντικείμενα που αναγνωρίστηκαν από την ανάλυση της κατάστασης. Τέλος, ο έλεγχος της πορείας είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση προσχεδιασμένων αλλαγών στην ταχύτητα και την κατεύθυνση, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τη σταθερότητα στην οδήγηση.

Επιπλέον, για να μπορέσουν οι τεχνολογίες αυτές να υποστηριχθούν είναι απαραίτητο η υποδομή να μετατραπεί από σχεδιασμένη για αναλογικά μηνύματα σε σχεδιασμένη για ψηφιακά μηνύματα, ώστε η τεχνολογία των αυτόνομων οχημάτων να μπορεί να ερμηνεύει το περιβάλλον και να ανταποκρίνεται γρήγορα δημιουργώντας πλεονασμό που αυξάνει την εμπιστοσύνη του οχήματος για λήψη κρίσιμων οδηγικών αποφάσεων.

4.3 Θεσμικό πλαίσιο

Με την εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων στα οδικά δίκτυα, έγινε προσπάθεια από πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και από πολλές πολιτείες της Αμερικής να δημιουργήσουν θεσμικά πλαίσια και νόμιμες συνθήκες για πλήρη αυτοματοποίηση με ορισμένες τροποποιήσεις των υφιστάμενων κανονισμών και ρυθμίσεων. Οι περισσότερες προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι τώρα αφορούν στην εισαγωγή ορισμών ή αποφάσεις που σχετίζονται με τη δοκιμή των οχημάτων σε δρόμους, λαμβάνοντας υπόψιν κυρίως δύο παραμέτρους: την ευθύνη ζημιάς ή ατυχήματος και την ιδιωτικότητα των δεδομένων. Η αυτονομία των οχημάτων αλλάζει τους κινδύνους στην οδήγηση και για αυτόν τον λόγο απαιτεί την αξιολόγηση όλων των κανονισμών και προδιαγραφών που σχετίζονται με την κυκλοφορία και το όχημα. Επομένως, τα ζητήματα που προκύπτουν με την εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων στους δρόμους και πρέπει να διευθετηθούν είναι η ανάληψη ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος, η δοκιμή των οχημάτων και η άδεια κυκλοφορίας τους, το

δίπλωμα οδήγησης του χρήστη και οι προδιαγραφές του ασφαλιστήριου συμβολαίου του οχήματος. Τέλος, σημαντικό ζήτημα που πρέπει να διευθετηθεί είναι η προστασία των δεδομένων από υποκλοπές καθώς, όπως έχει προαναφερθεί, μπορεί να στοιχίσουν ανθρώπινες ζωές (Demiridi et al., 2019).

Όσον αφορά στην ευθύνη της ζημιάς σε περίπτωση ατυχήματος, τρεις είναι οι παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν, ώστε να προσδιοριστεί ο υπεύθυνος για το ατύχημα: η ευθύνη του οδηγού, η ευθύνη του οχήματος και η ύπαρξη άλλων παραγόντων που είναι απρόβλεπτοι, όπως οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες ή η ύπαρξη κάποιου εμποδίου στο δρόμο. Όπως δείχνουν στατιστικές έρευνες, τα ατυχήματα οφείλονται κατά 94% σε λάθη του οδηγού (National Highway Traffic Safety Administration, 2016). Στην περίπτωση όμως που στο ατύχημα εμπλέκονται αυτόνομα οχήματα, τα πράγματα αλλάζουν ιδιαίτερα όταν το όχημα είναι πλήρως αυτόνομο και άρα δεν υπάρχει οδηγός στο τιμόνι. Η απόδοση ευθυνών γίνεται ακόμη πιο δύσκολη, όταν το όχημα είναι ημιαυτόνομο, περίπτωση κατά την οποία τόσο το αυτόνομο σύστημα, όσο και ο οδηγός συμβάλλουν στην οδήγηση.

Αναφορικά με τα δεδομένα και την προστασία τους, υπάρχουν πολλά θέματα που πρέπει να επιλυθούν πριν τη δημόσια κυκλοφορία των αυτόνομων οχημάτων που σχετίζονται με το είδος των δεδομένων που στέλνονται, το είδος των συστημάτων που τα λαμβάνει, τον καθορισμό του ατόμου ή της εταιρείας που συλλέγει τα δεδομένα, τον σκοπό της συλλογής των δεδομένων, την πιθανή χρήση των δεδομένων, όπως και τα συστήματα ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για την προστασία των προσωπικών αυτών δεδομένων (Demiridi et al., 2019).

Σε διεθνές επίπεδο, το Υπουργείο Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών μέσω του National Highway Traffic Safety Administration κάνει προσπάθειες να ενστερνιστεί τις νέες τεχνολογίες στην οδήγηση. Κάθε πολιτεία υπακούει στους κανόνες του Υπουργείου, αλλά

ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα να δρα από μόνη της. Από το 2011, 21 πολιτείες έχουν ψηφίσει υπέρ των τροποποιήσεων στις νομοθεσίες τους ή έχουν υιοθετήσει νέα νομοθεσία σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα. Παρακάτω αναφέρονται οι νομοθεσίες που ισχύουν για ορισμένες πολιτείες σε σχέση με τα αυτόνομα οχήματα έως και το έτος 2018 όπως αναφέρονται από τους Kim et al., 2014 και το NCSL (National Conference of State Legislatures), 2018:

- Οι πολιτείες Alabama, Illinois, Louisiana, North Dakota, Vermont, Pennsylvania και Virginia έχουν μόνο εισάγει ορισμούς σχετικούς με τα αυτόνομα οχήματα και κρίνουν ότι είναι αναγκαία μία νέα κατάλληλη νομοθεσία.
- Οι πολιτείες New York και Utah έχουν εισάγει στις νομοθεσίες τους ορισμούς και έχουν επιτρέψει τη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων για δοκιμές.
- Η πολιτεία του Arkansas μέσα από νομοθεσίες έχει επιτρέψει τη δοκιμή αυτόνομων οχημάτων, έχουν θέσει προϋποθέσεις για τη δοκιμή συστημάτων κομβίου αυτόνομων οχημάτων και επιτρέπουν τη λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων για δημόσια χρήση.
- Η πολιτεία της California με νομοθεσία ζήτησε από το Τμήμα Εθνικής Οδού της Καλιφόρνια (Department of the California Highway Patrol) να θέσει τις προϋποθέσεις για την ασφαλή λειτουργία αυτόνομων οχημάτων για δοκιμαστικούς σκοπούς, καθώς και για δοκιμή συστημάτων κομβίου. Επιπλέον, έχουν διευκρινιστεί ζητήματα ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος. Το ίδιο ισχύει και για την πολιτεία του Colorado εκτός από τις δοκιμές συστημάτων κομβίου.
- Η πολιτεία του Connecticut έχει επιτρέψει τις δοκιμές αυτόνομων οχημάτων και τη λειτουργία τους για δημόσια χρήση.

- Η πολιτεία της Georgia έχει επιτρέψει τη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων για δημόσια χρήση. Επίσης, έχει διευκρινίσει μέσα από νομοθεσίες ζητήματα ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος.
- Η πολιτεία της North Carolina έχει θέσει προϋποθέσεις για δοκιμές συστήματος κομβίοι και επέτρεψε με νομοθεσία τη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων για δημόσια χρήση.
- Η πολιτεία της South Carolina έχουν δημιουργήσει προϋποθέσεις για δομική συστήματος κομβίοι αυτόνομων οχημάτων.
- Η πολιτεία του Texas έχει επιτρέψει τις δοκιμές των αυτόνομων οχημάτων, τη λειτουργία τους για δημόσια χρήση και έχουν διευκρινιστεί ζητήματα σχετικά με την απόδοση ευθυνών σε περίπτωση ατυχήματος.
- Η Washington D.C. έχει προχωρήσει στη δημόσια χρήση αυτόνομων οχημάτων και έχουν διευθετήσει ζητήματα απόδοσης ευθυνών.
- Οι πολιτείες Florida, Michigan, Nevada και Tennessee έχουν επιτρέψει μέσα από νομοθεσίες τη δοκιμή αυτόνομων οχημάτων. Στις πρώτες νομοθεσίες, η δοκιμή επιτρεπόταν μόνο με την παρουσία ανθρώπου πίσω από το τιμόνι, ενώ στην πορεία άρχισε να εξαλείφεται η ανάγκη για την παρουσία ανθρώπου και έγινε επιτρεπτή η λειτουργία πλήρους αυτόνομων οχημάτων. Επιπλέον, έχουν τεθεί οι προϋποθέσεις για τη δοκιμή συστημάτων κομβίοι αυτόνομων οχημάτων. Τέλος, οι σχετικές νομοθεσίες έχουν επιτρέψει τη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων για δημόσια χρήση και όχι μόνο για δοκιμές και έχουν διευκρινιστεί ζητήματα ευθύνης που σχετίζονται με τον κατασκευαστή.

Σύμφωνα με την υφιστάμενη νομοθεσία και με την καθοδήγηση της NHTSA, όλα τα οχήματα τα οποία είναι συμβατά με το Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS)

έχουν τη δυνατότητα να ταξιδεύουν σε δημόσιους δρόμους. Αυτή η προϋπόθεση ισχύει και για τα πλήρως αυτόνομα οχήματα. Επομένως, οι αρμοδιότητες που έχουν οι πολιτείες καθώς και η NHTSA δεν πρέπει να αλλάξουν για τα αυτόνομα οχήματα, αλλά πρέπει να είναι διαχωρισμένες, όπως είναι και στα μη αυτόνομα οχήματα (Demiridi et al., 2019).

Όσον αφορά στην προστασία και την ιδιωτικότητα των δεδομένων, υπάρχουν τρεις κατηγορίες νομοθεσίας (Cobb, 2016; Raul, 2017): (α) η προστασία από το σύνταγμα, (β) οι ομοσπονδιακοί νόμοι και (γ) οι πολιτειακοί νόμοι.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, οι χώρες μέλη της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) είναι υποχρεωμένες να συμμορφωθούν σε όλους τους κανονισμούς και τις προδιαγραφές που ορίζονται από αυτήν. Πρόσφατα, οι Κυβερνήσεις του Ηνωμένου Βασιλείου και της Γερμανίας έκαναν νέες προσεγγίσεις σε ηθικά και νομικά ζητήματα σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα. Το νομοσχέδιο του Ηνωμένου Βασιλείου για τα έτη 2017-2019 που εκδόθηκε το 2017 για τα αυτόματα και ηλεκτρικά οχήματα αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αποσαφηνίζει τα ασφαλιστικά ζητήματα που προκύπτουν όταν ένα αυτόνομο όχημα εμπλέκεται σε ατύχημα, ενώ το δεύτερο μέρος προσδιορίζει μία άλλη οπτική που περιλαμβάνει τον οδηγό ως ένα άτομο που θα έπρεπε να επανορθώσει σε περίπτωση ατυχήματος, εάν το όχημα είναι πλήρως αυτόνομο. Στη Γερμανία, η αναφορά της Επιτροπής Δεοντολογίας για τα αυτόνομα οχήματα στοχεύει στο να αναπτύξει τις απαραίτητες κατευθυντήριες γραμμές, όσον αφορά στα ζητήματα ηθικής και περιλάμβανε 11 θέματα τα οποία απασχολούν, όπως καταστάσεις που δημιουργούν διλήμματα, στα οποία το όχημα σε κρίσιμες συνθήκες πρέπει να λάβει μία απόφαση ανάμεσα σε δύο άτυχες εκβάσεις. Επιπλέον ζητήματα είναι αυτά της «υποδούλωσης» σε συστήματα τεχνολογίας, της ευθύνης και της εκμετάλλευσης των δεδομένων (Demiridi et al., 2019).

Σχετικά με την ιδιωτικότητα των δεδομένων, τόσο οι οδηγίες 95/46/EC, 2005/58/EC, 2006/24/EC, 2009/136/EC, 2016/680/EE και 2016/681/EE της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και η συνθήκη της ΕΕ για την προστασία των ανθρωπίνων δικαιωμάτων και ο Κανονισμός 2016/679 για την "*προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και για την ελεύθερη κυκλοφορία των δεδομένων αυτών*", βρίσκονται σε ισχύ (De Bruin, 2016).

Τέλος σε εθνικό επίπεδο, η συμπεριφορά των οδηγών, οι ευθύνες των οδηγών και οι άδειες κυκλοφορίας των οχημάτων καλύπτονται από κανόνες κυκλοφορίας από το αστικό και το ποινικό δίκαιο. Το 2012 αναφέρεται σε κανονισμό της οδικής κυκλοφορίας ότι όλα τα κινούμενα οχήματα ή συνδυασμός οχημάτων πρέπει να έχουν οδηγό. Το 2014 γίνεται τροποποίηση στον παραπάνω κανονισμό με σκοπό να επιτραπεί η άδεια κυκλοφορίας ενός αυτόνομου λεωφορείου για το ερευνητικό σχέδιο της EE city Mobil 2 (Demiridi et al., 2019).

Σχετικά με τα δεδομένα, το γενικό νομικό πλαίσιο της Ελλάδας είναι πιο επαρκές. Η Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα (Hellenic Data Protection Authority) είναι υπεύθυνη για τη λήψη αποφάσεων και την παροχή πληροφοριών για την ιδιωτικότητα και προστασία των προσωπικών δεδομένων στην Ελλάδα. Επιπλέον, εκτός από τις οδηγίες της ΕΕ που είναι σε ισχύ, υπάρχουν και κάποιοι επιπλέον νόμοι και κανονισμοί που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διαχείριση των δεδομένων. Λόγω της ταχείας εξέλιξης της τεχνολογίας των οχημάτων είναι πλέον αναγκαία η ύπαρξη ενός νομικού πλαισίου που θα σχετίζεται με τα αυτόνομα οχήματα. Η Ελλάδα, ως μέλος της ΕΕ, θα συμμορφωθεί σταδιακά με τις οδηγίες της ΕΕ σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα όμως πρέπει να γίνει μεγαλύτερη προσπάθεια έτσι ώστε να επιτευχθεί πλήρης συσχέτιση με τις ανάγκες της επερχόμενης τεχνολογίας και κυρίως στην Ελλάδα, καθώς παρατηρείται ότι η νομοθεσία της επί του θέματος είναι ανεπαρκής.

4.4 Αποδοχή χρηστών

Εκτός από το θεσμικό και νομικό πλαίσιο που είναι πολύ σημαντικό, καθώς χωρίς αυτό δεν μπορεί να γίνει η δημόσια χρήση των αυτόνομων οχημάτων, ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα είναι η αποδοχή των αυτόνομων οχημάτων από τους χρήστες και τις εταιρείες. Το ερώτημα είναι κατά πόσο οι χρήστες, δηλαδή εκείνοι που θα χρησιμοποιούν αυτόνομα οχήματα, αλλά και εκείνοι που απλά θα αλληλοεπιδρούν καθημερινά με αυτόνομα οχήματα που θα κυκλοφορούν στο δίκτυο, δύνανται να ενσωματώσουν τα αυτόνομα οχήματα στην καθημερινότητά τους. Το ίδιο ερώτημα ισχύει και για τις εταιρείες, δηλαδή κατά πόσο οι εταιρείες δέχονται να αντικαταστήσουν τον στόλο τους με αυτόνομα οχήματα και φορτηγά. Έχουν γίνει σχετικές έρευνες για τη στάση που έχουν οι άνθρωποι απέναντι στα αυτόνομα οχήματα.

Σε έρευνα που διεξάχθηκε στο Όστιν, Τέξας (Bansal et al., 2016), βρέθηκε ότι τα ζητήματα που ανησυχούσαν τους χρήστες είναι η αποτυχία του συστήματος των οχημάτων, η αλληλεπίδρασή τους με άλλα οχήματα που δεν είναι αυτόνομα, καθώς και το κόστος, ενώ τα κύρια οφέλη που αντιλαμβάνονταν είναι η μείωση των ατυχημάτων και η μειωμένη κατανάλωση καυσίμων. Επίσης, η έρευνα έδειξε ότι εκείνοι που είχαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τα αυτόνομα οχήματα και πρόθεση να πληρώσουν για αυτά είναι άντρες με υψηλό εισόδημα και μορφωμένοι σε θέματα τεχνολογίας που ζούσαν σε αστικές περιοχές. Τέλος, η προγενέστερη εμπειρία σε κάποιο ατύχημα συνέβαλε θετικά στη στάση των χρηστών σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα.

Μία άλλη έρευνα (Kyriakidis et al., 2015), η οποία διεξήχθη μέσω του διαδικτύου και χρησιμοποίησε ένα δείγμα 5.000 απαντήσεων για τα αυτόνομα οχήματα από 109 συνολικά χώρες, έδειξε ότι το 22% των ερωτηθέντων δεν δύναται να πληρώσει για ένα πλήρες

αυτόνομο σύστημα οδήγησης. Ωστόσο, το 33% απάντησε ότι θα ήταν εξαιρετικά ευχάριστο αν και οι περισσότεροι ένιωθαν ότι η οδήγηση προσφέρει μεγαλύτερη απόλαυση. Οι λόγοι ανησυχίας σχετίζονταν με την υποκλοπή του λογισμικού, τα νομικά ζητήματα και την ασφάλεια. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι οι ερωτηθέντες που κατάγονταν από πιο αναπτυγμένες χώρες ήταν λιγότερο άνετοι με τη μεταφορά δεδομένων από το όχημα.

Σε έρευνα που διεξήχθη σε Ηνωμένο Βασίλειο, τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και την Αυστραλία (Schoettle & Sivak, 2014) βρέθηκε ότι η πλειονότητα των πολιτών είναι φιλική προς τα αυτόνομα οχήματα. Οι κύριες αντιλήψεις που επικρατούσαν είναι ότι τα αυτόνομα οχήματα σχετίζονται με τη μείωση των ατυχημάτων και την ασφάλεια, τη μείωση κατανάλωσης καυσίμων και τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων. Από την άλλη πλευρά, οι ανησυχίες για τη χρήση αυτόνομων οχημάτων ήταν σχετικές με την αποτυχία του εξοπλισμού, την ικανότητα του οχήματος να χειριστεί απρόσμενες καταστάσεις, τη νομική ευθύνη, καθώς και την υποκλοπή των συστημάτων και τα θέματα ιδιωτικότητας.

Γενικά, οι περισσότερες έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μία σχέση μεταξύ της τεχνολογίας και των κοινωνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών, με τους νεαρούς ανθρώπους, άνδρες και μορφωμένους να είναι πιο δεκτικοί συγκριτικά με άλλους χρήστες (Hudson & Orviska, 2011). Οι Hudson et al. (2018) ανέλυσαν τη στάση 1.000 ανθρώπων με διαφορετικά κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά από κάθε χώρα της Ευρώπης ως προς τα αυτόνομα οχήματα και φορτηγά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει μια αμηχανία όσον αφορά στα αυτόνομα φορτηγά και ακόμη περισσότερο τα αυτόνομα οχήματα. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των χωρών, αλλά ακόμη και στις χώρες που είναι σχετικά πιο ευνοϊκές σε αυτό το θέμα, η πλειοψηφία στις περισσότερες περιπτώσεις συνεχίζει να μην νιώθει άνετα με την ιδέα των αυτόνομων οχημάτων. Οι κοινωνικές ομάδες που τείνουν να είναι περισσότερο αρνητικές

είναι ηλικιωμένοι άνθρωποι, συνταξιούχοι, άνεργοι, λιγότεροι μορφωμένοι και γυναίκες, ενώ επαγγελματίες και ανώτατα διοικητικά στελέχη είναι περισσότερο θετικοί. Υπέρ των αυτόνομων οχημάτων είναι επίσης εκείνοι που ζουν σε μεγάλα κέντρα και πόλεις. Επίσης, οι άνθρωποι που η δουλειά τους σχετίζεται με οδήγηση όπως οδηγοί ταξί και φορτηγών, όπως και έμποροι που ταξιδεύουν, έχουν την πιο θετική στάση προς τα αυτόνομα οχήματα από όλους. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι πιο εχθρικοί σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα ήταν οι ερωτηθέντες από την Κύπρο, τη Μάλτα και την Ελλάδα, ενώ οι πιο δεκτικοί ήταν στην Πολωνία, την Ολλανδία και τη Σουηδία. Όσον αφορά στα αυτόνομα φορτηγά, τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με τη διαφορά ότι τη θέση της Ελλάδας την καταλαμβάνει η Ισπανία.

Τέλος σε έρευνα που διεξήχθη σε δύο πόλεις της Κίνας (Liu et al., 2019) μέσω ερωτηματολογίου και είχε ως θέμα τη θέληση των χρηστών να πληρώσουν για αυτόνομα οχήματα, περίπου το 26,3% των ερωτηθέντων ήταν απρόθυμο να πληρώσει επιπλέον, το 39,3% ήταν πρόθυμο να πληρώσει λιγότερο από 2.900\$ και το υπόλοιπο 34,3% ήταν πρόθυμο να πληρώσει πάνω από 2.900\$. Επίσης παρατηρήθηκε ότι οι νέοι, πιο μορφωμένοι με υψηλότερα εισοδήματα, καθώς και εκείνοι που γνώριζαν για τα αυτόνομα οχήματα πριν από τη διεξαγωγή της έρευνας ήταν περισσότερο πρόθυμοι να πληρώσουν, έδειχναν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη και αντιλαμβάνονταν περισσότερα οφέλη, λιγότερα ρίσκα και λιγότερο φόβο.

4.5 Εφαρμογές – καλές πρακτικές

Η ανάπτυξη των εμπορευματικών μεταφορών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανάπτυξη της οικονομίας. Οι εμπορευματικές μεταφορές έχουν μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον, τόσο με την κατανάλωση καυσίμων, όσο και με την εκπομπή αερίων ρύπων. Για

αυτόν τον λόγο, υπάρχει η πεποίθηση ότι η εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές και τα logistics θα έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε περισσότερο βιώσιμες και οικονομικότερες λύσεις ως προς την κατανάλωση καυσίμων. Επίσης, υπάρχει η αντίληψη ότι η βιομηχανία των logistics θα υιοθετήσει πιο γρήγορα τα αυτόνομα οχήματα σε σχέση με άλλες βιομηχανίες και αυτό γιατί ισχύουν άλλοι κανόνες όταν ένα όχημα κινείται σε ασφαλή και ιδιωτική ζώνη. Επίσης, τα ζητήματα ευθυνών που έχουν αναφερθεί παραπάνω και είναι ένα από τα φλέγοντα ζητήματα που πρέπει να λυθούν, θα είναι λιγότερα πιεστικά εφόσον το όχημα θα μεταφέρει αγαθά και όχι ανθρώπινες ζωές. Ήδη υπάρχουν κάποιες εφαρμογές της τεχνολογίας των αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές.

Οι πιθανές χρήσεις των αυτόνομων οχημάτων στα logistics διακρίνονται σε 4 τμήματα (DHL, 2014; Van Meldert & De Boeck, 2016) και πιο συγκεκριμένα στις χρήσεις των αυτόνομων οχημάτων (1) σε εσωτερικούς χώρους, (2) σε εξωτερικό περιβάλλον, (3) σε εμπορευματικές μεταφορές μακρινών αποστάσεων και τέλος (4) στις προοπτικές που έχουν τα αυτόνομα οχήματα ως «γέφυρες» στο τελευταίο μίλι.

Στο παρόν Υπο-κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τρεις πρώτες κατηγορίες, ενώ οι παραδόσεις στο τελευταίο μίλι, οι οποίες αποτελούν βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας, παρουσιάζονται στο επόμενο Υπο-κεφάλαιο.

4.5.1 Αυτόνομα οχήματα σε logistics εσωτερικού χώρου

Η διαχείριση των υλικών είναι μια δραστηριότητα ζωτικής σημασίας για τους χώρους παραγωγής και διανομής. Πλέον, πολλών ειδών αυτόνομα οχήματα χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής, σε χώρους αποθήκευσης και κέντρα διανομής με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας της διαχείρισης των υλικών. Οι χώροι αυτοί αποτελούν το ιδανικό

περιβάλλον για τα αυτόνομα οχήματα. Συνεπώς, η χρήση τους στα logistics εσωτερικών χώρων είναι από τις πιο αναπτυγμένες εφαρμογές των αυτόνομων οχημάτων (Van Meldert & De Boeck, 2016).

Εδώ και πολλά χρόνια γίνεται χρήση αυτόνομων οχημάτων σε αποθήκες για τη διαχείριση προϊόντων όλων των ειδών. Το μειονέκτημα είναι ότι τα περισσότερα αυτόνομα οχήματα έχουν περιορισμένη ευελιξία και δεν μπορούν να κινηθούν όταν ένα εμπόδιο βρεθεί μπροστά τους παρά μόνο εάν μετακινηθεί ή εάν κάποιος οδηγός αναλάβει τον έλεγχο του οχήματος. Η καλύτερη μέθοδος για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πλοήγησης του αυτόνομου οχήματος στον εσωτερικό χώρο προκύπτει να είναι ο συνδυασμός καμερών βάθους και λέιζερ στο όχημα για τη συνεχή σάρωση του περιβάλλοντος με σκοπό την αναγνώριση της θέσης του οχήματος και οποιουδήποτε εμποδίου. Τα πιο πρόσφατα αυτόνομα οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υλικών και για άλλες δραστηριότητες των logistics, είναι εφοδιασμένα με τεχνολογίες καθοδήγησης μέσω της όρασης. Οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούν κάμερες βάθους, λέιζερ και αισθητήρες για να σαρώνουν συνεχώς τον χώρο, δημιουργώντας έναν τρισδιάστατο χάρτη, τον οποίο χρησιμοποιεί το όχημα για να κινηθεί μέσα στον χώρο. Τα αυτόνομα οχήματα, με τη χρήση τους σε τέτοιες δραστηριότητες, προσφέρουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα, παραγωγικότητα, αυξημένη ασφάλεια, περισσότερη ευελιξία και προσαρμοστική ικανότητα σε σχέση με τους ανθρώπους και με τους ιμάντες μεταφοράς. Παρόλα αυτά, η διείσδυση των αυτόνομων οχημάτων στα logistics είναι μειωμένη λόγω του κόστους εγκατάστασης και τη δυσκολία πλήρους αξιοποίησής τους. Εκτός από τη μεταφορά προϊόντων μέσα στις αποθήκες, τα αυτόνομα οχήματα έχουν τη δυνατότητα να συμμετάσχουν σε διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας και της ασφάλειας της όλης διαδικασίας. Η διαδικασία που εκτελούν αυτά τα οχήματα είναι να κινούνται μέσα στον χώρο με τη βοήθεια τεχνολογίας

λείξερ και να παρακολουθούν το περιβάλλον για να διασφαλίζουν την αλληλεπίδραση ανθρώπων και οχημάτων. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να βρίσκουν εναλλακτικές διαδρομές εάν υπάρχει μεγάλη κίνηση σε κάποια άλλη διαδρομή και να μεταφέρουν δέματα και εμπορευματοκιβώτια ή και αγαθά που πρέπει να μεταφερθούν με μεγάλη ασφάλεια και προστασία. Έτσι, τα οχήματα αυτά, εφοδιασμένα με όλες τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν τη δυνατότητα να συνυπάρχουν σε ένα μεικτό περιβάλλον με ανθρώπους, παρέχοντας ένα υψηλό επίπεδο ευελιξίας και θέτοντας τα θεμέλια για πλήρη αυτονομία (DHL, 2014; Van Meldert & De Boeck, 2016).

4.5.2 Αυτόνομα οχήματα σε logistics εξωτερικού χώρου

Όπως αναφέρεται στην έκθεση της DHL για την εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων στα logistics, όπως και από τους Van Meldert & De Boeck (2016), στόχος των νέων τεχνολογιών είναι η λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων όχι μόνο σε ένα κλειστό, εσωτερικό περιβάλλον που προσφέρει βεβαιότητα και ασφάλεια, αλλά και σε ένα εξωτερικό περιβάλλον, στο οποίο υπάρχουν πολλαπλές παράμετροι και αβεβαιότητες. Το πρώτο βήμα για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι η εφαρμογή αυτόνομων οχημάτων σε λιμένες, αεροδρόμια και σε άλλες απομακρυσμένες υπαίθριες τοποθεσίες ως μια ομαλή μετάβαση πριν από το περίπλοκο περιβάλλον της αστικής κυκλοφορίας. Σε αυτό τον τομέα, αυτόνομα οχήματα ποικίλων ειδών ήδη χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των υλικών σε λιμένες και υπαίθριες τοποθεσίες, λιγότερο σε αεροδρόμια και ο χειρισμός των προϊόντων είναι μεγάλης σημασίας για την ανταγωνιστικότητά τους. Τα πλοία, οι αεροπορικές εταιρείες και τα φορτηγά παράγουν έσοδα μόνο όταν βρίσκονται εν κινήσει, συνεπώς οι χρόνοι παράδοσης πρέπει να ελαχιστοποιηθούν. Επιπλέον τα αγαθά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενώ μεταφέρονται και επομένως η μεταφορά τους πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν γρηγορότερα.

Έτσι, η χρήση των αυτόνομων οχημάτων σε τέτοιου είδους διαδικασίες αυξάνει την παραγωγικότητα και τις αποδόσεις με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ανταγωνισμός. Επίσης, η χρήση των αυτόνομων οχημάτων βελτιώνει την ασφάλεια στα logistics. Τα οχήματα αυτά έχουν την ικανότητα να ελέγχουν με αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι στις υποδομές των υπαίθριων τοποθεσιών, τη θέση άλλων αντικειμένων και να επιτρέπουν τις συνδυαστικές λειτουργίες αυτόνομων οχημάτων, οχημάτων ανύψωσης και ανθρώπων με αποδοτικό και ασφαλή τρόπο. Σχετικά με τους λιμένες, η διαχείριση των εμπορευματοκιβωτίων είναι σχεδόν πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία με σκοπό την αύξηση της ταχύτητας και της αποδοτικότητας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους, όπως είναι η χρήση φορτηγών και γερανών. Τα αεροδρόμια φαίνεται να μην έχουν την ίδια πρόοδο όσον αφορά στη χρήση αυτόνομων οχημάτων, ωστόσο μία καινοτομία θα ήταν να υπάρχουν αυτόνομα ρυμουλκά που μεταφέρουν τα κοντέινερ με τις βαλίτσες ή άλλα εμπορεύματα από και προς τις τερματικές πύλες του αεροδρομίου και στα αεροπλάνα.

4.5.3 Αυτόνομα οχήματα σε εμπορευματικές μεταφορές μακρινών αποστάσεων

Πλησιάζοντας στον στόχο που είναι η λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων στο εξωτερικό περιβάλλον και τους δημόσιους δρόμους, μία ακόμη χρήση των αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές και τα logistics είναι οι υπεραστικές εμπορευματικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων. Στην κατηγορία αυτή, γίνεται μεταφορά εμπορευμάτων μεταξύ δύο πόλεων ή λιμένων με τη χρήση φορτηγών. Καθώς οι κίνδυνοι στους δρόμους είναι μεγάλοι λόγω του ανθρώπινου λάθους ή άλλων παραμέτρων, όπως είναι οι καιρικές συνθήκες, η εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων στον τομέα αυτόν μπορεί να προσφέρει ασφάλεια στους οδηγούς και μεγαλύτερη άνεση στο πολύωρο ταξίδι τους. Επίσης, σε πολλές αναπτυγμένες χώρες υπάρχει έλλειψη οδηγών για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων

λόγω της δυσκολίας του ωραρίου, των αποστάσεων και της επικίνδυνης φύσης της δουλειάς. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με τη χρήση αυτόνομων τεχνολογιών και οχημάτων που έχουν τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν τους οδηγούς σε μικρό ή και σε πλήρες επίπεδο εκτελώντας ορισμένες λειτουργίες της οδήγησης ή ακόμη και το σύνολο αυτών.

Μία ακόμη χρήση των αυτόνομων οχημάτων σε εμπορευματικές μεταφορές μακρινών αποστάσεων είναι τα συστήματα κομβίο αυτόνομων φορτηγών (truck platooning). Τα συστήματα κομβίο είναι συνδέσεις πολλών φορτηγών που κινούνται το ένα πίσω από το άλλο και επικοινωνούν μεταξύ τους με τεχνολογίες που έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα Κεφάλαια. Ο οδηγός του πρώτου φορτηγού ελέγχει όλες τις λειτουργίες της οδήγησης, ενώ οι οδηγοί των φορτηγών που ακολουθούν δεν χρειάζεται να συμμετέχουν σε καμία λειτουργία της οδήγησης και για αυτόν τον λόγο τα φορτηγά αυτά δεν απαιτούν την ύπαρξη οδηγού. Περισσότερα για τα συστήματα κομβίο αναφέρονται στο Υπο-κεφάλαιο 4.7, στο οποίο εξετάζονται σε εκτενή βαθμό.

4.6 Παραδόσεις εμπορευμάτων στο τελευταίο μίλι

Οι παραδόσεις των εμπορευμάτων στο τελευταίο μίλι ίσως είναι το πιο δύσκολο και αβέβαιο μέρος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Σε αυτήν την περίπτωση, τα αυτόνομα οχήματα καλούνται να απομακρυνθούν από τους αυτοκινητοδρόμους και να μεταφερθούν σε ένα περιβάλλον λιγότερο προβλέψιμο και αρκετά περίπλοκο ιδιαίτερα, όταν είναι ένα συμφορημένο αστικό περιβάλλον, στο οποίο συνυπάρχουν φορτηγά, αυτοκίνητα ιδιωτικής χρήσης, ποδήλατα και πεζοί των οποίων οι κινήσεις δεν μπορούν να προβλεφθούν. Αυτή είναι και η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζουν σήμερα τα αυτόνομα οχήματα και οι επαγγελματίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το πλεονέκτημα σε αυτό το περιβάλλον είναι ότι η κυκλοφορία γίνεται πολύ αργά λόγω των χαμηλών ορίων ταχύτητας επιτρέποντας στα

αυτόνομα οχήματα να επιβλέπουν το περιβάλλον γύρω τους, να κινούνται ομαλά σε αυτό και να αντιδρούν την κατάλληλη χρονική στιγμή σε οποιοδήποτε περιστατικό.

Η άνοδος του ηλεκτρονικού εμπορίου τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην αύξηση της ζήτησης της παράδοσης εμπορευμάτων στο τελευταίο μίλι. Οι παραδόσεις στο τελευταίο μίλι αποτελούν ουσιαστικά το τελευταίο βήμα της παράδοσης του εμπορεύματος από την εταιρεία στον τελικό παραλήπτη, ο οποίος θα πρέπει να λάβει το εμπόρευμα στο σπίτι ή να το παραλάβει από κάποιο σημείο διανομής. Αυτό το τελευταίο βήμα της παράδοσης στο σπίτι ευθύνεται για το μεγαλύτερο μέρος του κόστους της μεταφοράς. Επιπλέον, είναι αρκετά χρονοβόρο, καθώς υπάρχει πιθανότητα ο υπεύθυνος για τις παραδόσεις να αδυνατεί να σταθμεύσει το όχημα και να πρέπει να καλύψει μεγάλες αποστάσεις με τα πόδια μεταφέροντας κάποιο εμπόρευμα το οποίο ενδέχεται να είναι βαρύ.

Για τη μείωση του υψηλού κόστους και χρόνου των παραδόσεων στο τελευταίο μίλι, προτείνεται η λύση των έξυπνων θυρίδων (city lockers) σε πρακτικές τοποθεσίες, όπως είναι σχολεία, στάσεις του μετρό και γενικά κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Οι έξυπνες θυρίδες είναι επεκτάσιμες, προσαρμόσιμες, ηλεκτρονικές και δίνουν στους εργαζόμενους και τους χρήστες έναν εύκολα προσβάσιμο χώρο για την παραλαβή των δεμάτων. Η χρήση των έξυπνων θυρίδων προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε διάφορες ομάδες ενδιαφερόμενων. Όσον αφορά στους επιχειρηματίες/διανομείς, η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος εξαλείφει τις ανεπάρκειες που προκαλούνται από την αποτυχία παράδοσης στο σπίτι και την αναδιανομή. Περαιτέρω, η χρήση έξυπνων θυρίδων συγχωνεύει πολλές αποστολές σε συγκεντρωμένες τοποθεσίες και έτσι βελτιώνεται η χρήση των οχημάτων και ταυτόχρονα μειώνεται ο αριθμός των δρομολογίων παράδοσης. Συνεπώς, πραγματοποιούνται σημαντικές εξοικονομήσεις. Δεύτερον, από την πλευρά των πελατών, με τη χρήση έξυπνων θυρίδων δεν υπάρχει η ανάγκη για αναμονή της παράδοσης στο σπίτι. Έτσι, μειώνεται ο χρόνος αναμονής

και οι παραλήπτες μπορούν να κάνουν άλλες δραστηριότητες συνδυάζοντας και την παραλαβή των δεμάτων τους από τις θυρίδες. Τέλος, από κοινωνικής σκοπιάς, η χρήση έξυπνων θυρίδων ελαχιστοποιεί τις εξωτερικές επιπτώσεις, όπως είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση, ο θόρυβος, οι στάσεις των οχημάτων και η ρύπανση του περιβάλλοντος λόγω της συγχώνευσης των αποστολών και των λιγότερων δρομολογίων παράδοσης (Yuen et al., 2019).

Μία άλλη καινοτόμος ιδέα που συμβάλλει κυρίως στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις αστικές περιοχές είναι η παράδοση φορτίων από αυτόνομα ρομπότ που αναχωρούν από φορτηγά. Το φορτηγό φορτώνει το εμπόρευμα για ένα σύνολο πελατών σε μία κεντρική αποθήκη και ταυτόχρονα φορτώνονται μικρά αυτόνομα ρομπότ που το καθένα μπορεί να μεταφέρει το φορτίο που αντιστοιχεί σε έναν πελάτη. Τα αυτόνομα ρομπότ μετακινούνται προς τους πελάτες και αφού γίνει η παράδοση, επιστρέφουν αυτόνομα σε κάποια αποθήκη ρομπότ στο κέντρο της πόλης. Σε αυτές τις αποθήκες, τα φορτηγά μπορούν να τροφοδοτηθούν εκ νέου με ρομπότ και να «ξεφορτώσουν» και άλλα μέχρι όλα τα φορτία να παραδοθούν σε όλους τους πελάτες (Boysen et al., 2018). Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να μειωθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση, καθώς τα φορτηγά δεν απαιτείται να κάνουν πολλές στάσεις σε αστικούς δρόμους παρά μόνο για να αφήσουν τα ρομπότ, τα οποία αναλαμβάνουν τις παραδόσεις. Επιπλέον, μειώνεται ο φόρτος εργασίας, καθώς δεν χρειάζεται οι εργαζόμενοι να μεταφέρουν τα φορτία από το φορτηγό στους πελάτες και έτσι μειώνεται ταυτόχρονα ο χρόνος παράδοσης.

Τέλος, τα αυτόνομα οχήματα συμβάλλουν και στην προσπάθεια κάποιων εταιρειών για παράδοση εμπορευμάτων την ίδια μέρα. Η παράδοση της ίδιας ημέρας έχει γίνει μια πολύ σημαντική πρόκληση για τους παρόχους ηλεκτρονικού εμπορίου. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τον συνδυασμό σταθμών παραλαβής δεμάτων και αυτόνομων οχημάτων, όπως αναφέρουν

οι Ulmer & Streng (2019). Οι σταθμοί παραλαβής είναι θυρίδες στις οποίες οι εταιρείες αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες δεμάτων. Μόλις ένα δέμα αποθηκεύεται, ο πελάτης ενημερώνεται και χρησιμοποιεί έναν ατομικό κωδικό πρόσβασης για να παραλάβει το δέμα που έχει παραγγείλει. Ο συνδυασμός των σταθμών παραλαβής με τα αυτόνομα οχήματα αφήνει το περιθώριο για συγχωνεύσεις στις παραδόσεις των προϊόντων, για αυτοματοποιημένες διαδικασίες παράδοσης και μειωμένο κόστος λειτουργίας. Οι πελάτες παραγγέλλουν τα εμπορεύματα σε έναν προτιμώμενο σταθμό παραλαβής και αναμένουν γρήγορη εξυπηρέτηση. Τα εμπορεύματα πρέπει να παραδοθούν από την αποθήκη στον προτιμώμενο σταθμό παραλαβής ή σε άλλο σταθμό παραλαβής στην κοντινή γειτονιά. Τα αυτόνομα οχήματα αποστέλλονται απευθείας μεταξύ της αποθήκης και των σταθμών. Τα παραγγελθέντα εμπορεύματα πρέπει να μεταφερθούν από την αποθήκη στον προτιμώμενο σταθμό παραλαβής ή σε άλλο σταθμό παραλαβής στην κοντινή περιοχή και αυτό γίνεται με τη βοήθεια αυτόνομων οχημάτων. Μόλις αποσταλούν τα αγαθά, ο πελάτης ενημερώνεται για τον σταθμό παραλαβής και για τον συντομότερο χρόνο παραλαβής. Μόλις ολοκληρωθεί η φόρτωση των εμπορευμάτων στον σταθμό παραλαβής, ο πελάτης μπορεί να παραλάβει την παραγγελία του.

Ωστόσο, τα αυτόνομα οχήματα χωρίς οδηγό δεν είναι ισοδύναμα με τα συμβατικά οχήματα παράδοσης εμπορευμάτων με οδηγό, καθώς ενδέχεται να μην επιτρέπεται να κινηθούν σε όλες τις περιοχές του δικτύου και να επιτρέπονται μόνο σε ορισμένες ζώνες (Scherr et al., 2018). Στην περίπτωση αυτή, μία πιθανή λύση που θα συνδέσει τις ζώνες που επιτρέπουν τα αυτόνομα οχήματα με εκείνες που δεν επιτρέπουν τη χρήση τους είναι τα συστήματα κομβία αυτόνομων οχημάτων.

4.7 Συστήματα κομβί αυτονόμων οχημάτων

Τα συστήματα κομβί αυτονόμων οχημάτων (platooning) είναι η σύνδεση 2 ή περισσότερων φορτηγών που κινούνται το ένα πίσω από το άλλο και χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες και τα συστήματα των αυτονόμων οχημάτων. Τα οχήματα αυτά μπορούν να διατηρούν αυτόματα μια καθορισμένη, κοντινή απόσταση μεταξύ τους όταν παραμένουν συνδεδεμένα σε ορισμένα τμήματα της διαδρομής, όπως για παράδειγμα στους αυτοκινητόδρομους (European Automobile Manufacturers Association - ACEA, 2017). Ο οδηγός του πρώτου φορτηγού είναι ο επικεφαλής του κομβί που διατηρεί τον έλεγχο όλων των λειτουργιών της οδήγησης και καθορίζει την ταχύτητα. Τα οχήματα που ακολουθούν επιταχύνουν και επιβραδύνουν αυτόματα με βάση τις ενέργειες του πρώτου φορτηγού. Οι οδηγοί των φορτηγών ή των οχημάτων που ακολουθούν δεν χρειάζεται να συμμετέχουν καθόλου στην οδήγηση, επιτάχυνση ή/και πέδηση, για αυτό και σε αυτά τα οχήματα δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη οδηγού (DHL, 2014). Τα συστήματα κομβί μπορούν να προσαρμοστούν σε όλους τους τύπους οχημάτων και αυτή τη στιγμή αναπτύσσονται για βαρέα φορτηγά (Windover et al., 2018).

Για να λειτουργήσει ένα σύστημα κομβί χρησιμοποιούνται συστήματα «Cooperative Adaptive Cruise Control – CACC» που ενσωματώνουν αισθητήρες, όπως LIDAR και κάμερες σε κάθε όχημα του κομβί, καθώς και ασύρματη ενδοεπικοινωνία μεταξύ των οχημάτων. Τα φορτηγά του κομβί αντιδρούν σχεδόν στιγμιαία στις ενέργειες του φορτηγού που βρίσκεται μπροστά και διατηρούν με ασφάλεια τις κοντινές αποστάσεις που απαιτούνται για τη μείωση της αεροδυναμικής έλξης και της κατανάλωσης καυσίμων (Windover et al., 2018). Τα συστήματα CACC είναι μία προέκταση των συστημάτων ACC που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο Κεφάλαιο. Είναι πιο προηγμένα συστήματα τα οποία μπορούν να βελτιώσουν τη σταθερότητα, μειώνοντας την καθυστέρηση της απόκρισης από το όχημα που

προηγείται. Όταν οδηγούν άνθρωποι, οι καθυστερήσεις αυτές εξαρτώνται από τους χρόνους αντίδρασης και από ενέργειες, όπως η μετακίνηση του ποδιού από το γκάζι στο πεντάλ του φρένου. Στα συστήματα ACC οι καθυστερήσεις αυτές μειώνονται, αλλά εξακολουθεί να υπάρχει μια μεγάλη καθυστέρηση φάσης για την επεξεργασία των μετρήσεων που παρέχονται από ραντάρ ή LIDAR. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα CACC μειώνουν ακόμη περισσότερο τις καθυστερήσεις αυτές και επιπλέον έχουν τη δυνατότητα, χρησιμοποιώντας τις V2V επικοινωνίες, να δίνουν στο όχημα πληροφορίες όχι μόνο για το όχημα που προηγείται, αλλά και για το όχημα που είναι επικεφαλής ή για προπορευόμενα οχήματα (Sheikholeslam & Desoer, 1990).

Οι Bhooralam et al. (2017) πρότειναν μια κατηγοριοποίηση των συστημάτων κομβίου αυτόνομων οχημάτων για να περιγράψουν τη συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στο κομβίο, όπως έκανε η SAE με τα επίπεδα αυτοματοποίησης των αυτόνομων οχημάτων. Διέκριναν τα κομβία σε 3 κατηγορίες :

- *Κομβία με ανθρώπινη καθοδήγηση και ξεκούραση μέσα στο κομβίο.* Σε αυτό τον τύπο κομβίου, τα φορτηγά που ακολουθούν μπορούν να αναλαμβάνουν όλες τις λειτουργίες της οδήγησης, έτσι ώστε οι οδηγοί να μπορούν να ξεκουραστούν, ενώ βρίσκονται μέσα στο φορτηγό. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση των οδηγών. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται η απαραίτητη τεχνολογία και νομική άδεια. Το πλεονέκτημα είναι ότι βελτιώνει την παραγωγικότητα των οδηγών, καθώς μπορούν να εκτελέσουν μεγαλύτερες αποστάσεις και να ξεκουράζονται ταυτόχρονα.
- *Υβριδικά κομβία.* Στον τύπο αυτόν, μόνο το πρώτο φορτηγό απαιτεί οδηγό, ενώ τα υπόλοιπα φορτηγά που ακολουθούν δεν χρειάζεται να έχουν οδηγό.

- *Κομβόι χωρίς οδηγό.* Ο τύπος αυτός περιέχει φορτηγά χωρίς οδηγό και προσφέρει μεγάλη ευελιξία, εφόσον δεν υπάρχουν οδηγοί που χρειάζονται να επιστρέψουν σπίτι τους ή να κάνουν διαλείμματα.

Όσον αφορά στους τύπους δρόμων που είναι κατάλληλοι για τη λειτουργία συστημάτων κομβόι, οι αυτοκινητόδρομοι με διαχωριστική νησίδα περιορισμένης πρόσβασης με πολλαπλές λωρίδες σε κάθε διεύθυνση προτιμώνται λόγω της περιορισμένης μεικτής κυκλοφορίας, των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων που εισέρχονται και εξέρχονται στον αυτοκινητόδρομο μέσω ραμπών, των υψηλών ταχυτήτων και των μεγάλων αποστάσεων που μεγιστοποιούν τα οφέλη των κομβόι (Windover et al., 2018).

Τα οφέλη των συστημάτων κομβόι αυτόνομων οχημάτων είναι η μείωση των ατυχημάτων και η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων που συνεπάγεται τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων. Γενικά, οι οδικές μεταφορές με φορτηγά οχήματα είναι υπεύθυνες για μεγάλο μέρος των συνολικών εκπομπών που σχετίζονται με την κυκλοφορία (European Commission, 2016 in Bhoopalam, et al., 2017). Τέλος, πλεονέκτημα είναι επίσης η άνεση των οδηγών, ειδικά για τα οχήματα που ακολουθούν και δεν χρειάζεται να συμμετέχουν στην οδήγηση.

Τα οφέλη των συστημάτων κομβόι σχετικά με την κατανάλωση καυσίμων διαφοροποιούνται ανάλογα με το βάρος των οχημάτων, την ταχύτητα της οδήγησης και την απόσταση μεταξύ των οχημάτων του κομβόι. Η αμερικάνικη εταιρεία «Peloton Technology» σε δοκιμή ενός συστήματος κομβόι αποτελούμενο από δύο φορτηγά κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η εξοικονόμηση καυσίμων ήταν της τάξης του 4,5% για το πρώτο φορτηγό και 10% για το φορτηγό που ακολουθούσε, δηλαδή η συνολική εξοικονόμηση καυσίμων ήταν περίπου της τάξης του 7,25% (Windover et al., 2018). Μια ιδιαιτερότητα του platooning είναι

ότι το όφελος ποικίλλει ανάλογα με τη θέση των οχημάτων στο κομβίο. Ειδικά το όχημα που βρίσκεται στην κορυφή του κομβίου αντιλαμβάνεται πολύ χαμηλότερες μειώσεις του κόστους (Boysen et al., 2018).

Όσον αφορά στην ασφάλεια, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο Κεφάλαιο, καθώς αυξάνεται το επίπεδο αυτοματοποίησης μειώνεται ο ανθρώπινος παράγοντας και επομένως το ανθρώπινο λάθος. Λιγότερα ατυχήματα οδηγούν σε λιγότερους τραυματισμούς και θανάτους και σε χαμηλότερα ασφαλιστικά κόστη. Επομένως, εκτός από την ασφάλεια των οδηγών, οι μειώσεις αυτές είναι ιδιαίτερα οικονομικά συμφέρουσες για τις εταιρείες που χρησιμοποιούν στόλους οχημάτων, ώστε να υιοθετήσουν τα συστήματα κομβίου. Επιπλέον η άνεση που προσφέρουν τα αυτόνομα οχήματα είναι πολύ σημαντική. Ιδιαίτερα στις εμπορευματικές μεταφορές, στις οποίες οι οδηγοί φορτηγών καλούνται να κάνουν μεγάλα ταξίδια για την παράδοση εμπορευμάτων, η άνεση και η δυνατότητα για ξεκούραση είναι πολύτιμα στοιχεία. Με τη χρήση των συστημάτων κομβίου, οι οδηγοί μπορούν να ταξιδεύουν χωρίς χρονικούς περιορισμούς και να ξεκουράζονται μέσα στο όχημα, εφόσον δεν θα χρειάζεται να συμμετέχουν στην οδήγηση. Συνεπώς, οι οδηγοί θα ταξιδεύουν σε καλύτερες συνθήκες και ταυτόχρονα θα μειώνονται τα κόστη του ταξιδιών, καθώς και τα εμπορεύματα θα παραδίδονται σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Τέλος, οι μικρές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων που ανήκουν στο κομβίο και η συντονισμένη οδήγησή τους υπόσχονται μια πολύ καλύτερη αξιοποίηση της χωρητικότητας των οδικών υποδομών. Έρευνες έχουν δείξει μέσα από προσομοιώσεις ότι η χωρητικότητα του δρόμου, η οποία υπολογίζεται σε οχήματα ανά ώρα, μπορεί σχεδόν να διπλασιαστεί με τη χρήση κομβίου (Boysen et al., 2018). Η τεχνολογία των αυτόνομων οχημάτων και η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων (V2V communication) επιτρέπουν στα οχήματα του

κομβίοι να ταξιδεύουν σε τόσο κοντινές αποστάσεις που δεν θα ήταν δυνατόν να επιτευχθούν αν δεν ανήκαν στον κομβίο και τα οδηγούσαν άνθρωποι (Van Meldert & De Boeck, 2016).

Όλες οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες φορτηγών έχουν αναπτύξει τεχνολογίες για συστήματα κομβίοι. Επίσης, έχουν προγραμματιστεί ή βρίσκονται σε εξέλιξη αρκετές δοκιμές πεδίου στην Ευρώπη, τις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Σιγκαπούρη, την Ιαπωνία και την Αυστραλία (Bhooralam et al., 2017). Οι δοκιμές των συστημάτων κομβίοι έχουν ολοκληρωθεί σε Texas, Ohio, Nevada, California και Michigan, ενώ συστήματα κομβίοι αυτόνομων βαρέων φορτηγών επιπέδου αυτοματοποίησης 3 και υψηλότερο έχουν δοκιμαστεί σε περιορισμένο βαθμό σε κάποιες πολιτείες (Windover et al., 2018).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν γίνει πολλές έρευνες που αφορούν στα συστήματα κομβίοι. Ένα από αυτά που αξίζει να αναφερθεί είναι το πρόγραμμα «Safe Road Trains for the Environment - SARTRE». Το πρόγραμμα αυτό υλοποιήθηκε μεταξύ του έτους 2009 και 2012 και περιλάμβανε τη συνεργασία πολλών εταιρειών, όπως η Volvo και διάφορων άλλων οργανισμών με σκοπό την ανάπτυξη τεχνολογιών που θα επέτρεπαν τη λειτουργία των συστημάτων κομβίοι σε δημόσιους δρόμους (Haas and Friedrich, 2018).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (European Automobile Manufacturers Association, 2017) δημοσίευσε το 2017 έναν χάρτη πορείας για τα συστήματα κομβίοι. Η Ένωση αναφέρει πως η τεχνολογία για κομβίοι με φορτηγά της ίδιας εταιρείας (mono-brand platooning) είναι ήδη διαθέσιμη. Στόχος είναι η δυνατότητα σχηματισμού κομβίοι με φορτηγά διαφορετικών εταιρειών (multi-brand platooning) με επίπεδο αυτοματοποίησης έως και 2, σύμφωνα με τα επίπεδα αυτοματοποίησης της SAE και με την παρουσία οδηγού που βρίσκεται σε ετοιμότητα να επέμβει. Μέχρι το 2023, θα πρέπει να είναι εφικτή η οδήγηση με multi-brand platooning στους αυτοκινητοδρόμους της Ευρώπης. Στη συνέχεια, θα ακολουθήσει η δυνατότητα του οδηγού να μπορεί να ξεκουράζεται μέσα στο

φορτηγό και ταυτόχρονα να ταξιδεύει. Το τελευταίο βήμα είναι η πλήρης αυτοματοποίηση των φορτηγών.

Το 2016, το European Truck Platooning Challenge παρουσίασε την τεχνολογική σκοπιμότητα των κομβίων που αποτελούνται από φορτηγά μίας εταιρείας και αξιολόγησε τα εναπομείναντα εμπόδια (European Automobile Manufacturers Association, 2017). Το European Truck Platooning Challenge οργανώθηκε από την Ολλανδία για την προώθηση του platooning φέρνοντας για πρώτη φορά τα συστήματα κομβίου σε δημόσιους δρόμους και αποτελεί την πρώτη διασυνοριακή πρωτοβουλία με έξυπνα φορτηγά στην Ευρώπη και μάλιστα παγκοσμίως. Έξι κατασκευαστές φορτηγών από την Ευρώπη διέθεσαν κομβία ημιαυτόνομων φορτηγών σε δημόσιους δρόμους, διασχίζοντας τα σύνορα διάφορων ευρωπαϊκών πόλεων με σκοπό να καταλήξουν στον τελικό τους προορισμό, στο λιμάνι του Ρότερνταμ. Οι κατασκευαστές που συμμετείχαν ήταν η ACEA, DAF Trucks, Daimler Trucks, Iveco, MAN Trucks & Bus, Scania και Volvo Group. Το έργο αυτό προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των κατασκευαστών, των κρατών μελών, των παρόχων υπηρεσιών logistics, φορέων οδικών μεταφορών, φορέων έγκρισης δρόμων και οχημάτων, ερευνητικών ιδρυμάτων και κυβερνήσεων. Η συνεργασία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο πολλών και διαφορετικών κανονισμών από όλες τις χώρες που θα εμπόδιζαν τους κατασκευαστές και τους οδικούς χρήστες να επενδύσουν στα αυτόνομα οχήματα (European Automobile Manufacturers Association, 2016). Σύμφωνα με το European Truck Platooning Challenge, το μέγιστο μήκος του κομβίου, το οποίο εξαρτάται από τον αριθμό των φορτηγών και από την απόσταση μεταξύ τους, είναι 16,5 μέτρα, ενώ η μέγιστη ταχύτητα είναι 80-90 kph.

Το 2017, σημειώθηκε μεγαλύτερη πρόοδος όσον αφορά στην τεχνολογία των συστημάτων κομβίου, τις δοκιμές και την επαλήθευση έργων από τους κατασκευαστές

φορτηγών. Από το έτος 2018, οι κατασκευαστές έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μέρος σε διάφορες δοκιμές, στις οποίες συμμετέχουν και διαχειριστές logistics, με σκοπό να εξετάσουν τα συστήματα κομβίοι σε πραγματικές συνθήκες και να αναπτύξουν την επιχειρησιακή σκοπιμότητά τους. Επιπλέον, ξεκινάει και η ανάπτυξη των συστημάτων κομβίοι με φορτηγά από πολλαπλές εταιρείες μέσω του ερευνητικού προγράμματος HORIZON 2020 (H2020) που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (European Automobile Manufacturers Association, 2017). Το H2020 είναι το μεγαλύτερο ερευνητικό και καινοτόμο πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης με στόχο να διασφαλιστεί ότι η Ευρώπη παράγει επιστήμη και τεχνολογία παγκόσμιας κλάσης, απομακρύνει τους φραγμούς στην καινοτομία και διευκολύνει τον δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα να συνεργαστούν για την επίλυση των μεγάλων προκλήσεων που αντιμετωπίζει η κοινωνία (European Commission, 2018). Στόχος ολοκλήρωσης είναι έως και το έτος 2025.

Οι αλλαγές σε ρυθμιστικά πλαίσια και τα μέτρα πολιτικής που απαιτούνται για τα συστήματα κομβίοι ξεκινούν το έτος 2016 με τη διακήρυξη του Άμστερνταμ (European Automobile Manufacturers Association, 2017). Με τη διακήρυξη του Άμστερνταμ για τα αυτόνομα οχήματα, τα κράτη μέλη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και ο ιδιωτικός τομέας συμφώνησαν σε κοινούς στόχους και κοινές δράσεις για τη διευκόλυνση της εισαγωγής των αυτόνομων οχημάτων στα ευρωπαϊκά οδικά δίκτυα. Αυτό είχε ως σκοπό να αποτρέψει την πληθώρα κανόνων και ρυθμίσεων που θα προέκυπταν εντός της ΕΕ, γεγονός που θα αποτελούσε εμπόδιο τόσο για τους κατασκευαστές όσο και για τους χρήστες των οδών, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα. Επίσης, η εναρμονισμένη νομοθεσία και οι κοινές πολιτικές θα επιτρέψουν την κυκλοφορία αυτόνομων οχημάτων, όπως συστημάτων κομβίοι εκτός των εθνικών συνόρων. Αυτό σημαίνει ότι οι χώρες της ΕΕ πρέπει να εργαστούν για τη συμβατότητα των απαιτήσεων ασφάλειας, των θεμάτων ευθύνης, των συστημάτων

επικοινωνίας και των υπηρεσιών, προκειμένου να διευκολύνουν τη μελλοντική ανάπτυξη της αγοράς και να βελτιώσουν την ανταγωνιστικότητα της Ευρώπης σε αυτόν τον τομέα. Η ανταλλαγή απόψεων και η συνεργασία σε αυτά τα θέματα θα συμβάλουν στην ολοκληρωμένη προσέγγιση της αυτοματοποιημένης οδήγησης σε ολόκληρη την ΕΕ (Government of the Netherlands, 2016).

Το 2017, οι εθνικές αρχές και η ΕΕ αρχίζουν να στηρίζουν τις διασυνοριακές δοκιμές των κομβί σε όλη την Ευρώπη. Ταυτόχρονα ως κίνητρο, ξεκινούν να πραγματοποιούνται μειώσεις φόρων και διοδίων, να γίνεται επιβράβευση των εταιρειών για τις μειώσεις εκπομπών CO₂ και να υπάρχει ευελιξία στους χρόνους οδήγησης με σκοπό την ώθηση της χρήσης κομβί φορτηγών. Από το 2018 έχουν ξεκινήσει να επανεξετάζονται, να προσαρμόζονται και να αναπτύσσονται τα απαιτούμενα ρυθμιστικά πλαίσια, καθώς και να εναρμονίζονται σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται ακόμη και εκτιμάται πως το έτος 2022 ότι η εισαγωγή της τεχνολογίας αυτής στην αγορά θα απαιτεί την άδεια για οδήγηση κομβί στους αυτοκινητοδρόμους της ΕΕ, χωρίς να χρειάζεται κάποια ειδική εξαίρεση (European Automobile Manufacturers Association, 2017).

Το 2019, εκδόθηκε το ρυθμιστικό πλαίσιο ENSEMBLE (ENabling SafE Multi-Brand pLatooning for Europe), το οποίο συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την DG Research and Innovation στο πρόγραμμα H2020. Ο κύριος σκοπός αυτού του έργου είναι να προετοιμάσει το έδαφος για την υιοθέτηση συστημάτων κομβί αυτόνομων οχημάτων με φορτηγά διαφορετικών εταιρειών για τη βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμων, της οδικής ασφάλειας και της παροχής υπηρεσιών. Αυτό θα παρουσιαστεί με την οδήγηση έως επτά φορτηγών διαφορετικών εταιρειών σε ένα ή περισσότερα κομβί υπό πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας, διασχίζοντας τα εθνικά σύνορα.

Όσον αφορά στα κενά ασφαλείας μεταξύ των φορτηγών στα κομβία, οι περισσότερες χώρες εκφράζουν στους εθνικούς κανονισμούς την υποχρέωση της ύπαρξης μίας «ελάχιστης απόστασης», η οποία εκφράζεται είτε σε απόσταση είτε σε χρόνο. Η συγκεκριμένη πρωτοβουλία έχει ως στόχο να καθοριστούν όλες οι αποστάσεις ασφαλείας σε κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ώστε να είναι γνωστό πότε πρέπει να αλλάξουν οι εθνικοί κανονισμοί και σε ποιον βαθμό. Στον Πίνακα 4-1, παρουσιάζεται η νομοθεσία που αφορά στις αποστάσεις ασφαλείας σε χώρες που έχουν συντάξει αντίστοιχο κανονισμό (Tobar et al., 2019).

Όπως αναφέρουν οι Tobar et al. (2019), οι πληροφορίες που απεικονίζονται στον παραπάνω Πίνακα μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για να φθάσουν σε ένα σημείο, στο οποίο θα απαιτούνται ελάχιστες τροποποιήσεις στις εθνικές νομοθεσίες για να επιτραπεί η χρήση κομβία.

Για την ολοκλήρωση του Πίνακα 4-1 με όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εξακολουθούν να λείπουν ορισμένες πληροφορίες. Όπως παρατηρείται, η Ελλάδα δεν έχει κάποια νομοθεσία που αφορά στις αποστάσεις ασφαλείας. Σκοπός είναι να προσδιοριστούν τουλάχιστον όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για να καλυφθεί και να αναλυθεί η διαδρομή που θα παρουσιαστεί το κομβία φορτηγών διαφορετικών εταιρειών.

Πίνακας 4-1: Νομοθεσία για τις αποστάσεις ασφαλείας ανά χώρα (Πηγή:

Τροποποιήθηκε από Tobar et al., 2019).

Χώρα	Μέτρηση ως:				Σχόλια
	Χρόνος	Απόσταση	Υποκειμενικά	Άλλο	
Γερμανία		•	•		Διατήρηση επαρκούς απόστασης ως γενικός κανόνας. Εάν το όχημα έχει μήκος μεγαλύτερο από 7μ., πρέπει να υπάρχει επαρκής απόσταση για ένα ακόμη όχημα μπροστά. Οχήματα άνω των 3,5tn. Πρέπει να διατηρούν απόσταση μεγαλύτερη των 50μ., όταν η ταχύτητά τους είναι μεγαλύτερη από 50χλμ./ω.
Αυστρία	•	•	•		Υποχρεωτική διατήρηση επαρκούς απόστασης ασφαλείας. Απόσταση μικρότερη των 14μ. είναι παράβαση. Απαιτείται απόσταση τουλάχιστον 20μ. πίσω από οδοντωτό όχημα. Για οχήματα βιομηχανίας: απόσταση μεγαλύτερη των 50μ. σε τοπικούς δρόμους.
Βέλγιο			•		Η απόσταση ασφαλείας μεταβάλλεται σύμφωνα με την ταχύτητα.
Βουλγαρία			•		Μεταβολή της απόστασης ασφαλείας ανάλογα με την ταχύτητα και το φορτίο.
Κύπρος	•	•			Ο κανόνας των 2s και διάφορες προτεινόμενες αποστάσεις: μέχρι και 4s σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Απόσταση 5μ. μεταξύ των οχημάτων σε πλήρη στάση σε σήραγγα.
Ισπανία			•		Αρκετή απόσταση, ώστε να μπορεί το όχημα να σταματάει με ασφάλεια.
Γαλλία	•				Απόσταση μεγαλύτερη των 2s για τα αυτοκίνητα και 50μ. για τα φορτηγά.
Ιρλανδία		•			Ο RSA προτείνει διάφορες

Χώρα	Μέτρηση ως:				Σχόλια
	Χρόνος	Απόσταση	Υποκειμενικά	Άλλο	
					αποστάσεις ασφαλείας που εξαρτώνται από την ταχύτητα.
Ιταλία		•			100μ. εκτός αστικών περιοχών, 20μ. πίσω από μηχανήματα βιομηχανίας.
Λουξεμβούργο	•				Απόσταση μεγαλύτερη των 2s.
Μάλτα		•	•	•	Ο κανόνας των 2s και διάφορες προτεινόμενες αποστάσεις: πάνω από 4s για δυσμενείς καιρικές συνθήκες.
Ολλανδία	•				Απόσταση < 1s θεωρείται παράβαση. Εφαρμόζεται ο κανόνας των 2s.
Πορτογαλία			•		Αρκετή απόσταση, ώστε να μπορεί το όχημα να σταματάει με ασφάλεια.
Ηνωμένο Βασίλειο	•	•			Ο κανόνας των 2s και διάφορες προτεινόμενες αποστάσεις: πάνω από 4s για δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Απόσταση 5μ. μεταξύ των οχημάτων σε πλήρη στάση σε σήραγγα.

4.8 Αξιολόγηση χρήσης αυτόνομων οχημάτων στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές

Όπως έχουν δείξει και τα προηγούμενα Κεφάλαια, τα αυτόνομα οχήματα έχουν να προσφέρουν πολλά στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, από περισσότερη άνεση και ασφάλεια έως μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τα οφέλη των αυτόνομων οχημάτων είναι εμφανή και στις εμπορευματικές μεταφορές. Η μείωση του χρόνου και του κόστους μεταφοράς, η μείωση στους χρόνους αναμονής των πελατών, καθώς και η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της κατανάλωσης καυσίμων είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση των αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές.

Ωστόσο, παρόλο που οι θετικές επιπτώσεις της χρήσης αυτόνομων οχημάτων και κομβίοι είναι σημαντικές, υπάρχουν αρκετές ελλείψεις στα θεσμικά πλαίσια σε πολλές χώρες και μία από αυτές είναι και η Ελλάδα. Σε εθνικό επίπεδο φαίνεται να μην υπάρχουν ρυθμιστικά πλαίσια και νομοθεσίες που να αφορούν στη χρήση αυτόνομων οχημάτων και ακόμη περισσότερο στη χρήση κομβίοι αυτόνομων φορτηγών. Όμως, σε ευρωπαϊκό επίπεδο και ακόμη περισσότερο σε διεθνές, γίνονται πολλές προσπάθειες για αναθεωρήσεις νομοθεσιών και κανονισμών για την ενσωμάτωση των κομβίοι στα οδικά δίκτυα.

Οι περισσότερες έρευνες που μελετούν τη χρήση συστημάτων κομβίοι αυτόνομων φορτηγών στις εμπορευματικές μεταφορές αφορούν κυρίως σε αυτοκινητόδρομους. Από την άλλη πλευρά, τα αστικά δίκτυα αποτελούν μια πραγματική πρόκληση για τα αυτόνομα οχήματα και πιο συγκεκριμένα τα κομβίοι. Η πρόκληση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το αστικό δίκτυο θεωρείται λιγότερο προβλέψιμο και αρκετά περίπλοκο ιδιαίτερα όταν είναι συμφορημένο και αλληλοεπιδρούν όλες οι κατηγορίες των χρηστών. Το πλεονέκτημα του

αστικού περιβάλλοντος είναι οι χαμηλές ταχύτητες που επιτρέπουν στα οχήματα να έχουν το χρόνο να αντιδράσουν σε οποιοδήποτε περιστατικό.

Οι Haas & Friedrich (2018) μελέτησαν τον χρόνο ταξιδιού σε αστικό δίκτυο ενός συστήματος κομβίι αυτόνομων φορτηγών παράδοσης τρίτου ή μεγαλύτερου επιπέδου αυτονομίας, ενώ το πρώτο φορτηγό είχε οδηγό. Ο χρόνος ταξιδιού μετρήθηκε ελέγχοντας 3 παραμέτρους: τον αριθμό των οχημάτων σε κάθε κομβίι, τον συνολικό αριθμό των κομβίι και τον αριθμό των οχημάτων που δεν ανήκαν σε κομβίι. Το δίκτυο περιλάμβανε δύο τμήματα, 800 μέτρων το καθένα, συνδεδεμένα με έναν κυκλικό κόμβο. Η έρευνα διεξήχθη με τη βοήθεια της προσομοίωσης. Στη δεύτερη έρευνα που αφορούσε στα συστήματα κομβίι, οι Scherr et al. (2018) μελέτησαν την ενσωμάτωση μεικτών αυτόνομων στόλων στην πρώτη βαθμίδα της εφοδιαστικής αλυσίδας στις πόλεις. Χρησιμοποίησαν ένα απλό αστικό δίκτυο, στο οποίο υπάρχουν αυτόνομα και μη αυτόνομα οχήματα, δηλαδή ήταν ένα ετερογενές περιβάλλον. Σε αυτό το δίκτυο, τα κομβίι χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν τα αυτόνομα οχήματα σε τμήματα του δικτύου, στα οποία αυτά δεν μπορούν να κυκλοφορήσουν. Η έρευνα αυτή διεκπεραιώθηκε μέσω μαθηματικού μοντέλου.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, θα έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον να διερευνηθεί ποιες θα είναι οι επιπτώσεις της χρήσης κομβίι αυτόνομων φορτηγών στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές και πώς η χρήση τους θα επηρεάσει την κυκλοφορία, την ασφάλεια και τις εκπομπές αερίων ρύπων στο αστικό περιβάλλον.

Κεφάλαιο 5 Μελέτη περίπτωσης

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η περίπτωση που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία και περιγράφονται τα διαθέσιμα δεδομένα και ο τρόπος επεξεργασίας τους.

5.1 Περιοχή μελέτης

Καθώς η εργασία αυτή εστιάζει σε αστικές εμπορευματικές μεταφορές, κρίθηκε απαραίτητη η αναζήτηση ενός αστικού δικτύου που θα διαμορφωνόταν ως η περιοχή μελέτης. Η δυνατότητα αξιοποίησης υφιστάμενου βαθμονομημένου κυκλοφοριακού μοντέλου μικροσκοπικής προσομοίωσης (Μαυρογενίδου, 2019), οδήγησε στην επιλογή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης που καλύπτει μια έκταση περίπου 22 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Επίσης, υπήρχαν διαθέσιμα κυκλοφοριακά δεδομένα που αντιστοιχούν σε ημερήσιους φόρτους μιας τυπικής ημέρας, ενώ αναζητήθηκαν στοιχεία παραδόσεων δεμάτων.

5.2 Διάθεση, περιγραφή και επεξεργασία δεδομένων δεμάτων

Δεδομένα παραδόσεων χορηγήθηκαν από την εταιρεία ταχυμεταφορών ELTA Courier. Η εταιρεία ELTA Courier έχει αναπτύξει έντονη δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης, καθώς υπάρχουν τρία πρακτορεία, τα οποία πραγματοποιούν παραδόσεις. Τα αρχικά δεδομένα της εταιρείας επεξεργάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν με στόχο την προσομοίωση της παρούσας κατάστασης, όσον αφορά στη διανομή των δεμάτων από την εν λόγω εταιρεία.

Αναλυτικά, τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την εταιρεία περιέχουν όλες τις παραδόσεις που πραγματοποιήθηκαν τον μήνα Οκτώβριο του έτους 2018. Για κάθε πραγματοποιηθείσα παράδοση ήταν διαθέσιμα στοιχεία ημερομηνίας και ώρας. Επίσης, υπήρχαν στοιχεία του πρακτορείου από το οποίο ξεκίνησε η παράδοση και του ταχυδρομικού κώδικα (TK) παράδοσης του δέματος, καθώς δεν ήταν δυνατή η παροχή των ακριβών διευθύνσεων για λόγους προστασίας των προσωπικών δεδομένων. Το αρχείο με τα δεδομένα περιλαμβάνει επίσης το βάρος του κάθε δέματος, καθώς και τον αριθμό των παραδόσεων που πραγματοποιεί κάθε όχημα, τον τύπο του οχήματος (βαν ή δίκυκλο) και τη μεταφορική του ικανότητα.

Σύμφωνα με τα δεδομένα, τα πρακτορεία τα οποία βρίσκονται στην περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης και τα οποία πραγματοποιούν παραδόσεις σε ταχυδρομικούς κώδικες που ανήκουν στην περιοχή αυτή παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-1 και είναι τα εξής:

- (1) ELTA Courier στην περιοχή της Ανάληψης (Πρακτορείο 1),
- (2) ELTA Courier στον Δήμο Καλαμαριάς (Πρακτορείο 2), και
- (3) ELTA Courier στον Δήμο Πυλαίας (Πρακτορείο 3).



Σχήμα 5-1: Πρακτορείο 1 (αριστερά), Πρακτορείο 2 (μέση), Πρακτορείο 3 (δεξιά) (Google maps).

Από το σύνολο των παραδόσεων επιλέχθηκαν προς μελέτη οι παραδόσεις που έλαβαν χώρα σε διάστημα δύο ωρών μίας τυπικής ημέρας. Η τυπικότητα της επιλεχθείσας ημέρας εξασφαλίστηκε ως εξής: Αρχικά, από όλες τις ημέρες του μήνα επιλέχθηκαν όλες οι Τρίτες, καθώς είναι ημέρες, στις οποίες υπάρχει μια σχετικά αυξημένη κινητικότητα λόγω της λειτουργίας των καταστημάτων τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες. Αναλυτικά, οι ημερομηνίες ήταν 02/10/18, 09/10/18, 16/10/18 και 30/10/18. Η Τρίτη 23/10/18 δεν συμπεριλήφθηκε καθώς είναι ημέρα πριν από αργίες (26 και 28 Οκτωβρίου) και δεν θα πληρούσε τα κριτήρια μιας τυπικής ημέρας. Για κάθε μία από τις παραπάνω ημέρες εντοπίστηκαν οι παραδόσεις για τα διαστήματα 10:00-12:00, 14:00-16:00 και 18:00-20:00. Τελικά, επιλέχθηκαν οι παραδόσεις που πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 14:00-16:00 της Τρίτης 30/10/2018, καθώς βρέθηκαν να προσεγγίζουν περισσότερο τον μέσο όρο των παραδόσεων όλων αυτών των προαναφερθέντων διαστημάτων.

Στο διάστημα που επιλέχθηκε, πραγματοποιούνται συνολικά 140 παραδόσεις και από τα τρία πρακτορεία της εταιρείας, καλύπτοντας μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα, τα πρακτορεία της Ανάλυσης, της Καλαμαριάς και της Πυλαίας πραγματοποιούν 49, 53 και 38 παραδόσεις, αντίστοιχα. Μέσα σε αυτό το διάστημα, παραδόσεις εκτελούνται από πέντε βαν και δύο δίκυκλα από το πρακτορείο της Ανάλυσης, τριών βαν και τεσσάρων δίκυκλων από το πρακτορείο της Καλαμαριάς και έξι βαν και πέντε δίκυκλων από το πρακτορείο της Πυλαίας. Στους Πίνακες 5-1, 5-2 και 5-3 παρουσιάζονται οι ταχυδρομικοί κώδικες που εξυπηρετούνται από το πρακτορείο της Ανάλυσης, της Καλαμαριάς και της Πυλαίας, αντίστοιχα, καθώς και ο τύπος κάθε οχήματος, η ακριβής ώρα παραδόσεων και το βάρος των δεμάτων.

Από τους Πίνακες διαπιστώνεται ότι κάθε βαν και δίκυκλο εξυπηρετεί συγκεκριμένους ταχυδρομικούς κώδικες (TK), δηλαδή συγκεκριμένες περιοχές. Εξαιρέσεις

αποτελούν οι TK 55132 και 55134 που εξυπηρετούνται από δύο πρακτορεία. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η εξυπηρέτηση ολόκληρης της περιοχής της Ανατολικής Θεσσαλονίκης.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι το Εργαστήριο Κυκλοφορίας, Μεταφορών και Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (TTLog) του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας είναι σύμφωνο με τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (GDPR). Τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την εταιρεία ELTA Courier, χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς και συγκεκριμένα για τις ανάγκες εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας 5-1: Στοιχεία παραδόσεων από το πρακτορείο της Ανάλυσης για το χρονικό διάστημα μελέτης.

ID οχήματος	Τύπος οχήματος	Ημερομηνία – ώρα	TK	Βάρος (κιλά)
A	Βαν	2018-10-30-140000	54641	1,0
		2018-10-30-141100	54641	5,5
B	Βαν	2018-10-30-140205	54642	1,0
		2018-10-30-143001	54642	1,0
		2018-10-30-151652	54642	1,0
		2018-10-30-151912	54642	1,0
		2018-10-30-153824	54642	1,0
		2018-10-30-154536	54642	1,0
C	Βαν	2018-10-30-140200	54248	1,0
		2018-10-30-141434	54248	1,0
		2018-10-30-141513	54640	1,0
		2018-10-30-142140	54644	1,602
		2018-10-30-142700	54644	1,0
		2018-10-30-143144	54640	2,0
		2018-10-30-143436	54248	2,0
		2018-10-30-143522	54248	1,0
		2018-10-30-145320	54248	2,0
		2018-10-30-151701	54644	1,0
		2018-10-30-151704	54248	5,2
		2018-10-30-153804	54644	1,0
		2018-10-30-154501	54248	2,0
		2018-10-30-154845	54644	1,0
		2018-10-30-154900	54644	7,0
		2018-10-30-155152	54248	1,0
2018-10-30-155758	54640	1,0		
D	Βαν	2018-10-30-142228	55132	1,0
		2018-10-30-143300	54624	1,0
		2018-10-30-150227	54643	1,0
		2018-10-30-151308	54643	1,0

		2018-10-30-155749	54643	1,0
E	Βαν	2018-10-30-142618	54645	1,0
		2018-10-30-143400	54646	1,0
		2018-10-30-150855	54646	1,0
		2018-10-30-151430	54645	1,0
		2018-10-30-151745	54646	1,0
		2018-10-30-152337	54645	25,0
		2018-10-30-153154	54645	2,0
		2018-10-30-153216	54645	1,0
		2018-10-30-154738	54645	1,0
		2018-10-30-155629	54645	2,0
		2018-10-30-155843	54646	1,0
AA	Δίκυκλο	2018-10-30-142457	54640	0,5
		2018-10-30-152424	54640	0,1
		2018-10-30-152731	54640	0,1
		2018-10-30-155544	54248	0,28
AB	Δίκυκλο	2018-10-30-153906	54644	0,1
		2018-10-30-154324	54646	0,1
		2018-10-30-155803	54642	0,1
		2018-10-30-155930	54643	0,8

Πίνακας 5-2: Στοιχεία παραδόσεων από το πρακτορείο της Καλαμαριάς για το χρονικό διάστημα μελέτης.

ID οχήματος	Τύπος οχήματος	Ημερομηνία – ώρα	TK	Βάρος (κιλά)
F	Βαν	2018-10-30-143200	54655	1,0
		2018-10-30-145237	54655	1,0
		2018-10-30-151930	54655	1,0
		2018-10-30-152750	54655	1,0
G	Βαν	2018-10-30-140129	55131	1,0
		2018-10-30-141027	55131	1,0
		2018-10-30-141500	55131	1,0
		2018-10-30-152819	55131	4,0
		2018-10-30-152829	55131	2,0
		2018-10-30-152836	55131	2,0
		2018-10-30-152843	55131	1,0
		2018-10-30-152847	55131	2,0
		2018-10-30-152901	55131	1,0
		2018-10-30-153615	55131	1,0
		2018-10-30-153919	55131	1,0
		2018-10-30-155630	55131	1,0
2018-10-30-155638	55131	1,0		
H	Βαν	2018-10-30-141206	55133	1,0
		2018-10-30-142218	55133	1,0
		2018-10-30-143654	55133	4,4
		2018-10-30-143704	55133	1,0
		2018-10-30-143706	55133	2,0
		2018-10-30-143712	55133	1,0
		2018-10-30-150926	55134	2,0
		2018-10-30-151126	55133	1,0
		2018-10-30-153118	55133	1,0
		2018-10-30-154634	55133	1,9
2018-10-30-155800	55133	1,0		

ID οχήματος	Τύπος οχήματος	Ημερομηνία – ώρα	TK	Βάρος (κιλά)
BA	Δίκυκλο	2018-10-30-140000	55131	0,1
		2018-10-30-140600	55132	0,1
		2018-10-30-141226	55132	0,5
		2018-10-30-145149	55131	0,1
		2018-10-30-152846	55131	0,6
		2018-10-30-155658	55131	0,5
BB	Δίκυκλο	2018-10-30-143314	55132	0,5
		2018-10-30-151703	55132	0,16
		2018-10-30-154427	55133	0,2
		2018-10-30-155100	55132	0,5
BC	Δίκυκλο	2018-10-30-141236	55134	0,77
		2018-10-30-144500	55135	0,01
		2018-10-30-155920	55134	0,1
EE	Δίκυκλο	2018-10-30-141214	55132	1,0
		2018-10-30-141951	55132	1,0
		2018-10-30-142000	55132	1,0
		2018-10-30-142016	55132	1,0
		2018-10-30-142031	55132	1,0
		2018-10-30-142045	55132	1,0
		2018-10-30-143715	55132	1,0
		2018-10-30-150855	55132	2,0
		2018-10-30-151449	55132	1,0
		2018-10-30-152310	55132	1,0
		2018-10-30-154313	55132	1,0
2018-10-30-155715	55132	1,0		

Πίνακας 5-3: Στοιχεία παραδόσεων από το πρακτορείο της Πυλαίας για το χρονικό διάστημα μελέτης.

ID οχήματος	Τύπος οχήματος	Ημερομηνία – ώρα	TK	Βάρος (κιλά)
I	Βαν	2018-10-30-140201	54250	1,0
		2018-10-30-142838	54250	1,0
		2018-10-30-151258	55236	1,0
		2018-10-30-153434	54250	1,0
		2018-10-30-155818	55236	1,0
J	Βαν	2018-10-30-140538	54352	1,0
		2018-10-30-140614	54352	1,0
		2018-10-30-140903	54352	1,0
		2018-10-30-143850	54352	1,0
		2018-10-30-144013	54352	1,0
		2018-10-30-155734	54352	1,0
K	Βαν	2018-10-30-142826	54454	1,0
		2018-10-30-142829	54454	2,0
L	Βαν	2018-10-30-143650	55134	1,0
		2018-10-30-143839	55134	1,0
		2018-10-30-143840	55134	1,0
M	Βαν	2018-10-30-142601	55535	1,0
		2018-10-30-144528	55535	2,0
		2018-10-30-145141	55535	7,0
		2018-10-30-145154	55535	3,0
		2018-10-30-152114	55535	1,0

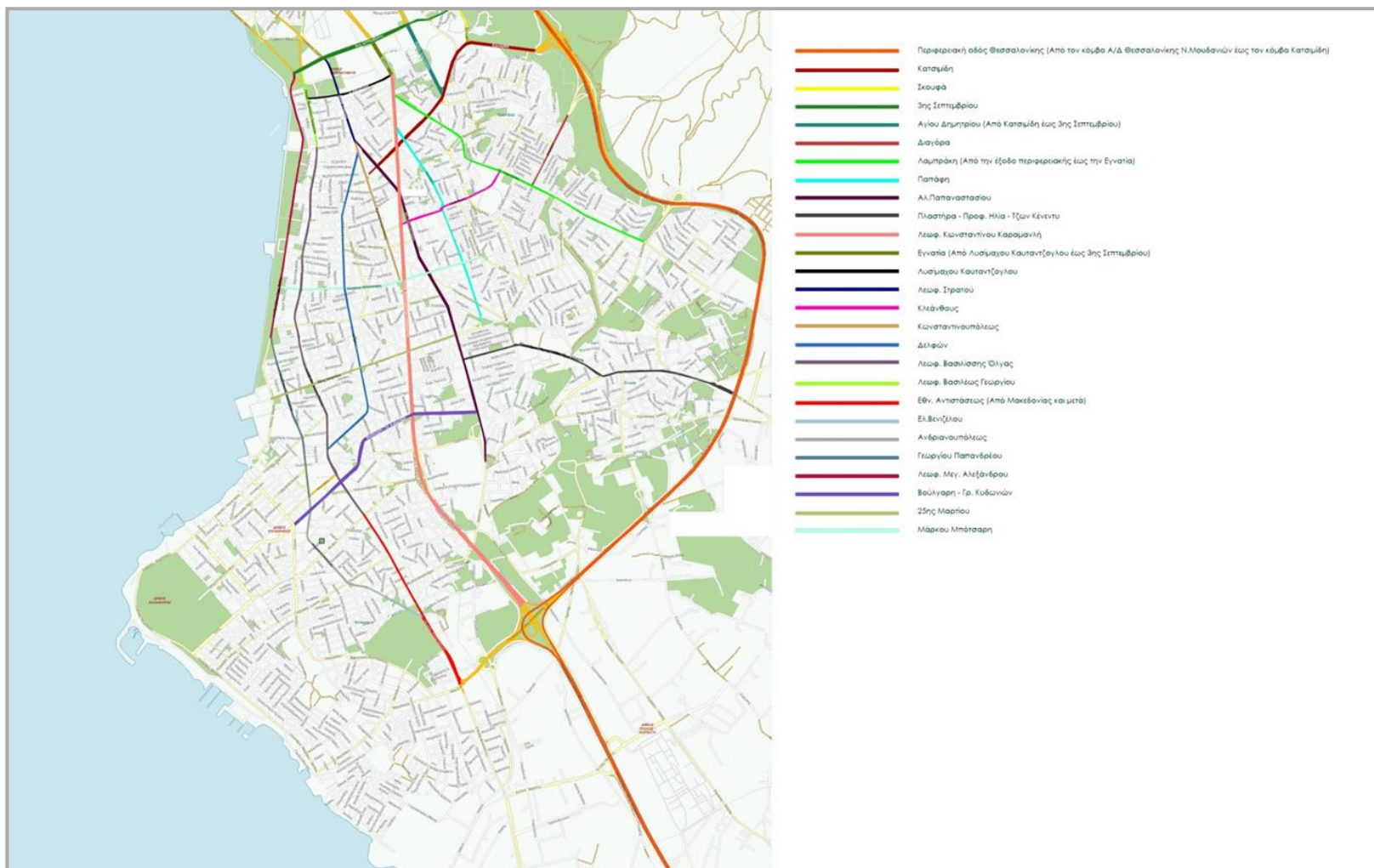
ID οχήματος	Τύπος οχήματος	Ημερομηνία – ώρα	TK	Βάρος (κιλά)
		2018-10-30-154154	55534	1,0
		2018-10-30-155709	55535	8,56
		2018-10-30-155800	55535	1,0
N	Βαν	2018-10-30-144344	57010	1,0
		2018-10-30-152456	57010	1,0
CA	Δίκυκλο	2018-10-30-150207	54250	0,1
CB	Δίκυκλο	2018-10-30-140814	54352	0,098
		2018-10-30-152351	54352	0,1
CC	Δίκυκλο	2018-10-30-142753	54454	0,9
		2018-10-30-150050	54454	0,2
CD	Δίκυκλο	2018-10-30-144235	55236	0,1
		2018-10-30-154327	55236	0,1
		2018-10-30-155634	55236	0,65
		2018-10-30-155701	55236	0,16
CE	Δίκυκλο	2018-10-30-151413	55535	0,1
		2018-10-30-153237	55535	0,5
		2018-10-30-155858	55535	0,76

5.3 Διάθεση, περιγραφή και επεξεργασία κυκλοφοριακών δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, αξιοποιήθηκε υφιστάμενο βαθμονομημένο κυκλοφοριακό μοντέλο (Μαυρογενίδου, 2019). Μεταξύ των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν είναι τα κυκλοφοριακά στοιχεία της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης και η πρωτογενής επεξεργασία τους. Συνοπτικά, το κυκλοφοριακό δίκτυο διαμορφώθηκε με την επιλογή της περιφερειακής οδού της Θεσσαλονίκης και στη συνέχεια των βασικών αξόνων στο εσωτερικό δίκτυο, δηλαδή οδών με υψηλή κυκλοφορία. Επιπλέον, για τη συγκεκριμένη περιοχή, συγκεντρώθηκαν τα προγράμματα φωτεινής από τη Διεύθυνση Τεχνικών Έργων του Δήμου Θεσσαλονίκης, όπως και οι κυκλοφοριακοί φόρτοι από το Ινστιτούτο Βιώσιμης Κινητικότητας και Δικτύων Μεταφορών (IMET) (Μαυρογενίδου, 2019). Στον Πίνακα 5-4, φαίνονται τα σημεία συλλογής των κυκλοφοριακών φόρτων, διαχωρισμένα σε κόμβους και διατομές.

Πίνακας 5-4: Σημεία συλλογής κυκλοφοριακών φόρτων (Μαυρογενίδου, 2019).

Θέσεις μετρήσεων κυκλοφοριακών φόρτων σε κόμβους	Θέσεις μετρήσεων κυκλοφοριακών φόρτων σε διατομές
Β. Όλγας – Μπότσαρη	Διαγόρα είσοδος/έξοδος Εσ. Περιφ.
Λ. Μ. Αλεξάνδρου – Νίκης – Π. Μελά – Ν. Γερμανού	Πυλαίας – Χορτιάτη Τζον Κένεντι, μετά τη στροφή προς Εσ. Περιφ.
Αγ. Δημητρίου – Κατσιμίδα	Πυλαίας – Χορτιάτη Τζον Κένεντι, πριν τη στροφή προς Εσ. Περιφ.
Β. Όλγας – Γ. Σεπτεμβρίου	Πυλαίας – Χορτιάτη Τζον Κένεντι, μετά τη στροφή προς Εσ. Περιφ. (με κατεύθυνση προς Πυλαία)
Βούλγαρη – Λ. Κ. Καραμανλή	Λεωφόρος Στρατού 3
Β. Όλγας – 25 ^{ης} Μαρτίου	
Αλ. Παπαναστασίου – Λ. Κ. Καραμανλή	
Εγνατία – Κατσιμίδα	
Β. Όλγας – Αιγαίου	



Σχήμα 5-2: Χάρτης του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης (Μαυρογενίδου, 2019).

Κεφάλαιο 6 Ανάπτυξη κυκλοφοριακού μοντέλου παράδοσης δεμάτων στην περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης

Στο 6^ο Κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη του κυκλοφοριακού μοντέλου παράδοσης δεμάτων στην περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης. Περιγράφεται η διαμόρφωση του βασικού σεναρίου κυκλοφοριακού μοντέλου και η εναλλακτική λύση που αναπτύχθηκε και τέλος, παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα.

6.1 Διαμόρφωση βασικού σεναρίου κυκλοφοριακού μοντέλου

Στο διαθέσιμο βαθμονομημένο κυκλοφοριακό μοντέλο (Μαυρογενίδου, 2019) προστέθηκαν τα δρομολόγια των εμπορευματικών οχημάτων για την ανάπτυξη του βασικού σεναρίου του εμπορευματικού κυκλοφοριακού μοντέλου. Πρώτο βήμα για την προσομοίωση του βασικού σεναρίου ήταν η εύρεση των σημείων εκείνων στο δίκτυο που εκπροσωπούν κάθε Ταχυδρομικό Κώδικα (TK). Αυτή η διαδικασία ακολουθήθηκε, καθώς τα δεδομένα δεν αντιστοιχούσαν σε ακριβείς διευθύνσεις των παραδόσεων, αλλά σε TK. Με αυτόν τον τρόπο, εντοπίστηκε ένα κεντρικό σημείο για κάθε TK και έγινε η υπόθεση ότι το σημείο αυτό αντιπροσωπεύει ολόκληρο τον TK. Λόγω του ότι η σχεδίαση του οδικού δικτύου στο μοντέλο περιλαμβάνει συγκεκριμένες κεντρικές αρτηρίες, τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν τα σημεία που αναπαριστούν κάθε TK είναι τα εξής:

- (1) Κάθε σημείο πρέπει να βρίσκεται μέσα στο πολύγωνο που ορίζει ο TK.

(2) Κάθε σημείο πρέπει να βρίσκεται πάνω σε κάποια από τις υπάρχουσες σχεδιασμένες οδούς του δικτύου, εκτός από κάποιες περιπτώσεις, στις οποίες απαιτήθηκε να σχεδιαστούν κάποιοι επιπλέον δρόμοι που θα αναφερθούν στη συνέχεια.

(3) Κάθε σημείο πρέπει να βρίσκεται κοντά στο γεωμετρικό κέντρο του πολυγώνου, εάν αυτό είναι δυνατό.

Τέλος, πολλά σημεία επιλέχθηκαν να βρίσκονται σε τοποθεσίες ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα πρατήρια βενζίνης, καταστήματα τραπεζών, σουπερμάρκετ, δηλαδή σημεία έλξης μετακινήσεων. Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, σχεδιαστήκαν στο δίκτυο τα σημεία που αναπαριστούν όλους τους ΤΚ, στους οποίους γίνονται παραδόσεις στο χρονικό διάστημα μελέτης.

Επίσης, υπήρχαν κάποιες «στάσεις», δηλαδή σημεία ΤΚ, εντός του διαστήματος, οι οποίες ήταν εκτός της περιοχής της Ανατολικής Θεσσαλονίκης ή ήταν εντός της περιοχής, αλλά λόγω του περιορισμένου σε πλήθος αξόνων δικτύου του μοντέλου, δεν υπήρχε κάποια οδός σχεδιασμένη, ώστε να τις εξυπηρετεί άμεσα. Για αυτές τις στάσεις σχεδιάστηκαν νέοι άξονες για τη σύνδεσή τους με το κεντρικό δίκτυο. Η σχεδιάσή τους πραγματοποιήθηκε, καθώς θεωρήθηκε ότι, εάν και βρίσκονται εκτός της περιοχής μελέτης, το όχημα που θα κάνει την παράδοση σε αυτούς τους ΤΚ θα διέλθει μέσα από το δίκτυο και θα το επιβαρύνει. Στη συνέχεια, για εκείνες τις στάσεις, οι οποίες βρίσκονται μεν εντός περιοχής μελέτης, αλλά δεν υπήρχε κάποιος σχεδιασμένος δρόμος (π.χ. ΤΚ: 54352, 55131, 55132) σχεδιάστηκαν νέοι άξονες, οι οποίοι περνούν από τις στάσεις και συνδέονται με το κυρίως δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο έγιναν προσβάσιμες όλες οι στάσεις για το διάστημα που έχει επιλεγεί για ανάλυση.

Επόμενο βήμα ήταν η εύρεση της τοποθεσίας των πρακτορείων της Ανάλυσης, της Καλαμαριάς και της Πυλαίας με σκοπό να κωδικοποιηθούν στο υπάρχον δίκτυο. Η τοποθεσία

των καταστημάτων βρέθηκε με τη χρήση των Google Maps. Τα πρακτορεία της Καλαμαριάς και της Πυλαίας βρίσκονται σε οδούς που δεν υπήρχαν στο δίκτυο, επομένως έπρεπε να σχεδιαστούν νέοι άξονες και να συνδεθούν με το υπάρχον οδικό δίκτυο.

Η δημιουργία των σημείων που αναπαριστούν τις στάσεις και τα πρακτορεία, έγινε όπως ενδεικτικά απεικονίζεται στο Σχήμα 6-1, για το πρακτορείο της Ανάληψης και τον ΤΚ: 54642.



Σχήμα 6-1: Σχεδίαση πρακτορείου Ανάληψης (αριστερά), σχεδίαση στάσης στον ΤΚ 54642 (δεξιά) (PTV Vissim).

Επόμενο βήμα είναι η απεικόνιση στο δίκτυο όλων των διαδρομών που πραγματοποίησαν τα οχήματα της εταιρείας ELTA Courier στο διάστημα μελέτης. Λόγω του ότι στο λογισμικό PTV VISSIM δεν υπάρχει η δυνατότητα για δημιουργία δρομολογίου ιδιωτικού οχήματος με στάσεις, η κάθε διαδρομή δημιουργήθηκε ως δρομολόγιο δημόσιας συγκοινωνίας με τη χρήση της επιλογής «public transport line». Αντίστοιχα, οι στάσεις σχεδιάστηκαν ως στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας με τη χρήση της επιλογής «public transport stop». Κάθε διαδρομή απαιτεί ως δεδομένα εισόδου στοιχεία όπως είναι ο χρόνος αναχώρησης, δηλαδή η χρονική στιγμή της εισόδου του οχήματος στο δίκτυο του μοντέλου, ο τύπος του οχήματος και η ταχύτητα με την οποία είναι επιθυμητό να κινείται κάθε όχημα.

Όσον αφορά στον τύπο του οχήματος, διαμορφώθηκαν δύο νέες κατηγορίες οχημάτων, 610:VAN και 620:Dikykla. Αναλυτικά, ο χρόνος αναχώρησης του οχήματος από το πρακτορείο ήταν άγνωστος, αφού στα δεδομένα που χορηγήθηκαν υπήρχε μόνο η ώρα παράδοσης, δηλαδή η ώρα που το δέμα φτάνει στα χέρια του πελάτη. Για αυτόν τον λόγο έπρεπε να γίνει εκτίμησή του. Γνωρίζοντας από τα δεδομένα τη χρονική στιγμή που το όχημα φτάνει στην πρώτη του στάση, μετρήθηκε ο χρόνος που απαιτείται, ώστε το όχημα να μεταβεί από το πρακτορείο έως την πρώτη στάση και στη συνέχεια αυτός ο χρόνος αφαιρέθηκε από τη χρονική στιγμή της πρώτης στάσης. Για παράδειγμα, στη διαδρομή A το όχημα έκανε μόλις 34 δευτερόλεπτα σε χρόνο προσομοίωσης για να διανύσει την απόσταση από το πρακτορείο, δηλαδή από την είσοδό του στο δίκτυο έως την πρώτη στάση. Στην πρώτη στάση το όχημα φτάνει ακριβώς στις 14:00 (1.800 sec), όπως γνωρίζουμε από τα δεδομένα, επομένως θα πρέπει να ξεκινήσει από το πρακτορείο στις 13:59:26. Ο χρόνος αυτός στο λογισμικό πρέπει να μετατραπεί σε χρόνο προσομοίωσης. Η προσομοίωση διαρκεί συνολικά 9.000 δευτερόλεπτα (2,5 ώρες), ενώ τα πρώτα 1.800 δευτερόλεπτα (0,5 ώρα) είναι ο χρόνος «προθέρμανσης» του δικτύου. Επομένως, το δίωρο 14:00-16:00 αντιστοιχεί στο 1.800^ο δευτερόλεπτο με 9.000^ο δευτερόλεπτο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα που δόθηκε, η ώρα αναχώρησης του οχήματος από το πρακτορείο για τη διαδρομή A είναι:

1.800 sec (η χρονική στιγμή της πρώτης στάσης) – 34 sec (ο χρόνος που κάνει το όχημα από το πρακτορείο στην πρώτη στάση) = 1.766 sec.

Αυτή είναι και μία ιδιαίτερη περίπτωση, καθώς ο χρόνος αναχώρησης γίνεται λίγο πριν ολοκληρωθούν τα 1.800 sec, δηλαδή πριν ολοκληρωθεί ο χρόνος «προθέρμανσης» του δικτύου.

Κάθε όχημα, βαν ή δίκυκλο, πραγματοποίησε ένα δρομολόγιο. Επομένως ο αριθμός των δρομολογίων είναι ίσος με τον αριθμό των οχημάτων δηλαδή ίσος με 25. Κάθε

δρομολόγιο πήρε το διακριτικό (όνομα) του οχήματος που το πραγματοποιεί, όπως δόθηκε από την εταιρεία. Τα δρομολόγια που πραγματοποιήθηκαν από βαν ονομάστηκαν με ένα γράμμα και τα δρομολόγια που πραγματοποιήθηκαν από δίκυκλα ονομάστηκαν με δύο γράμματα. Κάποια από τα δρομολόγια ήταν αρκετά μεγάλα και περίπλοκα, δηλαδή είχαν πολλές στάσεις. Για αυτόν τον λόγο χωρίστηκαν σε μικρότερα δρομολόγια. Για παράδειγμα το δρομολόγιο «C» πραγματοποιεί συνολικά 13 στάσεις επομένως χωρίστηκε σε 13 μικρότερα δρομολόγια, δηλαδή ένα δρομολόγιο για κάθε στάση. Επομένως το δρομολόγιο C.1 αντιστοιχεί στη διαδρομή του βαν C από το πρακτορείο έως την πρώτη στάση, το C.2 είναι η διαδρομή από την πρώτη στάση έως τη δεύτερη και τα δρομολόγια συνεχίζονται με την ίδια λογική μέχρι το C.13 που αντιστοιχεί στη διαδρομή από την τελευταία στάση μέχρι το πρακτορείο. Με αυτό τον τρόπο σχεδιάστηκαν όλες οι διαδρομές, εκτός από κάποιες που θεωρήθηκαν πολύ απλές και δεν χωρίστηκαν σε μικρότερες. Η λίστα με τα 91 υποδρομολόγια που αντιστοιχούν στα 25 δρομολόγια φαίνεται στον Πίνακα 6-1, ο οποίος περιλαμβάνει, επίσης, τον τύπο του κάθε οχήματος και την επιθυμητή ταχύτητά του.

Πίνακας 6-1: Κωδικοποίηση και παράμετροι των δρομολογίων των οχημάτων
παράδοσης του βασικού σεναρίου (PTV Vissim).

No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	EntTmOffs	VehType	DesSpeedD	Color
1	A	250: ELTA Analipsi	10314: ELTA Analipsi	18,517	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
2	B.1	250: ELTA Analipsi	10314: ELTA Analipsi	21,692	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
3	B.2	250: ELTA Analipsi	10314: ELTA Analipsi	20,241	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
5	D.2	250: ELTA Analipsi	10314: ELTA Analipsi	15,666	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
6	E.1	250: ELTA Analipsi	10314: ELTA Analipsi	16,870	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
9	F.1	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	6,517	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
10	F.2	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	7,920	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
11	G	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	5,573	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
12	H.1	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	4,539	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
14	I.1	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	3,941	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
16	J.1	265: ELTA Pylaia	10391: ELTA Pylaia	20,802	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
17	J.2	265: ELTA Pylaia	10391: ELTA Pylaia	22,957	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
18	J.3	265: ELTA Pylaia	10391: ELTA Pylaia	19,708	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
19	K	265: ELTA Pylaia	10391: ELTA Pylaia	17,844	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
20	L	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	1,844	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
21	M.1	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	5,182	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
22	N	265: ELTA Pylaia	10391: ELTA Pylaia	15,764	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
23	AA.1	250: ELTA Analipsi	10314: ELTA Analipsi	19,393	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
24	AA.2	250: ELTA Analipsi	10314: ELTA Analipsi	14,660	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
29	EE.1	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	1,400	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
30	EE.2	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	2,330	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
31	EE.3	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	0,459	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
32	CA	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	6,065	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
33	CB.1	265: ELTA Pylaia	10391: ELTA Pylaia	16,612	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
34	CB.2	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	3,140	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
35	CC	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	1,044	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
36	CD.1	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	6,679	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
37	CD.2	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	4,562	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
38	CE.1	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	2,275	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
39	CE.2	265: ELTA Pylaia	209: ELTA Pylaia	2,373	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
40	BC.1	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	3,699	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
41	BC.2	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	4,957	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
42	D.1.1	250: ELTA Analipsi	289: 55132	12,058	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
43	D.1.2	290: 55132	253: 54624	13,297	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
44	D.1.3	249: 54624	291: 54643	5,846	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
45	D.1.4	292: 54643	10314: ELTA Analipsi	17,844	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
46	C.1.1	250: ELTA Analipsi	294: 54248	2,538	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
47	C.1.2	293: 54248	295: 54640	9,115	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
48	C.1.3	296: 54640	298: 54644	10,680	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
49	C.1.4	297: 54644	295: 54640	7,802	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
50	C.1.5	296: 54640	294: 54248	3,709	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
51	C.1.6	293: 54248	298: 54644	9,212	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
52	C.1.7	297: 54644	294: 54248	1,808	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
53	C.1.8	293: 54248	298: 54644	8,068	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
54	C.1.9	297: 54644	294: 54248	3,109	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
55	C.1.10	293: 54248	298: 54644	7,186	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
56	C.1.11	297: 54644	294: 54248	4,264	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
57	C.1.12	293: 54248	295: 54640	6,634	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
58	C.1.13	296: 54640	10314: ELTA Analipsi	22,829	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
59	H.2.1	264: ELTA Kalamaria	301: 55134	6,314	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
60	H.2.2	302: 55134	299: 55133	10,671	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
61	H.2.3	300: 55133	205: ELTA Kalamaria	7,101	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
62	I.2.1	265: ELTA Pylaia	305: 55236	17,550	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
63	I.2.2	306: 55236	303: 54250	15,875	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
64	I.2.3	304: 54250	305: 55236	14,954	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
65	I.2.4	306: 55236	209: ELTA Pylaia	0,620	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
66	M.2.1	265: ELTA Pylaia	307: 55535	11,820	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
67	M.2.2	308: 55535	309: 54352	8,580	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
68	M.2.3	310: 54352	307: 55535	10,327	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
69	M.2.4	308: 55535	209: ELTA Pylaia	1,390	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
70	E.2.1	250: ELTA Analipsi	312: 54646	7,103	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
71	E.2.2	313: 54646	286: 54645	8,351	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
72	E.2.3	311: 54645	312: 54646	5,360	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
73	E.2.4	313: 54646	286: 54645	6,715	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
74	E.2.5	311: 54645	312: 54646	3,924	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
75	E.2.6	313: 54646	10314: ELTA Analipsi	13,737	0,0	610: VAN	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
76	AB.1.1	250: ELTA Analipsi	298: 54644	5,892	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
77	AB.1.2	297: 54644	312: 54646	2,587	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
78	AB.1.3	313: 54646	315: 54642	8,174	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
79	AB.1.4	314: 54642	291: 54643	3,664	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
80	AB.1.5	292: 54643	10314: ELTA Analipsi	12,804	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
81	BA.1.1	264: ELTA Kalamaria	316: 55131	10,385	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
82	BA.1.2	317: 55131	289: 55132	9,839	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
83	BA.1.3	290: 55132	316: 55131	7,726	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
84	BA.1.4	317: 55131	205: ELTA Kalamaria	3,148	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
85	BA.2.1	264: ELTA Kalamaria	205: ELTA Kalamaria	4,078	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
86	BB.1.1	264: ELTA Kalamaria	289: 55132	7,249	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
87	BB.1.2	290: 55132	205: ELTA Kalamaria	1,851	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
88	BB.2.1	264: ELTA Kalamaria	289: 55132	5,730	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
89	BB.2.2	290: 55132	299: 55133	8,109	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
90	BB.2.3	300: 55133	289: 55132	3,723	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)
91	BB.2.4	290: 55132	205: ELTA Kalamaria	1,014	0,0	620: Dikykla	60: 60 km/h	■(255, 0, 0, 0)

Όσον αφορά στη χρονική διάρκεια κάθε στάσης (dwell time), δηλαδή τη χρονική διάρκεια από τη στιγμή που το όχημα σταθμεύει στη στάση, κατεβαίνει ο μεταφορέας από το όχημα, κάνει την παράδοση στον παραλήπτη και αναχωρεί, λόγω έλλειψης δεδομένων, έγινε εκτίμησή της. Συγκεκριμένα, το μόνο που ήταν διαθέσιμο από τα δεδομένα ήταν οι χρόνοι των παραδόσεων. Επειδή οι χρόνοι παραδόσεων ήταν διαφορετικοί για κάθε δρομολόγιο, επιλέχθηκαν και διαφορετικοί χρόνοι στάθμευσης σε κάθε στάση ανάλογα με την ώρα της επόμενης παράδοσης, με την απόσταση που θα έχει να διανύσει το όχημα, καθώς και με τον αριθμό των παραδόσεων που έχει να κάνει το όχημα σε κάθε στάση. Για παράδειγμα εάν ένα όχημα είχε να παραδώσει πολλά δέματα σε μία στάση, τότε ο χρόνος στάθμευσής του εκεί ήταν μεγαλύτερος. Κάθε δρομολόγιο ήταν ξεχωριστό και για αυτό τον λόγο εξετάστηκε μεμονωμένα. Σε ορισμένες περιπτώσεις που παρατηρήθηκε ότι ο χρόνος ανάμεσα σε δύο διαδοχικές στάσεις είναι πάρα πολύ μεγάλος (μεγαλύτερος από 30 min) προτιμήθηκε να επιστρέψει το όχημα στο πρακτορείο και να ξεκινήσει ξανά από εκεί, μετά το πέρας των 30 λεπτών, παρά να σταθμεύσει στη στάση για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό βέβαια εκτιμήθηκε σε σχέση με την απόσταση της στάσης από το πρακτορείο, δηλαδή εάν η απόσταση μεταξύ τους είναι μεγάλη και το όχημα μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα δεν προλαβαίνει να επιστρέψει στο πρακτορείο και να ξεκινήσει πάλι από εκεί, τότε προτιμάται να σταθμεύσει για περισσότερο χρόνο στη στάση.

Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι ο σχεδιασμός των στάσεων έγινε με δύο λωρίδες με μία στάση σε κάθε λωρίδα. Η μία στάση είναι αποκλειστικά για βαν και η άλλη είναι αποκλειστικά για δίκυκλα, ώστε να μην υπάρχει καμία πιθανότητα να «συναντηθούν» ένα δίκυκλο και ένα βαν στην ίδια στάση την ίδια στιγμή και δημιουργηθεί καθυστέρηση λόγω του ιδιότυπου σχεδιασμού.

Τέλος, για την εκτίμηση της συνολικής απόστασης του κάθε δρομολογίου, μετρήθηκε η απόσταση που διανύει το εκάστοτε όχημα από τη στιγμή που εμφανίζεται στο δίκτυο (δηλαδή από το πρακτορείο) μέχρι την ολοκλήρωση όλων των παραδόσεων και την επιστροφή του πίσω στο πρακτορείο, δηλαδή αθροίστηκαν: α) η απόσταση που διανύει το εκάστοτε όχημα από το πρακτορείο έως την πρώτη στάση, β) οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών στάσεων που πραγματοποιεί το όχημα και γ) η απόσταση από την τελευταία στάση έως το πρακτορείο. Όσον αφορά στην εκτίμηση του συνολικού χρόνου διαδρομής του κάθε δρομολογίου, μετρήθηκε ο χρόνος από τη στιγμή που το όχημα ξεκινάει από το πρακτορείο μέχρι τη στιγμή που θα έχει ολοκληρώσει όλες τις παραδόσεις και θα επιστρέψει στο πρακτορείο, μείον τον χρόνο στάθμευσης σε κάθε στάση. Δηλαδή για τον χρόνο διαδρομής ενδιαφέρει ο χρόνος που το όχημα βρίσκεται αποκλειστικά στον δρόμο, για αυτό δεν λαμβάνεται υπόψιν ο χρόνος που το όχημα είναι ακινητοποιημένο στη στάση.

6.2 Αποτελέσματα βασικού σεναρίου

Για την αξιολόγηση του βασικού σεναρίου έγινε υπολογισμός ορισμένων περιβαλλοντικών και συγκοινωνιακών δεικτών με βάση τη βιβλιογραφία (όπως σε Nathanail et al., 2018).

Για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών δεικτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό COPERT Street level. Η ανάπτυξη του συγκεκριμένου λογισμικού συντονίζεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Ευρωπαϊκού Θεματικού Κέντρου Αντιμετώπισης της Αέριας Ρύπανσης και της Κλιματικής Αλλαγής και υποστηρίζεται επιστημονικά από την Emisia S.A. και από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Gkatzoflias et al., 2012). Η βασική λειτουργία του COPERT είναι ο υπολογισμός των εκπομπών όλων των κύριων

ατμοσφαιρικών ρύπων (CO, CO₂, NO_x, PM, VOC) των οχημάτων κατά τη λειτουργία τους σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές. Χρησιμοποιεί τον στόλο των οχημάτων, την απόσταση, την ταχύτητα και άλλα δεδομένα, όπως τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και υπολογίζει τις εκπομπές και την κατανάλωση ενέργειας για μία συγκεκριμένη χώρα ή περιοχή. Το COPERT Street Level εκτιμά τις εκπομπές από όλους τους σχετικούς τρόπους λειτουργίας του οχήματος, δηλαδή από τη θερμικά σταθεροποιημένη φάση του κινητήρα (θερμές εκπομπές), από τη φάση της προθέρμανσης (εκπομπές ψυχρής εκκίνησης) και εκπομπές από την εξάτμιση του καυσίμου, τη φθορά των ελαστικών και των φρένων. Τέλος, διαθέτει συντελεστές εκπομπών για περισσότερους από 450 τύπους οχημάτων συμπεριλαμβανομένων των επιβατικών οχημάτων (passenger cars), των «ελαφριών» εμπορικών οχημάτων (light commercial vehicles), βαρέων οχημάτων (heavy duty vehicles), όπως και για φορτηγά και λεωφορεία και οχημάτων κατηγορίας «L», δηλαδή μοτοποδήλατα, μοτοσυκλέτες και μίνι αυτοκίνητα (Emisia, 2018).

Στη συνέχεια, κάθε μία από τις παραπάνω ομάδες χωρίζεται σε υποκατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα του οχήματος παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα στον χρήστη να έχει μια πιο σαφή εικόνα της κυκλοφοριακής σύνθεσης. Ταυτόχρονα οι υπολογισμοί του προγράμματος είναι πιο ακριβείς λαμβάνοντας υπόψιν τις εκπομπές κάθε τύπου κινητήρα.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια PM και τα οργανικά χημικά (VOC), ήταν απαραίτητος ο υπολογισμός της συνολικής απόστασης (km) που διανύει κάθε βαν και δίκυκλο για την παράδοση εμπορευμάτων μέσα στο δίκυκλο, καθώς και ο συνολικός χρόνος (h) που απαιτείται από κάθε όχημα για την ολοκλήρωση της διαδρομής του. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού PTV VISSIM.

Σκοπός των παραπάνω υπολογισμών ήταν η εύρεση της μέσης ταχύτητας του κάθε βαν και δίκυκλου που προέκυψε από το πηλίκο της συνολικής απόστασης προς τον αντίστοιχο χρόνο.

Πρέπει εδώ να τονιστεί πως οι αποστάσεις και οι χρόνοι που έχουν υπολογιστεί, καθώς και οι μέσες ταχύτητες έχουν κάποια απόκλιση από την πραγματικότητα, καθώς μετρήθηκαν με βάση την προσομοίωση. Δεν ήταν εφικτή η μέτρησή τους στην πραγματικότητα, καθώς δεν ήταν επαρκή τα στοιχεία για τις ακριβείς διευθύνσεις των παραδόσεων.

Επομένως, μετά την εισαγωγή των στοιχείων στο λογισμικό οι στήλες που αναφέρονται στον Πίνακα 6-2 ως «input data», πρέπει να διευκρινιστεί στη συνέχεια ο τύπος των οχημάτων, ο τύπος των καυσίμων και η τεχνολογία του κάθε τύπου οχήματος. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι το COPERT Street Level παρέχει τη δυνατότητα επιλογής της χώρας και της χρονολογίας για την οποία επιθυμούμε να υπολογιστούν οι περιβαλλοντικοί δείκτες. Στην περίπτωση αυτή θέλουμε να υπολογίσουμε τις εκπομπές αερίων των συγκεκριμένων οχημάτων το έτος 2020 στην Ελλάδα.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-2, στην παρούσα μελέτη περίπτωσης, υπάρχουν 2 τύποι οχημάτων που εκτελούν τις παραδόσεις στο βασικό σενάριο: τα βαν, τα οποία αναφέρονται ως τύπος 2 και τα δίκυκλα που αναφέρονται ως τύπος 1. Για αυτόν τον λόγο κατά την επιλογή τύπου οχήματος στο COPERT, επιλέχθηκε για τον τύπο 1 να αποτελείται σε ποσοστό 100% δίκυκλα (mopeds), ενώ για τον τύπο 2 να αποτελείται από 100% light commercial vehicles, όπως είναι τα βαν που μελετώνται στην προκειμένη περίπτωση.

Όσον αφορά στον τύπο του καυσίμου για τα δίκυκλα δεν υπήρχε άλλη επιλογή εκτός από τη βενζίνη (gasoline), ενώ για τα light commercial vehicles επιλέχθηκε να είναι όλα πετρελαιοκίνητα (100% diesel).

Τέλος, σχετικά με την τεχνολογία του κάθε τύπου οχήματος, για τα δίκυκλα επιλέχθηκε να ανήκουν στην κατηγορία Euro 3, ενώ για τα light commercial vehicles επιλέχθηκε η κατηγορία Euro 5. Στο Σχήμα 6-2, φαίνονται ενδεικτικά, οι 2 τύποι οχημάτων που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη εταιρεία ταχυμεταφορών.



Σχήμα 6-2: Οχήματα της εταιρείας ELTA Courier: βαν (αριστερά), δίκυκλο (δεξιά) (Πηγή: <https://www.elta-courier.gr/>).

Σύμφωνα με την εισαγωγή των παραπάνω παραμέτρων, τα αποτελέσματα ανά περιβαλλοντικό δείκτη και όχημα συνοψίζονται στον Πίνακα 6-2.

Πίνακας 6-2: Εκπομπές CO, CO₂, NO_x, PM και VOC για το βασικό σενάριο
(COPERT Street level).

Freight vehicle	Type of vehicle	Volume (n)	Input			VISSIM emissions				
			VISSIM distance of modeled stops (km)	VISSIM duration for servicing stops (h)	VISSIM average for servicing stops (km/h)	CO (g)	CO ₂ (g)	NO _x (g)	PM (g)	VOC (g)
A	2	1	3,85	0,07	55	0	807,74	2,49	0	0,11
B	2	1	9,05	0,25	36,2	0	2151,43	6,52	0,01	0,29
C	2	1	40,72	1,37	29,72	0,02	10565,8	31,32	0,06	1,41
D	2	1	25	0,55	45,45	0,01	5504,67	16,83	0,03	0,74
E	2	1	22,7	0,49	46,33	0,01	4966,15	15,2	0,03	0,66
F	2	1	11,54	0,26	44,38	0	2558,36	7,82	0,01	0,34
G	2	1	7,84	0,2	39,2	0	1809,54	5,51	0,01	0,24
H	2	1	19,64	0,43	45,67	0,01	4324,47	13,23	0,02	0,58
I	2	1	28,38	0,74	38,35	0,01	6612,02	20,1	0,04	0,89
J	2	1	5,8	0,1	58	0	1207,12	3,75	0,01	0,16
K	2	1	9,06	0,25	36,24	0	2153,8	6,53	0,01	0,29
L	2	1	13,4	0,27	49,63	0	2881,89	8,84	0,01	0,38
M	2	1	25,35	0,59	42,97	0,01	5704,06	17,41	0,03	0,77
N	2	1	15,3	0,33	46,36	0	3347,23	10,24	0,02	0,45
AA	1	1	11,85	0,29	40,86	21,33	751,29	2,01	0,21	21,33
AB	1	1	14,39	0,34	42,32	25,9	912,33	2,45	0,26	25,9
BA	1	1	24,82	0,6	41,37	44,68	1573,59	4,22	0,45	44,68
BB	1	1	23,1	0,43	53,72	41,58	1464,54	3,93	0,42	41,58
BC	1	1	26,07	0,54	48,28	46,93	1652,84	4,43	0,47	46,93
CA	1	1	8,03	0,21	38,24	14,45	509,1	1,37	0,14	14,45
CB	1	1	3,87	0,07	55,29	6,97	245,36	0,66	0,07	6,97
CC	1	1	9,06	0,25	36,24	16,31	574,4	1,54	0,16	16,31
CD	1	1	24,37	0,59	41,31	43,87	1545,06	4,14	0,44	43,87
CE	1	1	16	0,4	40	28,8	1014,4	2,72	0,29	28,8
EE	1	1	23,94	0,44	54,41	43,09	1517,8	4,07	0,43	43,09

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οξειδίων του αζώτου (NOx) και αιρούμενων σωματιδίων (PM) ρυθμίζονται για τους περισσότερους τύπους οχημάτων συμπεριλαμβανομένων των επιβατικών οχημάτων και των φορτηγών. Για κάθε τύπο οχήματος ισχύουν διαφορετικές προδιαγραφές. Τα οχήματα τα οποία δεν καλύπτουν τις προδιαγραφές δεν μπορούν να πωληθούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ωστόσο οι νέες προδιαγραφές δεν ισχύουν για τα οχήματα που κυκλοφορούν ήδη στους δρόμους. Στον Πίνακα 6-3 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές όσον αφορά στις εκπομπές για τα πετρελαιοκίνητα light commercial vehicles από 1.760 kg έως 3.500 kg, λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα βαν της συγκεκριμένης εταιρείας έχουν ωφέλιμο φορτίο 1.200 kg (Dieselnet, 2019).

Πίνακας 6-3: Προδιαγραφές για τις εκπομπές αέριων ρύπων των πετρελαιοκίνητων lcv (Dieselnet, 2019).

Tier	Date (type approval)	Date (first registration)	CO (g/km)	NOx (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	October 1993	October 1994	6,9	-	0,25
Euro 2	January 1998	October 1999	1,5	-	0,17
Euro 3	January 2001	January 2002	0,95	0,78	0,1
Euro 4	January 2006	January 2007	0,74	0,39	0,06
Euro 5a	September 2010	January 2012	0,74	0,280	0,005
Euro 5b	September 2011	January 2013	0,74	0,280	0,0045
Euro 6b	September 2015	September 2016	0,74	0,125	0,0045
Euro 6c	-	September 2019	0,74	0,125	0,0045
Euro 6d- Temp	September 2018	September 2020	0,74	0,125	0,0045
Euro 6d	January 2021	January 2022	0,74	0,125	0,0045

Για το Euro 5b ισχύουν οι παραπάνω τιμές. Όπως φαίνεται, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα από το COPERT, δεν υπάρχει κάποια τιμή που να ξεπερνάει τα όρια των προδιαγραφών για τα βαν.

Όσον αφορά στις προδιαγραφές για το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), από το 2017 ισχύει το όριο των 175 g/km, ενώ από το 2020 οι εκπομπές CO₂ για βαν θα πρέπει να είναι μικρότερες από 147 g/km (Dieselnet, 2019).

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι συγκοινωνιακοί δείκτες και οι δείκτες κινητικότητας. Για τον υπολογισμό των συνολικών καθυστερήσεων στην κυκλοφορία (total delays in traffic) που οφείλονται μόνο στα βαν και στα δίκυκλα των ELTA Courier ενεργοποιήθηκε η επιλογή «Vehicle Network Performance» στο μενού «Evaluation» του λογισμικού προσομοίωσης PTV VISSIM για χρονική περίοδο από 1.800 δευτερόλεπτα προσομοίωσης που αντιστοιχεί στις 14:00 έως 9.000 δευτερόλεπτα προσομοίωσης που αντιστοιχεί στις 16:00. Αρχικά υπολογίστηκαν οι συνολικές καθυστερήσεις του δικτύου, χωρίς τα οχήματα των ELTA Courier και στη συνέχεια οι καθυστερήσεις όλων των οχημάτων συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων της εταιρείας. Τέλος, η αφαίρεση των δύο τιμών οδήγησε στον υπολογισμό των συνολικών καθυστερήσεων που οφείλονται αποκλειστικά στα εμπορευματικά οχήματα των ELTA. Οι καθυστερήσεις αυτές προκύπτουν, όταν η πραγματική ταχύτητα του οχήματος σε κάποιες χρονικές στιγμές της προσομοίωσης γίνεται μικρότερη από την επιθυμητή. Ο Πίνακας 6-4 δείχνει τις συνολικές καθυστερήσεις που οφείλονται στην κυκλοφορία των βαν και δίκυκλων της εταιρείας στο δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση.

Πίνακας 6-4: Συνολικές καθυστερήσεις στην κυκλοφορία λόγω των εμπορευματικών οχημάτων των ELTA Courier στο βασικό σενάριο.

	Συνολικές καθυστερήσεις (h) (total delays in traffic)
Δίκτυο χωρίς οχήματα των ELTA Courier	$3.928.855,78/3.600=1091,35$ h
Δίκτυο με οχήματα των ELTA Courier	$4.112.152,38/3600=1142,26$ h
Διαφορά	$183.296,6/3600=50,92$ h

Όσον αφορά στη μέση ταχύτητα των οχημάτων (average vehicle speed), στις περισσότερες περιπτώσεις όσο πιο υψηλή είναι η ταχύτητα τόσο περισσότερες παραδόσεις επιτυγχάνονται, ενώ ταυτόχρονα γίνεται μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων και τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια οδηγών και πεζών (Russell & Taniguchi, 2017). Για την εύρεση της μέσης ταχύτητας, διαιρείται ο μέσος όρος των αποστάσεων που μετρήθηκαν στο VISSIM (στήλη 4 του Πίνακα 6-2) με τον μέσο όρο των χρόνων που έκαναν τα οχήματα για να διανύσουν τις αποστάσεις αυτές (στήλη 5 του Πίνακα 6-2). Επομένως προκύπτει ότι στο βασικό σενάριο η μέση ταχύτητα των εμπορευματικών οχημάτων είναι ίση με 42,1 km/h.

Ένας άλλος δείκτης που υπολογίζεται είναι το «traffic throughput» που εκφράζει τα συνολικά οχηματοχιλιόμετρα (veh-km) που διανύονται από τα εμπορευματικά οχήματα. Τα οχηματοχιλιόμετρα προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των οχημάτων στο δίκτυο με το μέσο μήκος της διαδρομής που διανύουν σε χιλιόμετρα. Σε αυτή την περίπτωση κάθε όχημα διανύει διαφορετικές αποστάσεις για αυτό τα οχηματοχιλιόμετρα προκύπτουν από το άθροισμα των χιλιομέτρων που διανύει το κάθε όχημα. Οι αποστάσεις αυτές δεν είναι οι πραγματικές, αλλά όπως μετρήθηκαν στην προσομοίωση σύμφωνα με όλες τις παραδοχές που έχουν γίνει για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης και απεικονίζονται στον Πίνακα 6-5.

Πίνακας 6-5: Συνολικά οχηματοχιλιόμετρα (veh-km) που διανύουν τα εμπορευματικά οχήματα των ELTA Courier στο βασικό σενάριο.

Βασικό σενάριο	VISSIM distance of modeled stops
Traffic throughput (veh-km)	423,13

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο αριθμός των δρομολογίων μετ' επιστροφής (number of roundtrips) που αφορά στον αριθμό των διαδρομών που κάνει ένα εμπορευματικό όχημα μέχρι να ολοκληρώσει τις παραδόσεις. Όσο πιο μικρός είναι ο αριθμός των διαδρομών από το πρακτορείο και στην επιστροφή του σε αυτό, τόσο πιο αποδοτική είναι η διαδικασία των παραδόσεων (Russel & Taniguchi, 2017). Στον Πίνακα 6-6 φαίνεται αναλυτικά πόσες φορές ξεκινάει το κάθε όχημα από το πρακτορείο και επιστρέφει σε αυτό μέχρι την πραγματοποίηση όλων των παραδόσεών του.

Πίνακας 6-6: Αριθμός δρομολογίων μετ' επιστροφής για κάθε εμπορευματικό όχημα των ELTA Courier στο βασικό σενάριο.

Όχημα	Αριθμός δρομολογίων μετ' επιστροφής	Ώρα αναχώρησης από το πρακτορείο (δευτερόλεπτα προσομοίωσης)		
A	1	1:1.766 (13:59:26)		
B	2	1:1.800 (14:00)	2:5.760 (15:06)	
C	1	1:1.800 (14:00)		
D	2	1:2.520 (14:12)	2:7.800 (15:40)	
E	2	1:3.000 (14:20)	2:5.400 (15:00)	
F	2	1:3.480 (14:28)	2:6.300 (15:15)	
G	1	1:1.800 (14:00)		
H	2	1:2.340 (14:09)	2:5.520 (15:03)	
I	2	1:1.800 (14:00)	2:5.880 (15:08)	
J	3	1:1.920 (14:02)	2:3.900 (14:35)	3:8:640 (15:54)
K	1	1:3.000 (14:20)		
L	1	1:3.300 (14:25)		
M	2	1:3.000 (14.20)	2:6.000 (15:10)	
N	1	1:3.600 (14.30)		
AA	2	1:3.000 (14:20)	2:6.600 (15:20)	
AB	1	1:6.900 (15:25)		
BA	2	1:1.500 (13:55)	2:6.900 (15:25)	
BB	2	1:3.300 (14:25)	2:6.300 (15:15)	
BC	2	1:2.100 (14:05)	2:7.500 (15:35)	

Όχημα	Αριθμός δρομολογίων μετ' επιστροφής	Ώρα αναχώρησης από το πρακτορείο (δευτερόλεπτα προσομοίωσης)		
CA	1	1:4.800 (14:50)		
CB	2	1:2.100 (14:05)	2:6.600 (15:20)	
CC	1	1:3.000 (14:20)		
CD	2	1:3.900 (14:35)	2:7.200 (15:30)	
CE	2	1:6.000 (15:10)	2:8.100 (15:45)	
EE	3	1:2.100 (14:05)	2:5.400 (15:00)	3:7.800 (15:40)
Μέσο όρος		1,72 roundtrips		

Τέλος, παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός Πίνακας 6-7 με τους δείκτες που έχουν υπολογιστεί παραπάνω.

Πίνακας 6-7: Συγκεντρωτικός Πίνακας περιβαλλοντικών και κυκλοφοριακών δεικτών για το βασικό σενάριο.

Κριτήριο	Δείκτης	Επεξήγηση	Μονάδα μέτρησης	Αποτελέσματα βασικού σεναρίου
Περιβάλλον				
Εκπομπές αέριων ρύπων	CO	Συνολικές εκπομπές αερίων των εμπορευματικών οχημάτων με βάση τον τύπο των οχημάτων, τον τύπο καυσίμου και την τεχνολογία τους για το δίωρο 14:00-16:00	g	333,98
	CO ₂		g	66.354,96
	NO _x		g	197,3
	PM		g	3,63
	VOC		g	341,22
Μεταφορές και κινητικότητα				
Συγκοινωνιακό σύστημα	Συνολικές καθυστερήσεις	Συνολικές καθυστερήσεις στην κυκλοφορία που οφείλονται στα εμπορευματικά οχήματα για το δίωρο 14:00-16:00	Δευτερόλεπτα προσομοίωσης (sim.sec)	183.296,60
	Μέση ταχύτητα οχημάτων	Μέσος όρος των αποστάσεων που διανύουν τα εμπορευματικά οχήματα, διαιρεμένος με τον μέσο όρο των χρόνων που απαιτείται για να διανύσουν αυτές τις αποστάσεις για το δίωρο 14:00-16:00	km/h	42,1

Κριτήριο	Δείκτης	Επεξήγηση	Μονάδα μέτρησης	Αποτελέσματα βασικού σεναρίου
Στόλος εμπορευματικών οχημάτων	Δρομολόγια μετ' επιστροφής	Συχνότητα αναχώρησης κάθε εμπορευματικού οχήματος από το πρακτορείο για το δίκτυο 14:00-16:00	αριθμός	1,72
	Βαν και δίκυκλα	Αριθμός των οχημάτων που έχουν μεικτό βάρος < 3,5 τόνων	αριθμός	25
	Βαρέα οχήματα	Αριθμός των οχημάτων που έχουν μεικτό βάρος > 3,5 τόνων	αριθμός	0
	Traffic throughput	Συνολικά οχηματοχιλιόμετρα που καλύπτονται από τα εμπορευματικά οχήματα για το δίκτυο 14:00-16:00	οχηματοχιλιόμετρα	423,13

6.3 Διαμόρφωση εναλλακτικού σεναρίου

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται μια εναλλακτική προσέγγιση για την παράδοση των δεμάτων από τα ELTA Courier. Για το εναλλακτικό σενάριο έγινε η υπόθεση της αντικατάστασης των βαν και δίκυκλων με κομβία αυτόνομων ηλεκτρικών οχημάτων. Με βάση τις απαραίτητες παραδοχές και την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των χωρικών δικτύων και συγκεκριμένα του προγράμματος ArcGIS, προτείνεται δυναμική ανάλυση χωροθέτησης-κατανομής των βέλτιστων θέσεων των σημείων εξυπηρέτησης των διανομών της εταιρείας ταχυμεταφορών.

6.3.1 Προσέγγιση και παραδοχές

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, ως σύστημα κομβία αυτόνομων οχημάτων ορίζεται η σύνδεση δύο ή περισσότερων οχημάτων που ταξιδεύουν το ένα πίσω από το άλλο και χρησιμοποιούν τεχνολογίες και συστήματα παρόμοια με αυτά των αυτόνομων οχημάτων. Τα οχήματα που συμμετέχουν στο κομβία κατά τη διάρκεια της σύνδεσής τους έχουν τη

δυνατότητα να διατηρούν αυτόματα καθορισμένη και κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Επικεφαλής του συστήματος είναι ο οδηγός του πρώτου οχήματος, ο οποίος διατηρεί τον έλεγχο, ενώ τα οχήματα που ακολουθούν επιταχύνουν και επιβραδύνουν αυτόματα βασιζόμενα στις ενέργειες του πρώτου οχήματος. Επίσης, λόγω του ότι οι οδηγοί των οχημάτων που ακολουθούν δεν χρειάζεται να συμμετέχουν καθόλου στην οδήγηση, δεν κρίνεται απαραίτητο να βρίσκονται στα οχήματα. Τα συστήματα κομβίοι αυτόνομων οχημάτων χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες για να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους (V2V), όπως και με την υποδομή (V2I).

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες κομβίοι όσον αφορά στο επίπεδο αυτοματοποίησης: (1) κομβίοι με ανθρώπινη καθοδήγηση και ξεκούραση μέσα στο κομβίο, (2) υβριδικά κομβίοι και (3) κομβίοι χωρίς οδηγό. Στο εναλλακτικό σενάριο επιλέχθηκε η κατηγορία (2), δηλαδή υβριδικό κομβίο, στο οποίο μόνο το πρώτο όχημα απαιτεί οδηγό, ενώ τα υπόλοιπα οχήματα που ακολουθούν δεν χρειάζεται να έχουν οδηγό.

Η ιδέα πίσω από την υπόθεση για αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων της εταιρείας με συστήματα κομβίοι αυτόνομων ηλεκτρικών οχημάτων οφείλεται στα αρκετά οφέλη χρήσης των συγκεκριμένων συστημάτων. Αρχικά, τα συγκεκριμένα συστήματα προσφέρουν άνεση και ασφάλεια λόγω μείωσης εμπλοκής του ανθρώπινου παράγοντα στην εκτέλεση της οδήγησης, μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και επομένως των εκπομπών αέριων ρύπων, όπως και περιορισμό της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Όσον αφορά στην ασφάλεια, λόγω της μείωσης της επέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα, γίνονται λιγότερα ατυχήματα και διασφαλίζει, επίσης, χαμηλότερα ασφαλιστικά κόστη. Επομένως, τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα συμφέροντα κυρίως για τις εταιρείες που σχετίζονται με μεταφορές. Επιπλέον, τα οφέλη στις εμπορευματικές μεταφορές εκτός από τα παραπάνω

είναι ότι τα συστήματα κομβίο συμβάλλουν επιπρόσθετα στη μείωση του χρόνου και του κόστους μεταφοράς και τη μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, λόγω του ότι τα οχήματα του κομβίου θεωρείται ότι είναι ηλεκτρικά, υπάρχουν επιπλέον πλεονεκτήματα. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι φιλικά προς το περιβάλλον, λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια και δεν χρησιμοποιούν καύσιμα, επομένως δεν εκπέμπουν ρύπους προς το περιβάλλον. Επίσης, είναι αθόρυβα και περισσότερο βολικά. Η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί τη χρήση της ηλεκτροκίνησης και μάλιστα έχει συντάξει μια διάταξη για την αφαίρεση του ήμισυ των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης από τους δρόμους έως το έτος 2030 και την απαγόρευση της χρήσης τους έως το έτος 2060 (He & Wu, 2018). Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ότι συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα χρειάζονται αρκετό χρόνο για να φορτίσουν την μπαταρία τους και οι σταθμοί γρήγορης φόρτισης κοστίζουν αρκετά για να λειτουργήσουν. Το γεγονός ότι χρειάζονται φόρτιση δημιουργεί ένα σχετικό άγχος στους οδηγούς. Αυτό όμως συμβαίνει κυρίως για μεγάλες διαδρομές εκτός πόλης. Επίσης, απαιτείται η ύπαρξη υποδομής (σταθμοί φόρτισης) για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (Jing et al., 2016). Η απόσταση που μπορούν να διανύσουν μεταξύ φορτίσεων είναι περίπου 80 μίλια δηλαδή 128 χιλιόμετρα, αλλά αυτό εξαρτάται και από τον τρόπο οδήγησης και τις καιρικές συνθήκες.

Συμπερασματικά, η υπόθεση βασίζεται στο γεγονός ότι με τη χρήση των συστημάτων κομβίο αυτόνομων ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να: α) μειωθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση σε αστικούς δρόμους λόγω των πολύ κοντινών αποστάσεων που διατηρούν τα οχήματα στο κομβίο και λόγω των μικρών χρόνων αντίδρασης, β) αυξηθεί η ασφάλεια και η άνεση των μετακινήσεων για παραδόσεις λόγω της χρήσης αυτόνομων οχημάτων, γ) ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές αέριων ρύπων με την αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων με αυτόνομα ηλεκτρικά οχήματα και δ) αυξηθούν πιθανώς τα έσοδα της εταιρείας

ταχυμεταφορών λόγω της μείωσης του στόλου, καθώς θα χρησιμοποιηθούν λιγότερα οχήματα που θα αντικαταστήσουν τα 25 συνολικά βαν και δίκυκλα και ακόμη λιγότεροι οδηγοί για τον λόγο ότι ένα κομβίο χρειάζεται μόνο έναν οδηγό για να λειτουργήσει και τα υπόλοιπα οχήματα ακολουθούν στη σειρά, χωρίς να κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη οδηγού. Τέλος, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο Κεφάλαιο, τα αστικά δίκτυα, όπως αυτό της παρούσας μελέτης, αποτελούν μεγάλη πρόκληση για τη χρήση κομβίου αυτόνομων οχημάτων και αποτελεί ένα ζήτημα που έχουν προσεγγίσει ελάχιστα μέχρι σήμερα, επομένως χρήζει μεγάλου ενδιαφέροντος για λεπτομερή έρευνα.

Για το εναλλακτικό σενάριο, θεωρείται ότι γίνεται αντικατάσταση των βαν και των δίκυκλων που ξεκινούν από κάθε πρακτορείο με ένα κομβίο που αποτελείται από 2 ηλεκτρικά αυτόνομα βαν. Επομένως, ένα κομβίο 2 οχημάτων αντικαθιστά τα 5 βαν και 2 δίκυκλα που πραγματοποιούν παραδόσεις για το πρακτορείο της Ανάληψης. Το ίδιο συμβαίνει αντίστοιχα για τα 3 βαν και 4 δίκυκλα που ξεκινούν από το πρακτορείο της Καλαμαριάς και για τα 6 βαν και 5 δίκυκλα από το πρακτορείο της Πυλαίας.

Το κάθε κομβίο των 2 βαν ξεκινάει από το πρακτορείο μεταφέροντας το σύνολο των δεμάτων που παραδίδονται από το κάθε πρακτορείο μέσα στο συγκεκριμένο δίκτυο, επομένως το κομβίο που ξεκινάει από την Ανάληψη εκτιμάται ότι θα πραγματοποιήσει συνολικά 49 παραδόσεις, όσες δηλαδή είναι αθροιστικά οι παραδόσεις που πραγματοποιούν τα βαν και δίκυκλα που ξεκινούν από το πρακτορείο της Ανάληψης στο βασικό σενάριο. Το κομβίο που ξεκινά από το πρακτορείο της Καλαμαριάς γίνεται η παραδοχή ότι εκτελεί 53 παραδόσεις και το κομβίο από την Πυλαία 38 παραδόσεις. Επομένως, για κάθε κομβίο θεωρείται ότι το συνολικό βάρος του φορτίου που θα μεταφέρει θα ισούται με το άθροισμα του βάρους όλων των δεμάτων που πρόκειται να διανεμηθούν από το εκάστοτε πρακτορείο. Στον Πίνακα 6-8, παρουσιάζεται η ποσότητα του φορτίου που εκτιμάται ότι θα μεταφέρει το κάθε κομβίο.

Πίνακας 6-8: Φορτίο που εκτιμάται ότι θα μεταφέρει το κάθε κομβίο για το βασικό και το εναλλακτικό σενάριο.

Πρακτορείο	Βασικό σενάριο		Εναλλακτικό σενάριο
	Συνολικό βάρος δεμάτων με βαν (kg)	Συνολικό βάρος δεμάτων με δίκυκλα (kg)	Συνολικό βάρος δεμάτων με κομβίο (kg)
Ανάληψη	86,302	2,080	88,382
Καλαμαριά	40,300	17,140	57,440
Πυλαία	43,560	3,768	47,328

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-8, το φορτίο αυτό κρίνεται μικρό σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο ενός βαν της εταιρείας που είναι ίσο με 1.200 κιλά. Επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία για ενδεχόμενους περιορισμούς όγκου, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τις διαστάσεις των δεμάτων, γίνεται η υπόθεση ότι το κομβίο αποτελείται από 2 οχήματα.

Για να μην υπάρχουν προβλήματα χωρητικότητας του κομβίο σε κάποιον δρόμο γίνεται η παραδοχή ότι τα κομβίο θα κυκλοφορούν σε δρόμους στους οποίους επιτρέπεται η κυκλοφορία λεωφορείων. Το κομβίο δηλαδή, μπορεί να χρησιμοποιεί τις λεωφορειολωρίδες για την κίνησή του μέσα στην πόλη. Στη συνέχεια, εξετάστηκε το υφιστάμενο δίκτυο της περιοχής μελέτης, το οποίο πληροί τις προϋποθέσεις για την κυκλοφορία λεωφορείων, κατ' επέκταση κανένας από τους δρόμους του υπάρχοντος δικτύου δεν κρίθηκε απαγορευτικός για την κυκλοφορία των κομβίο. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες επιπλέον διαδρομές λεωφορείων των γραμμών 33, 7, 4B, 4A και 5 για την περιοχή της Καλαμαριάς και των γραμμών 11, 12, 14, 30 και 58 για την περιοχή της Πυλαίας. Οι διαδρομές αυτές σχεδιάστηκαν στο υπάρχον δίκτυο.

Στη συνέχεια, για τη χάραξη της διαδρομής που θα διανύσει το κάθε κομβίο βρέθηκαν αρχικά για κάθε ταχυδρομικό κώδικα ορισμένα σημεία ενδιαφέροντος, όπως πρατήρια καυσίμων, σουπερμάρκετ, καταστήματα τραπεζών, σχολεία και κάποιες δημόσιες υπηρεσίες

δηλαδή, αναζητήθηκαν σημεία, τα οποία είναι πολυσύχναστα και εμφανίζουν αυξημένη επισκεψιμότητα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι παραδόσεις των εμπορευμάτων στο τελευταίο μίλι είναι το πιο δύσκολο και περίπλοκο κομμάτι ενός δρομολογίου. Στην περίπτωση μας, το κομβόι καλείται να αφήσει το αστικό δίκτυο που είναι ήδη αρκετά απρόβλεπτο και να μεταφερθεί σε ένα περιβάλλον γειτονιάς με στενούς δρόμους, ποδήλατα και πεζούς. Η δυσκολία ιδιαίτερα για ένα κομβόι αυτόνομων οχημάτων είναι μεγάλη. Οι παραδόσεις του τελευταίου μιλίου αποτελούν το τελευταίο βήμα της παράδοσης ενός εμπορεύματος από την εταιρεία στον τελικό παραλήπτη, ο οποίος πρέπει να λάβει το εμπόρευμα είτε στο σπίτι ή να το παραλάβει από κάποιο σημείο συλλογής. Το τελευταίο βήμα της παράδοσης στο σπίτι ευθύνεται για το μεγαλύτερο μέρος του κόστους μεταφοράς και είναι αρκετά χρονοβόρο.

Για τη μείωση του υψηλού κόστους και χρόνου των παραδόσεων στο τελευταίο μίλι, προτείνεται η λύση των έξυπνων θυρίδων (smart lockers) σε πρακτικές τοποθεσίες, όπως είναι σχολεία, πρατήρια υγρών καυσίμων και γενικά κοντά σε σημεία/θέσεις σε κατοικημένες περιοχές. Οι έξυπνες θυρίδες λειτουργούν ως αυτοματοποιημένα σημεία ενοποίησης παραδόσεων και προσφέρουν την αποθήκευση προϊόντων για όλους τους πελάτες σε μία συγκεκριμένη περιοχή για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συνήθως για λίγες ημέρες. Το πλεονέκτημα είναι ότι στο σύστημα με τις θυρίδες δεν απαιτείται ανθρώπινη αλληλεπίδραση για την εξυπηρέτηση του πελάτη και επιπλέον οι παραλήπτες μπορούν να παραλαμβάνουν δέματα 24 ώρες την ημέρα, δηλαδή δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός μέσα στην ημέρα. Επίσης, χρησιμοποιούν σύγχρονες τεχνικές και λειτουργίας της πληροφορικής για την παρακολούθηση δεμάτων και τη διαχείριση επιστροφών (Faugere & Montreuil, 2016). Κατά την παραλαβή της παραγγελίας, οι πελάτες καταγράφουν τον εαυτό τους σε ένα έξυπνο τερματικό διασυνδεδεμένο με το σύστημα της εταιρείας παράδοσης μέσω του IoT

(Internet of Things), με τη χρήση είτε κωδικού που αποστέλλεται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή μηνύματος στο κινητό τηλέφωνο, είτε με τη χρήση ταυτότητας ή πιστωτικής κάρτας (Κιούσης, 2018). Η χρήση έξυπνων θυρίδων συγχωνεύει πολλές αποστολές σε συγκεντρωμένες τοποθεσίες και έτσι βελτιώνεται η χρήση των οχημάτων και μειώνεται ο αριθμός των δρομολογίων παράδοσης (Yuen et al., 2019). Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και τα οφέλη των έξυπνων θυρίδων παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4. Στο Σχήμα 6-3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εγκατάστασης και λειτουργίας έξυπνης θυρίδας σε τερματικό σταθμό στην Πολωνία.



Σχήμα 6-3: Έξυπνη θυρίδα σε τερματικό σταθμό στην Πολωνία (Πηγή: http://portalvendingowy.pl/polska/Odbierz_przesylke_w_paczkomacie).

Σε μεταπτυχιακή έρευνα του 2018 (Κιούσης, 2018), πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική προσομοίωση των ροών των εμπορευματικών μεταφορών σε ένα μεσαίου μεγέθους δήμο της Αθήνας. Χορηγήθηκαν δεδομένα από πάροχο υπηρεσιών logistics και έγινε προσομοίωση του βασικού σεναρίου με τη βοήθεια αυτών των δεδομένων στο λογισμικό PTV VISSIM με σκοπό την αξιολόγηση της παρούσας κατάστασης. Στη συνέχεια, για το εναλλακτικό σενάριο έγινε η υπόθεση ότι οι παραδόσεις θα πραγματοποιούνται σε έξυπνες θυρίδες αντί για το σπίτι. Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο σεναρίων με σκοπό την καλύτερη

κατανόηση των πιθανών πλεονεκτημάτων στην κυκλοφορία, όπως και στο περιβάλλον που προκύπτουν από την εφαρμογή του μέτρου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα οφέλη της χρήσης δικτύου με έξυπνες θυρίδες ήταν μεγάλα κυρίως για τον πάροχο των υπηρεσιών Logistics. Για το εναλλακτικό σενάριο προέκυψε μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 82,4% για τον στόλο των διανομών συγκριτικά με το βασικό σενάριο και μείωση της απόστασης που διανύουν τα οχήματα της εταιρείας κατά 90,9%. Επίσης, μειώθηκαν τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις παραδόσεις κατά 80% επομένως αυτό συνεπάγεται μεγάλη μείωση του λειτουργικού κόστους για την εταιρεία. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν μικρές μειώσεις σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου, αιωρούμενων σωματιδίων, όπως και των καθυστερήσεων.

Για τους παραπάνω λόγους, στο εναλλακτικό σενάριο γίνεται η υπόθεση ότι η παράδοση των δεμάτων από τα κομβία της εταιρείας θα γίνεται σε έξυπνες θυρίδες. Η διαφορά είναι ότι στο εναλλακτικό σενάριο οι παραδόσεις δεν θα γίνονται κατ' οίκον, όπως ίσχυε στο βασικό σενάριο παρόλο που δεν γνωρίζαμε τις ακριβείς διευθύνσεις των παραδόσεων, αλλά η τελική συλλογή της παραγγελίας θα πραγματοποιείται από τον καταναλωτή. Έτσι το κομβίο θα αποφεύγει να κινείται σε δρόμους μικρού πλάτους που πιθανόν να υπάρχει αρκετά μεγάλη δυσκολία, γεγονός που θα δημιουργούσε καθυστερήσεις στις παραδόσεις δυσχερατώντας ταυτόχρονα τους πελάτες. Επίσης, στην παράδοση στο σπίτι πολλές φορές υπάρχει η δυσκολία στάθμευσης του οχήματος και η ανάγκη κάλυψης μεγάλων αποστάσεων με τα πόδια, ενώ ταυτόχρονα ο υπεύθυνος μεταφέρει ένα βαρύ δέμα. Για αυτόν τον λόγο, οι έξυπνες θυρίδες θα είναι τοποθετημένες στα σημεία ενδιαφέροντος επομένως ο καταναλωτής θα μπορεί να παραλάβει το δέμα του στον χρόνο που τον βολεύει, ενώ ταυτόχρονα θα συνδυάζει την παραλαβή της παραγγελίας του με τις αγορές στο σουπερμάρκετ ή τη διεκπεραίωση μιας υπόθεσής του σε ένα κατάστημα τράπεζας.

6.3.2 Ενσωμάτωση των χωρικών δικτύων στην ανάπτυξη του εναλλακτικού σεναρίου

Τα χωρικά δίκτυα εφαρμόζονται σε ποικίλα συγκοινωνιακά προβλήματα. Δομούνται από έναν πεπερασμένο αριθμό σημείων (κόμβοι), ευθύγραμμα τμήματα (ακμές) που συνδέουν τα σημεία, όπως και τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά των σημείων και τμημάτων. Μεταξύ των πιο συχνών προβλημάτων που μπορούν να επιλυθούν με την αξιοποίηση των χωρικών δικτύων είναι η εύρεση της πιο σύντομης διαδρομής μεταξύ δύο σημείων.

Συγκεκριμένα στο πρόγραμμα ArcGIS, τα χωρικά δίκτυα διακρίνονται σε γεωμετρικά δίκτυα και σε δίκτυα δεδομένων. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα δίκτυα μεταφορών, όπως δρόμοι και πεζοδρόμια, στα οποία επιτρέπεται η κίνηση παραγόντων (π.χ. ανθρώπων, αγαθών, οχημάτων) και προς τις δύο δυνατές κατευθύνσεις, σε αντίθεση με τα γεωμετρικά δίκτυα, στα οποία η διαδρομή περιορίζεται προς μια κατεύθυνση τη φορά (ArcGIS, 2020).

Η ανάλυση χωροθέτησης – κατανομής (location – allocation analysis) εστιάζει στον εντοπισμό ιδανικών θέσεων/τοποθεσιών με βάση κριτήρια που έχουν τεθεί σε σχέση με τον σκοπό της έρευνας κάθε φορά. Χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ανάλυσης είναι η διττή επίλυση τοποθέτησης των σημείων στις βέλτιστες θέσεις και παράλληλα κατανομή της ζήτησης σε αυτά. Προβλήματα που επιλύονται με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS είναι: ελαχιστοποίηση σύνθετης αντίστασης, μεγιστοποίηση κάλυψης, μεγιστοποίηση κάλυψης χωρητικότητας, ελαχιστοποίηση εγκαταστάσεων, μεγιστοποίηση εξυπηρετούμενων χρηστών, μεγιστοποίηση μεριδίου της αγοράς και στοχοποίηση μεριδίου της αγοράς (ArcGIS, 2020).

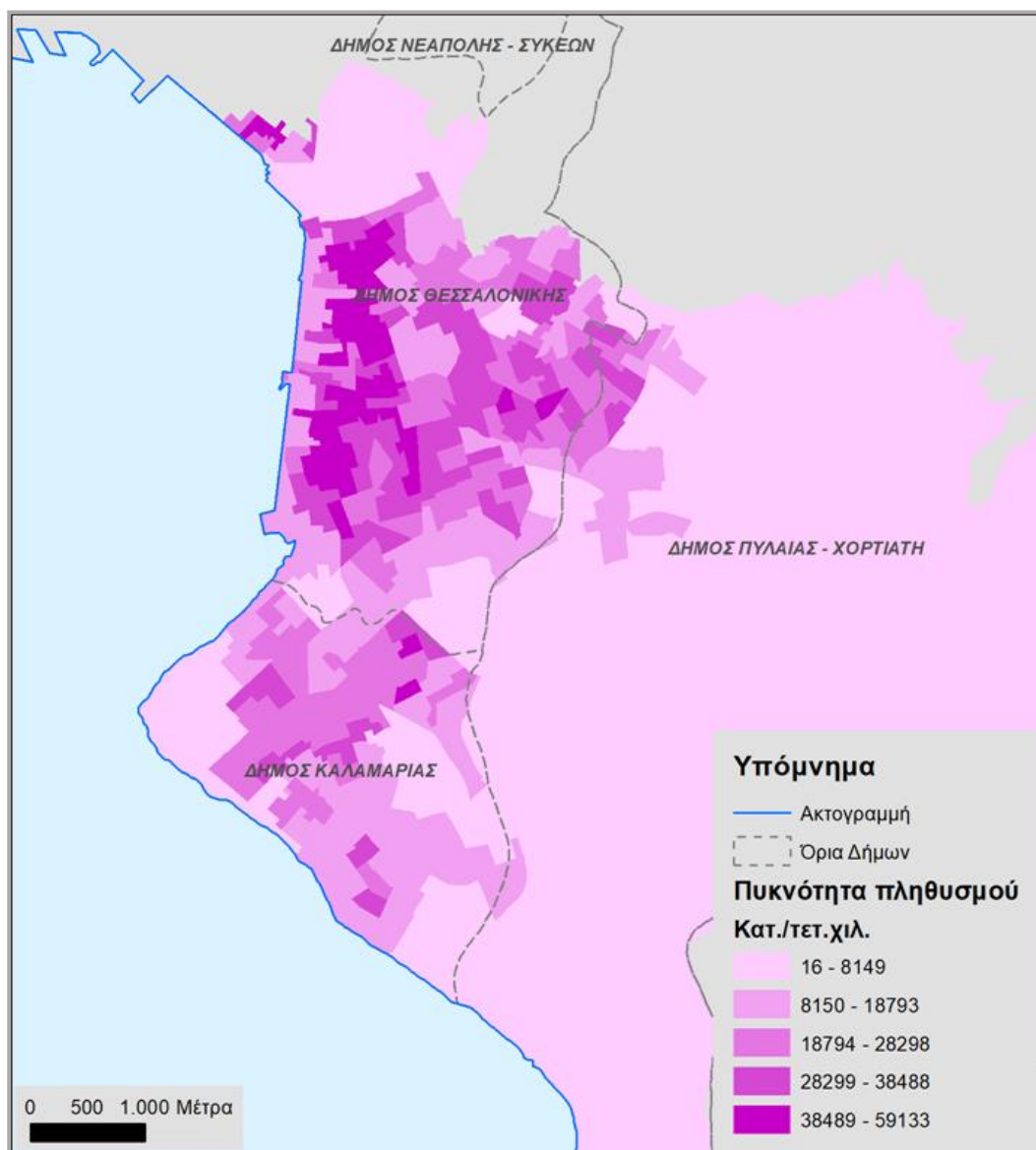
Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξέταση του εναλλακτικού σεναρίου της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

- Δημιουργία πληροφοριακού επιπέδου με τον πληθυσμό ανά Απογραφικό Τομέα. Τα δεδομένα προήλθαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ, 2020).
- Δημιουργία πληροφοριακού επιπέδου για τη δρομολόγηση των οχημάτων. Τα δεδομένα προήλθαν από το OpenStreetMap, και μετά από επεξεργασία/ενημέρωση, διαμορφώθηκε η κατάλληλη τοπολογία για να γίνει ανάλυση του δικτύου.

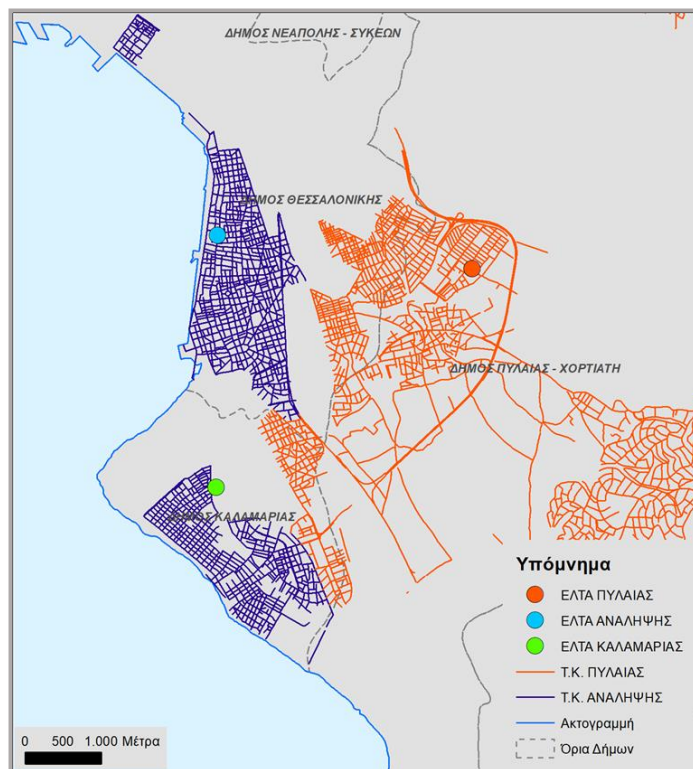
Στο επόμενο Υπο-κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του εναλλακτικού σεναρίου.

6.4 Αποτελέσματα εναλλακτικού σεναρίου

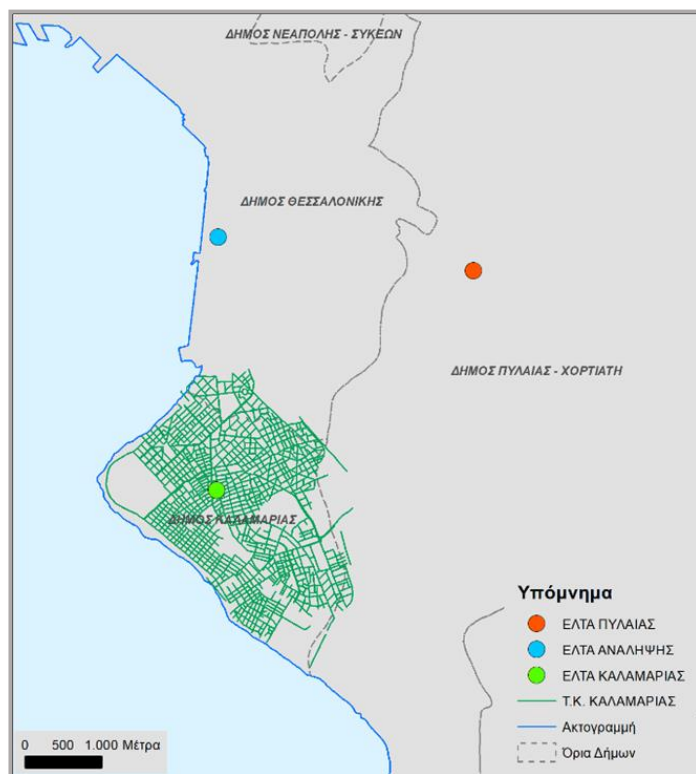
Το πρώτο βήμα της ανάλυσης ήταν η αποτύπωση της περιοχής μελέτης σε ψηφιακό χάρτη, καταρχάς σε σχέση με την πυκνότητα του πληθυσμού (Σχήμα 6-4) και κατόπιν σε σχέση με τις περιοχές που εξυπηρετούνται από τα πρακτορεία της Ανάλιψης και της Πυλαίας (Σχήμα 6-5), όπως και από το τρίτο πρακτορείο της εταιρείας ταχυμεταφορών στην περιοχή της Καλαμαριάς (Σχήμα 6-6).



Σχήμα 6-4: Χάρτης της περιοχής μελέτης με βάση την πυκνότητα του πληθυσμού.

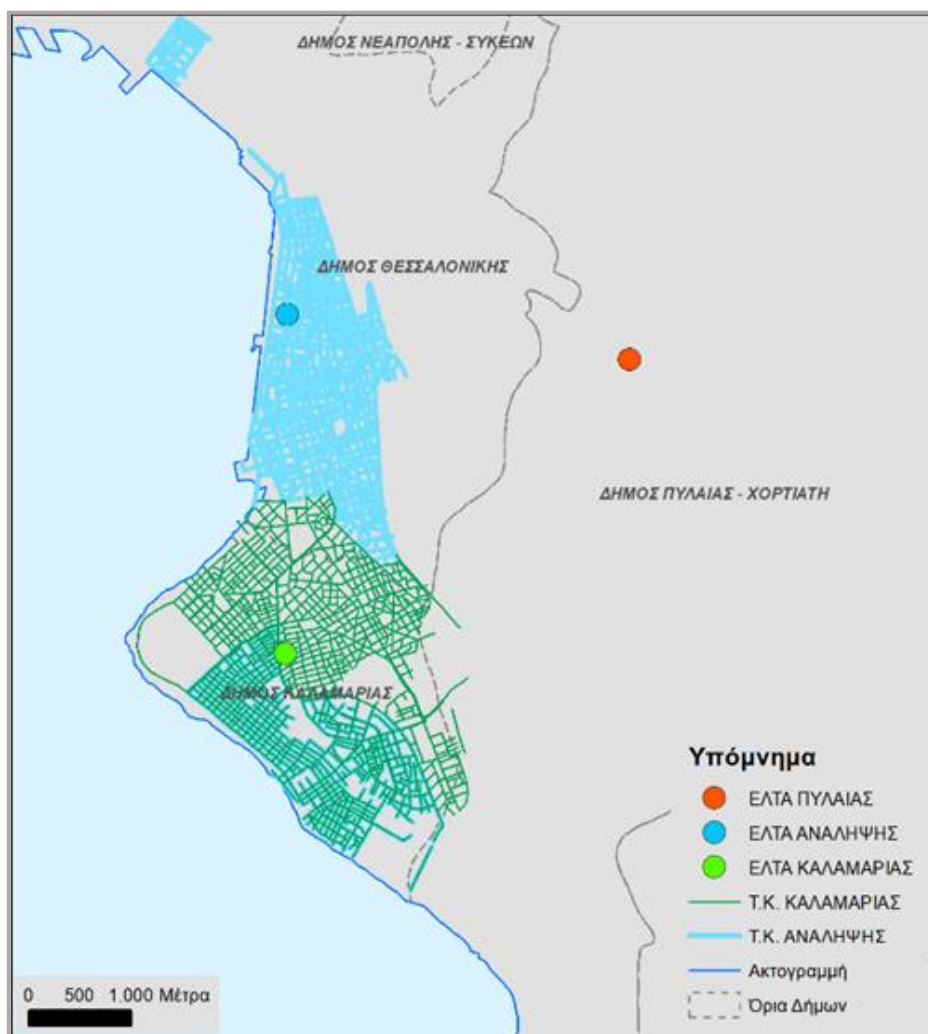


Σχήμα 6-5: Χάρτης περιοχών εξυπηρέτησης από τα πρακτορεία Ανάληψης και Πυλαίας.



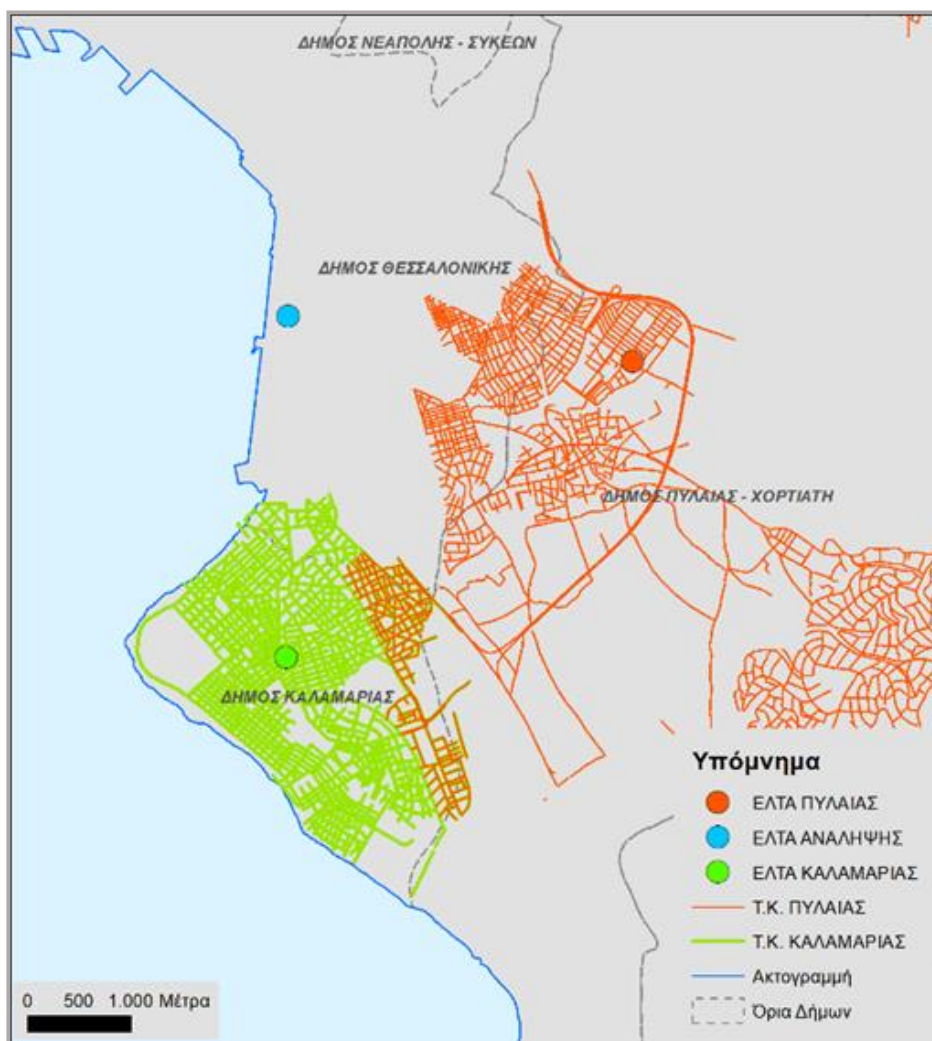
Σχήμα 6-6: Χάρτης περιοχών εξυπηρέτησης από τα πρακτορεία Ανάληψης και Πυλαίας.

Από τους χάρτες που απεικονίζονται στα Σχήματα 6-5 και 6-6, φαίνεται ότι υπάρχει αλληλοεπικάλυψη κάποιων περιοχών που εξυπηρετούνται από τα τρία πρακτορεία της ELTA Courier. Συγκεκριμένα, οι τομείς που επικαλύπτονται από τα πρακτορεία Ανάληψης και Καλαμαριάς είναι αυτοί με Ταχυδρομικό Κώδικα (ΤΚ): 55132, όπως παρουσιάζεται με τον συνδυασμό χρωμάτων στο Σχήμα 6-7.



Σχήμα 6-7: Χάρτης απεικόνισης του τομέα επικάλυψης με ΤΚ: 55132 (συνδυασμός χρωμάτων) από τα πρακτορεία Ανάληψης και Καλαμαριάς.

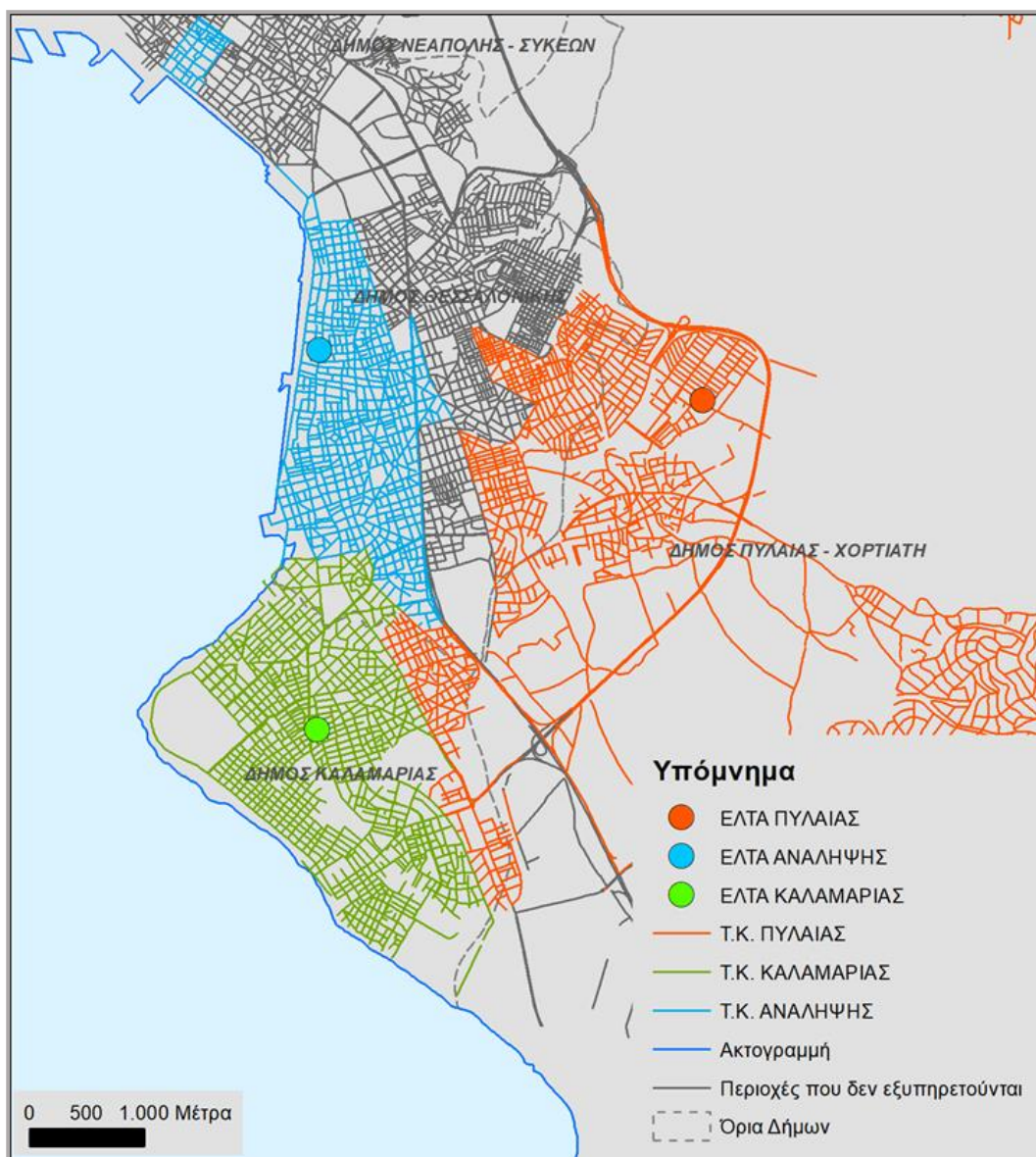
Ομοίως, στο Σχήμα 6-8, ο συνδυασμός χρωμάτων στον χάρτη απεικονίζει την επικάλυψη του τομέα με ΤΚ: 55134 από τα πρακτορεία Καλαμαριάς και Πυλαίας.



Σχήμα 6-8: Χάρτης απεικόνισης του τομέα επικάλυψης με ΤΚ: 55134 (συνδυασμός χρωμάτων) από τα πρακτορεία Καλαμαριάς και Πυλαίας.

Με βάση τα παραπάνω και τον εντοπισμό αλληλοεπικάλυψης των τομέων ΤΚ από τα τρία πρακτορεία, στον χάρτη του Σχήματος 6-9, παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, στην οποία απεικονίζονται τα τρία πρακτορεία των ELTA Courier και όλοι οι ΤΚ που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε περιφερειακή κάλυψη. Όπως προκύπτει από τον χάρτη, με καλύτερη κατανομή του συνολικού δικτύου, είναι εφικτή η εξυπηρέτηση κάποιων τομέων ΤΚ από τα πρακτορεία της Ανάλυσης ή/και της Πυλαίας. Σημειώνεται, επίσης, ότι 2-3 ΤΚ (απομακρυσμένες περιοχές στον χάρτη) είναι εκτός εμβέλειας της περιοχής μελέτης και δεν

λαμβάνονται υπόψιν στα επόμενα βήματα ανακατανομής των ΤΚ από τα υπάρχοντα πρακτορεία των ELTA Courier. Τέλος, στον χάρτη απεικονίζονται (με γκρι χρώμα) οι περιοχές που δεν εξυπηρετούνται με την υφιστάμενη λειτουργία των διανομών.



Σχήμα 6-9: Συνολικός χάρτης απεικόνισης της υπάρχουσας κατάστασης.

Η ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης, όπως αποδόθηκε χαρτογραφικά με την απεικόνιση της περιοχής μελέτης, της θέσης και των ζωνών εξυπηρέτησης των τριών

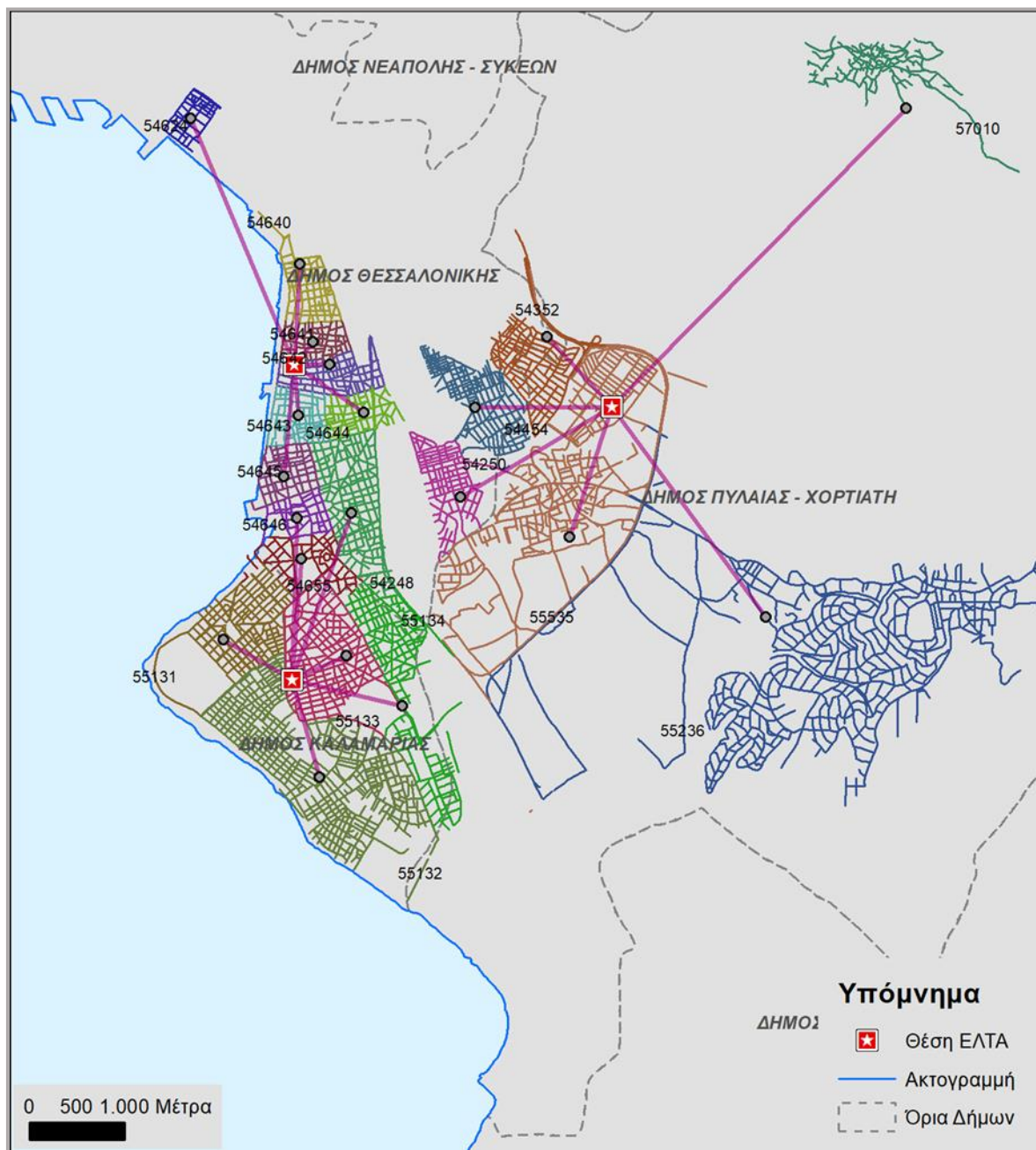
καταστημάτων και του εντοπισμού των αλληλοεπικαλύψεων, οδήγησε στη νέα κατανομή των υπαρχόντων/εξυπηρετούμενων ΤΚ στα υφιστάμενα πρακτορεία των ELTA Courier.

Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον χάρτη του Σχήματος 6-9, υπάρχει ενδεικτικά μια περιοχή ενδιάμεσα στους ΤΚ που καλύπτουν τα πρακτορεία της Ανάλυσης και της Πυλαίας. Επιπλέον, από την προκαταρκτική ανάλυση, εντοπίστηκαν περιοχές που καλύπτουν μεν τα υπάρχοντα πρακτορεία, είναι ωστόσο, απομακρυσμένες από αυτά.

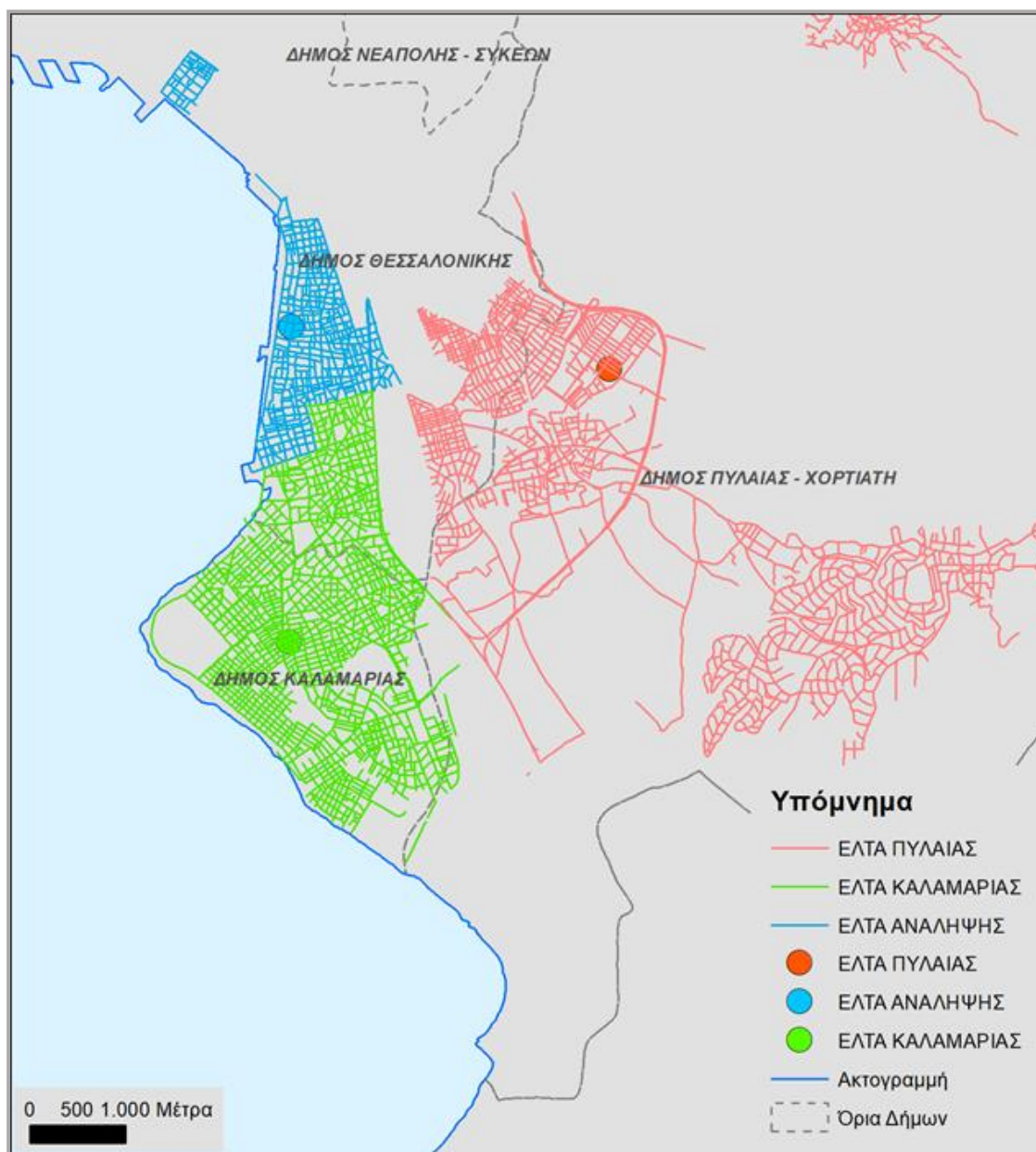
Με βάση την παραδοχή ότι στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διατηρούνται οι υπάρχοντες ΤΚ των τριών πρακτορείων και δεν γίνεται προσθήκη νέων περιοχών ευθύνης στα πρακτορεία, υλοποιήθηκαν τα βήματα που ακολουθούν. Είναι όμως σημαντικό να σημειωθεί ότι ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογική προσέγγιση για το σύνολο της περιφερειακής ενότητας, είναι εφικτή η βέλτιστη κατανομή όλων των ΤΚ ανά πρακτορείο της ELTA Courier. Με την εφαρμογή του αλγορίθμου p-median (minimize impedance), προέκυψαν οι ΤΚ που ελαχιστοποιούν τις αποστάσεις από τα τρία πρακτορεία (Σχήματα 6-10 και 6-11). Επιπλέον, στον Πίνακα 6-9, παρουσιάζεται αναλυτικά η νέα κατανομή των ΤΚ στα τρία πρακτορεία.

Πίνακας 6-9: Νέα κατανομή ΤΚ στα τρία πρακτορεία.

	Πρακτορείο ELTA Courier		
	Ανάλυση	Πυλαία	Καλαμαριά
TK	54624	54250	54655
	54640	54352	55131
	54641	54454	55132
	54642	55236	55133
	54643	55535	55134
	54644	57010	54248
	54645		54646

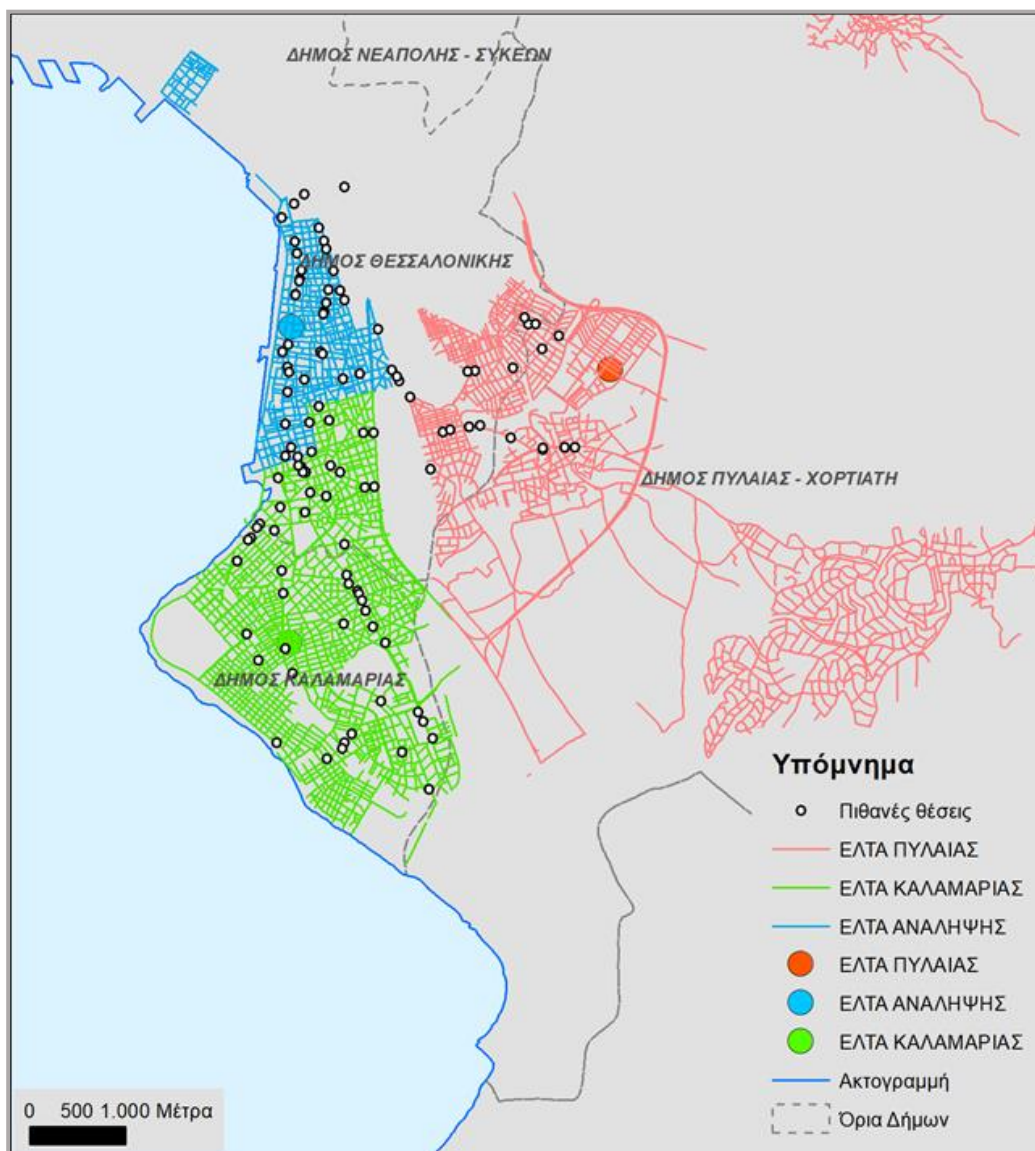


Σχήμα 6-10: Βέλτιστη κατανομή των περιοχών ευθύνης (υπαρχόντων ΤΚ) στα τρία πρακτορεία.



Σχήμα 6-11: Νέα κατανομή των ΤΚ με βάση τη βελτιστοποίηση p-median.

Με βάση την προσέγγιση και τις παραδοχές, όπως αναφέρθηκαν στο Υπο-κεφάλαιο 6.3.1, εντοπίστηκαν για κάθε ταχυδρομικό κώδικα ορισμένα πιθανά σημεία ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα, πρατήρια καυσίμων, σουπερμάρκετ, καταστήματα τραπεζών, σχολεία και κάποιες δημόσιες υπηρεσίες, με λίγα λόγια, σημεία που είναι πολυσύχναστα και εμφανίζουν υψηλή επισκεψιμότητα και εύκολη προσβασιμότητα. Στον χάρτη του Σχήματος 6-12, απεικονίζονται πιθανά σημεία ενδιαφέροντος.



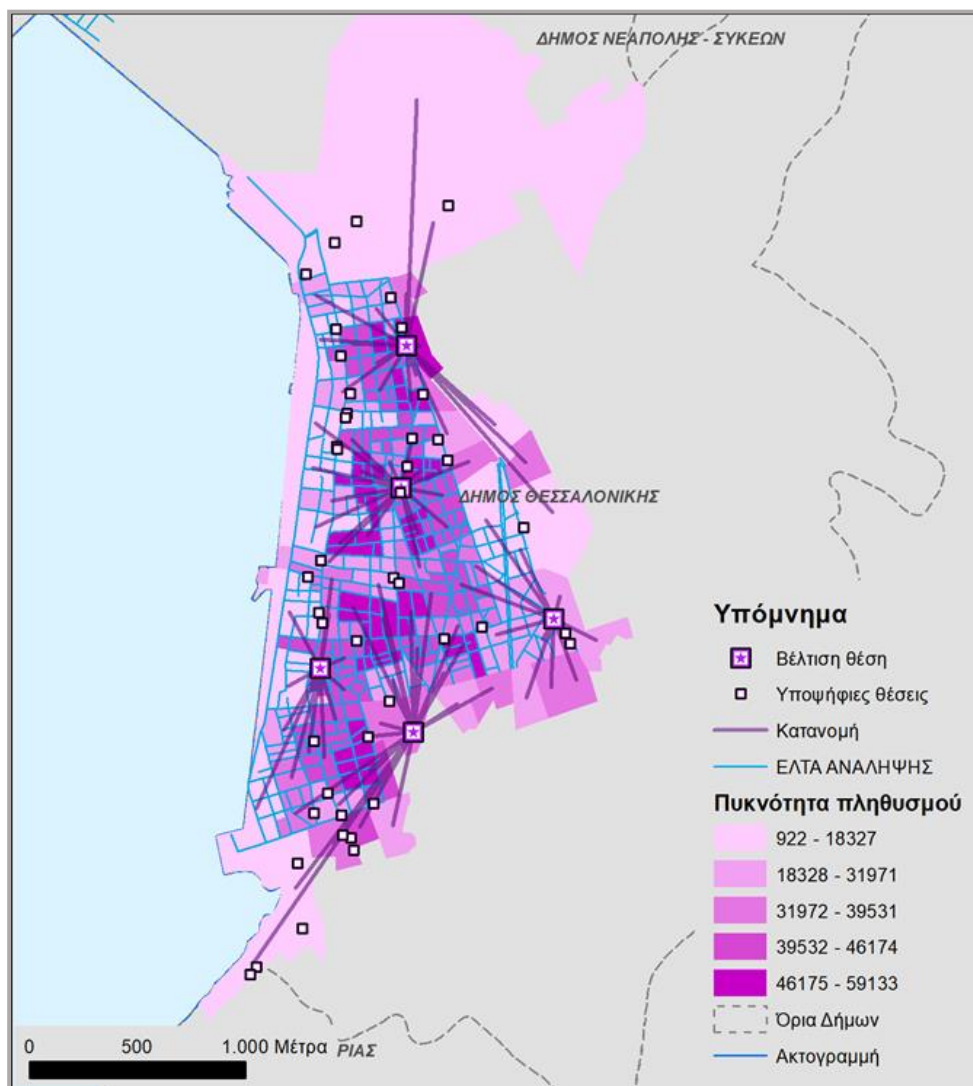
Σχήμα 6-12: Απεικόνιση σημείων ενδιαφέροντος στην περιοχή μελέτης.

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψιν τις προδιαγραφές και κυρίως τους περιορισμούς στην κυκλοφορία κομβία αυτόνομων οχημάτων, εντοπίστηκαν πιθανές διαδρομές που μπορούν να ακολουθήσουν τα κομβία στο υφιστάμενο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, όπως απεικονίζονται στον χάρτη του Σχήματος 6-13.



Σχήμα 6-13: Απεικόνιση πιθανών διαδρομών κομβί αυτονομων οχημάτων.

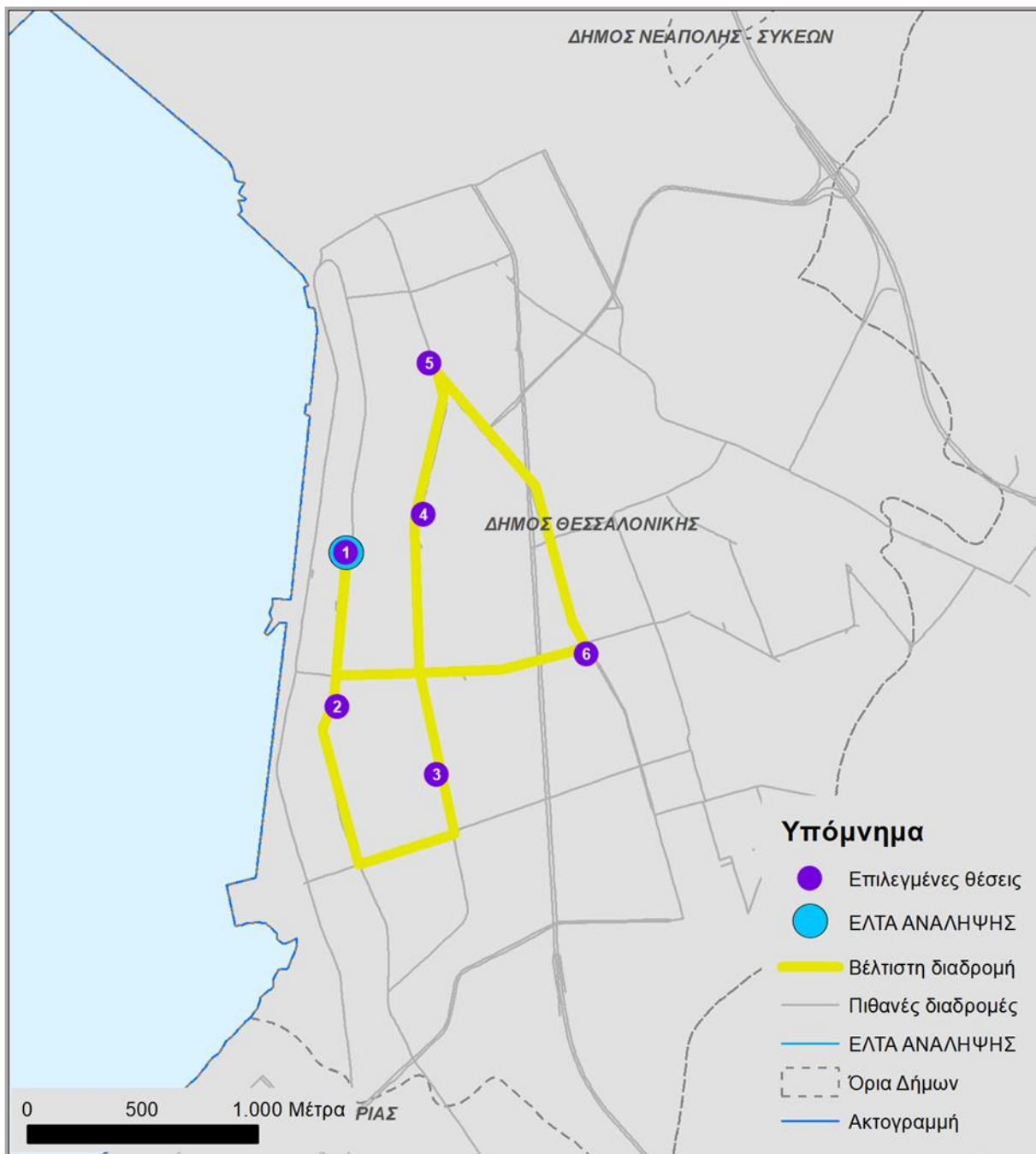
Για καθένα από τα τρία πρακτορεία και την αντίστοιχη περιοχή ευθύνης στην εξυπηρέτηση των διανομών, πραγματοποιείται ξεχωριστή ανάλυση. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα, τα οποία αφορούν στην επιλογή των πέντε καλύτερων σημείων εξυπηρέτησης του πληθυσμού με βάση την πυκνότητα και τις αντίστοιχες προτεινόμενες διαδρομές από τη βάση του κάθε πρακτορείου προς τα σημεία.



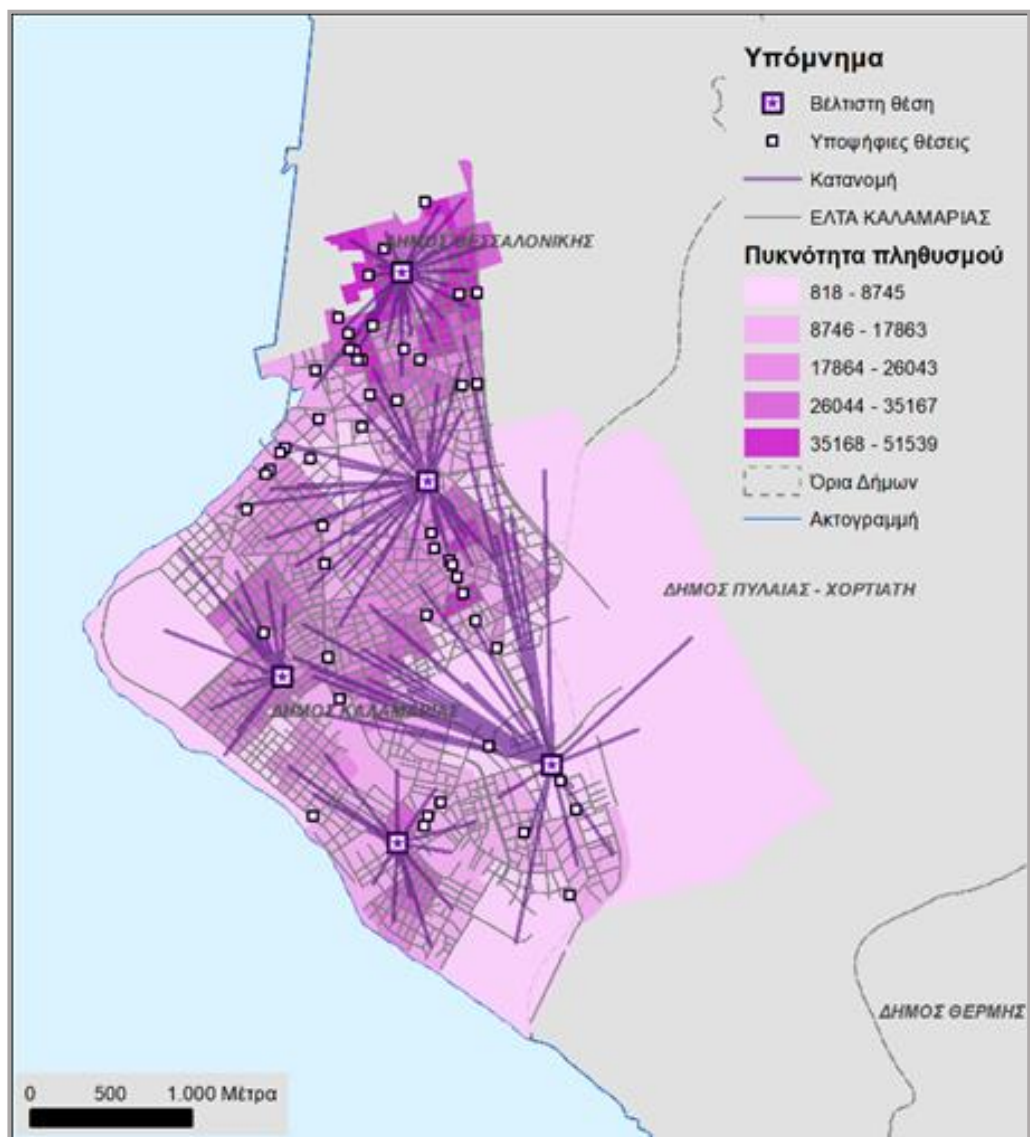
Σχήμα 6-14: Απεικόνιση των 5 καλύτερων σημείων ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Ανάλυσης.

Πίνακας 6-10: Καλύτερα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Ανάλυσης.

Επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Ανάλυσης
Γαλαξίας supermarket
Πρατήριο BP
Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Θεσσαλονίκης (ΟΑΣΘ)
4 ^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης
Μασούτης supermarket



Σχήμα 6-15: Χάρτης απεικόνισης βέλτιστης διαδρομής από το πρακτορείο της Ανάλιψης προς τα 5 επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος, κατά σειρά στάσεων.



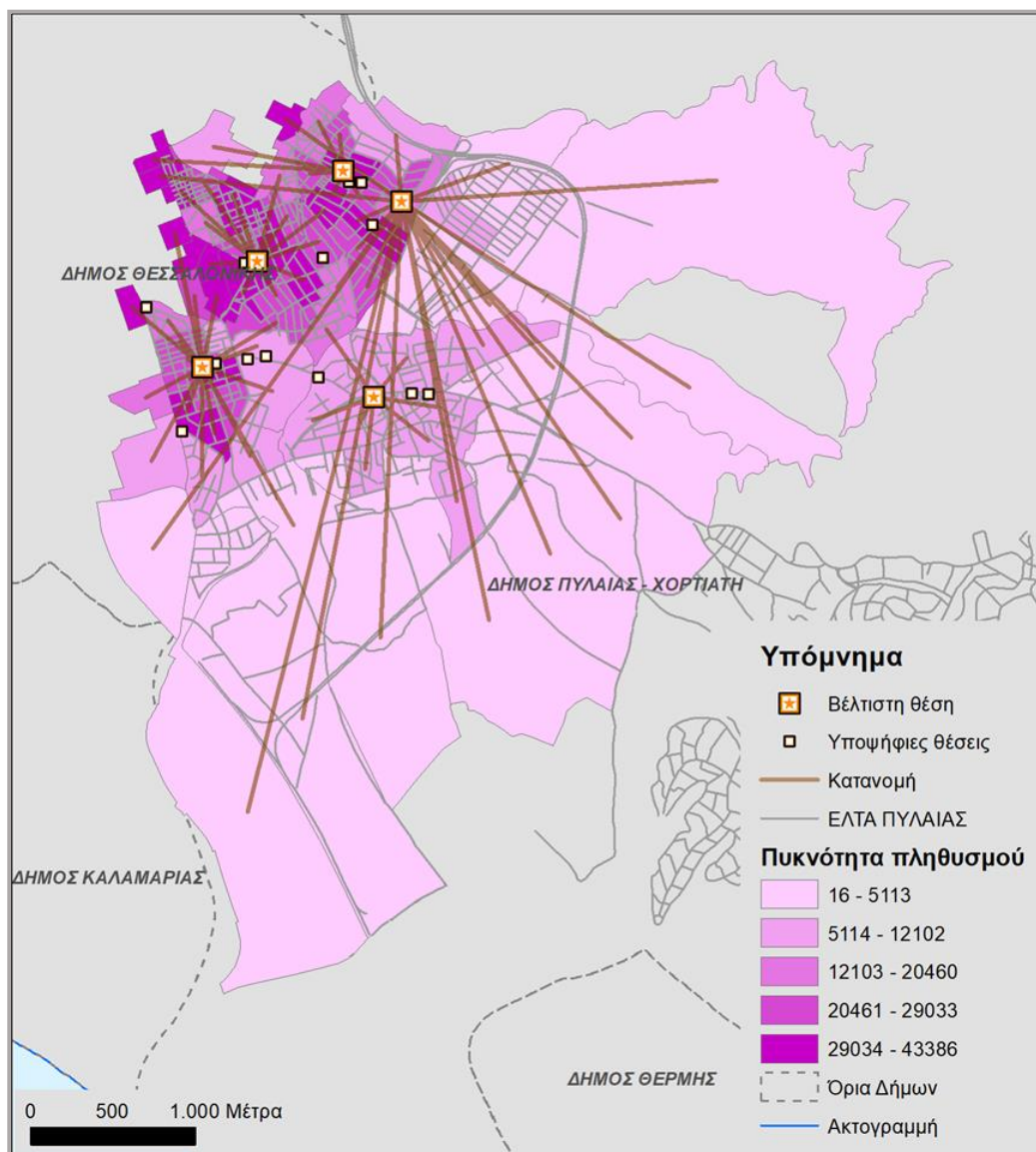
Σχήμα 6-16: Απεικόνιση των 5 καλύτερων σημείων ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Καλαμαριάς.

Πίνακας 6-11: Καλύτερα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Καλαμαριάς.

Επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Καλαμαριάς
4 ^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης
Πρατήριο Shell
Μασούτης supermarket
Κατάστημα τράπεζας EUROBANK
ΔΟΥ Καλαμαριάς



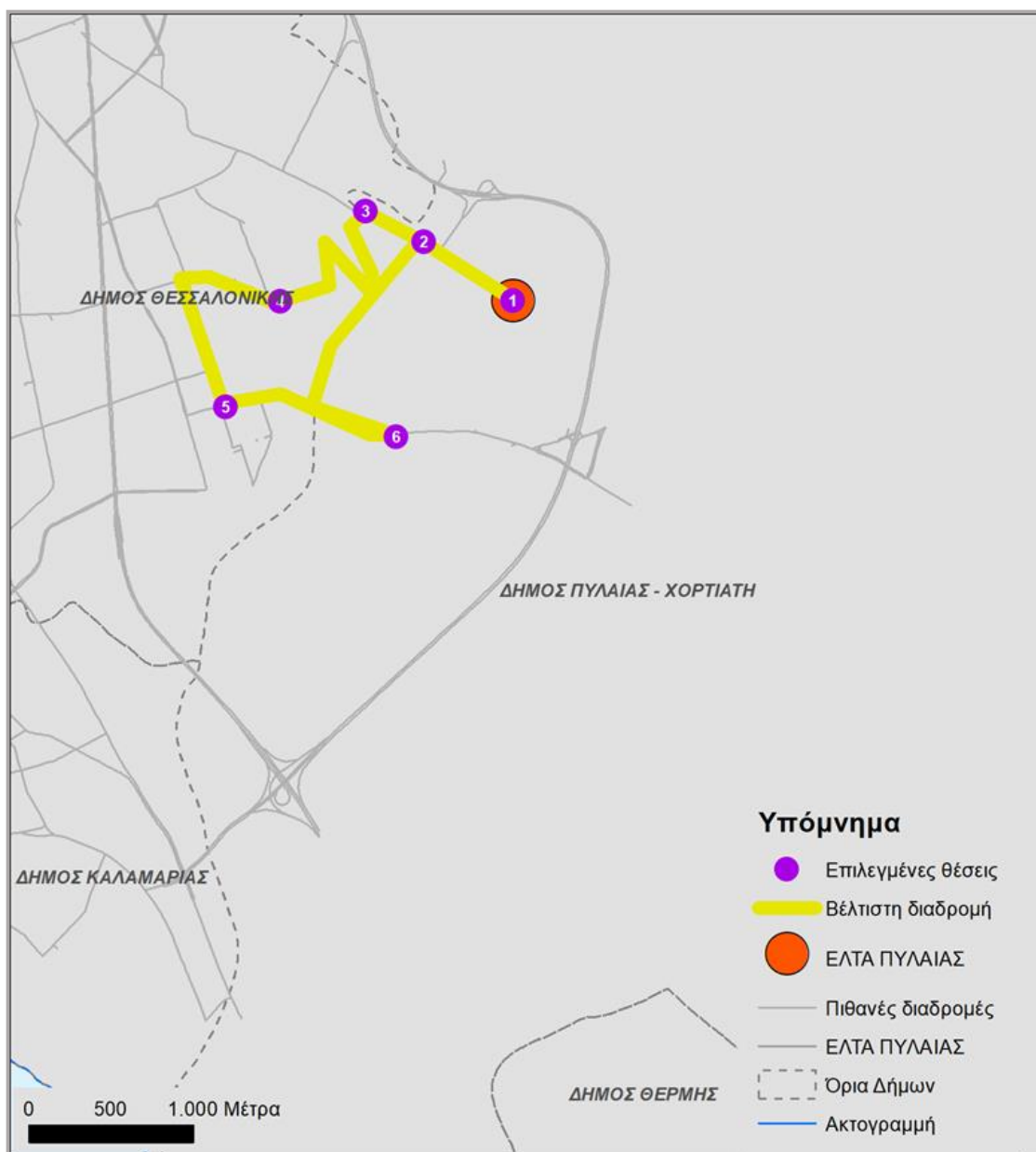
Σχήμα 6-17: Χάρτης απεικόνισης βέλτιστης διαδρομής από το πρακτορείο της Καλαμαριάς προς τα 5 επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος, κατά σειρά στάσεων.



Σχήμα 6-18: Απεικόνιση των 5 καλύτερων σημείων ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Πυλαίας.

Πίνακας 6-12: Καλύτερα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Πυλαίας.

Επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος για το πρακτορείο της Πυλαίας
Μασούτης supermarket
Μασούτης supermarket
Πρατήριο AVIN
Πρατήριο ELIN – Arkas Oil Ltd
Πρακτορείο ΟΠΑΠ



Σχήμα 6-19: Χάρτης απεικόνισης βέλτιστης διαδρομής από το πρακτορείο της Πυλαίας προς τα 5 επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος, κατά σειρά στάσεων.

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε εκτενής ανασκόπηση σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα σε υπηρεσίες μεταφοράς εμπορευμάτων και logistics, αναφέρθηκαν απαραίτητες έννοιες, αδύναμα και δυνατά σημεία των αυτόνομων οχημάτων, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν και οι απαιτήσεις λειτουργίας τους. Επιπλέον, έγινε αναφορά των σχετικών θεσμικών πλαισίων και ρυθμιστικών κανόνων που ισχύουν σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Στη συνέχεια, αναφέρθηκαν εφαρμογές των αυτόνομων οχημάτων στις εμπορευματικές μεταφορές σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο, για μακρινές αποστάσεις και για παραδόσεις στο τελευταίο μίλι. Τέλος, εξετάστηκαν με λεπτομέρεια τα συστήματα κομβίι αυτόνομων οχημάτων, τα οφέλη τους, ο τρόπος λειτουργίας τους, τα υφιστάμενα θεσμικά πλαίσια που υπάρχουν και οι προδιαγραφές τους.

Η αξιολόγηση της χρήσης των κομβίι στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές καταδεικνύει τη σημαντική συμβολή τέτοιων συστημάτων στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων σε ένα δίκτυο από την πλευρά της ασφάλειας, της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος.

Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για το εναλλακτικό σενάριο δεν ήταν εφικτή η προσομοίωση στο λογισμικό PTV Vissim 7, καθώς η συγκεκριμένη (διαθέσιμη) έκδοση δεν διαθέτει την επιλογή χρήσης αυτόνομων οχημάτων ή κομβίι οχημάτων. Ωστόσο, καθώς η τελευταία έκδοση του λογισμικού PTV Vissim/Viswalk 2020 έχει αυτή τη δυνατότητα, προτείνεται στο μέλλον η αξιοποίησή της. Συνοπτικά και όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο του

λογισμικού, προβλέπεται ότι αποκλειστικά τα οχήματα που έχουν την ίδια «οδηγική συμπεριφορά» μπορούν να δημιουργήσουν ένα κομβίο μεταξύ τους. Επίσης, το λογισμικό διαθέτει χαρακτηριστικά για την προσομοίωση ενός κομβίου, όπως η μέγιστη απόσταση προσέγγισης ενός οχήματος για να συμμετάσχει στο κομβίο, ο μέγιστος αριθμός οχημάτων στο κομβίο, η μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα του κομβίου και η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο οχημάτων στο κομβίο. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα διάσπασης του κομβίου εάν ένα όχημα πρέπει να φύγει επειδή έχει διαφορετική πορεία από το πρώτο όχημα. Σε αυτήν την περίπτωση η απόσταση μεταξύ των οχημάτων του κομβίου αρχίζουν να αυξάνονται μέχρι να επιτευχθεί μια απόσταση ασφαλείας, να χωριστεί το κομβίο και να αποχωρήσει το όχημα. Επομένως η νέα έκδοση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντικές έρευνες για την προσομοίωση συστημάτων κομβίου. Ενδεικτικά, η αμερικάνικη εταιρεία «Peloton Technology» σε δοκιμή ενός συστήματος κομβίου αποτελούμενο από δύο φορτηγά κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η εξοικονόμηση καυσίμων ήταν της τάξης του 4,5% για το πρώτο φορτηγό και 10% για το φορτηγό που ακολουθούσε, δηλαδή η συνολική εξοικονόμηση καυσίμων ήταν περίπου της τάξης του 7,25% (Windover et al., 2018).

Το συμπληρωματικό μέτρο των έξυπνων θυρίδων που χρησιμοποιήθηκε στο εναλλακτικό σενάριο της μελέτης περίπτωσης της παρούσας εργασίας, κατέδειξε ότι η εφαρμογή της συγκεκριμένης λύσης οδηγεί σε μια σειρά από οφέλη, όπως είναι ο περιορισμός του φαινομένου των αποτυχημένων παραδόσεων, η αποφυγή των παράνομων στάσεων των οχημάτων της εταιρείας με σκοπό τη φόρτωση/εκφόρτωση εμπορευμάτων, η δυνατότητα συνδυασμού παραλαβής ενός δέματος από τον πελάτη με άλλες υποχρεώσεις και η μη επιβάρυνση του οδικού δικτύου λόγω της θέσης των έξυπνων θυρίδων σε περιοχές που εξυπηρετούνται από την αστική συγκοινωνία.

Βιβλιογραφία

Adnan, N., Nordin, S. M. & Althawadi, O. M., 2018. Barriers Towards Widespread Adoption of V2G Technology in Smart Grid Environment: From Laboratories to Commercialization. In: *Sustainable Interdependent Networks*. Springer, pp. 121–134.

Alessandrini, A., Campagna, A., Site, P. D., Filippi, F. & Persia, L., 2015. Automated vehicles and the rethinking of mobility and cities. *Transportation Research Procedia*, Volume 5, pp. 145-160.

Allen, J. & Browne, M., 2010. Sustainability strategies for city logistics, in McKinnon, A. et al. (eds) *Green Logistics: Improving the environmental sustainability of logistics*. CILT (UK): Kogan Page, pp. 282–305.

Allen, J., Thorne, G. & Browne, M., 2007. Good practice guide on urban freight transport. Bestufs consortium. Available at: www.bestufs.net. [Accessed 06 March 2020].

Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C. & Oluwatola, O. A., 2014. *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation.

ArcGIS, 2020. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/> [Accessed 15 January 2020].

Bansal, P., Kockelman, K. & Singh, A., 2016. Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: an Austin perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, pp. 1–14.

Bhoopalam, A. K., Agatz, N. & Zuidwijk, R., 2017. Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research. *Transportation Research Part B* 107, pp. 212–228.

Boysen, N., Schwerdfeger, S. & Weidinger, F., 2018. Scheduling last-mile deliveries with truck-based autonomous robots. *European Journal of Operational Research* 271, pp. 1085–1099.

Cobb, S., 2016. Data privacy and data protection: US Law and Legislation. ESET. [Online] Available at: <https://www.welivesecurity.com/wp-content/uploads/2018/01/US-data-privacy-legislation-white-paper.pdf> [Accessed 10 May 2019].

Comi, A. & Nuzzolo, A., 2016. Exploring the relationships between e-shopping attitudes and urban freight transport. *Transportation Research Procedia*, Elsevier B.V., 12 (June 2015), pp. 399–412. doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.075.

De Bruin, R., 2016. Autonomous intelligent cars on the european intersection of liability and privacy: regulatory challenges and the road ahead. *European Journal of Risk Regulation*, 7(3), pp. 485–5001, doi: 10.1017/S1867299X00006036.

Demiridi, E., Kopelias, P., Nathanail, E. & Skabardonis, A., 2019. Connected and Autonomous Vehicles – Legal Issues in Greece, Europe and USA. *Data Analytics: Paving the Way to Sustainable Urban Mobility*, pp. 756-763, doi: 10.1007/978-3-030-02305-8_91.

DHL, 2014. Self-driving vehicles in logistics: a DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry. [Online] Available at: <https://discover.dhl.com/content/dam/dhl/downloads/interim/full/dhl-self-driving-vehicles.pdf> [Accessed 10 May 2019].

Dieselnet, Engine & emission technology online, 2019. Emission Standards. [Online] Available at: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php> [Accessed 20 February 2020].

Emisia, 2018. COPERT Street Level. [Online] Available at: <https://www.emisia.com/utilities/copert/> [Accessed 22 December 2019].

European Automobile Manufacturers Association, 2016. What is the European Truck Platooning Challenge? [Online] Available at: <https://www.acea.be/news/article/what-is-the-european-truck-platooning-challenge> [Accessed 10 May 2019].

European Automobile Manufacturers Association, 2017. Platooning roadmap. [Online] Available at: https://www.acea.be/uploads/publications/Platooning_roadmap.pdf [Accessed 10 May 2019].

European Commission, 2011. Impact Assessment: White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. Commission staff working paper. 144 final. Brussels, Belgium. doi: http://ec.europa.eu/transport/strategies/doc/2011_white_paper/white_paper_2011_ia_full_en.pdf.

European Commission, 2016. Climate action. [Online] Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm. [Accessed 10 May 2019].

European Commission, 2018. Horizon 2020. [Online] Available at: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/background-material#Article> [Accessed 10 May 2019].

Fagnant, D. J. & Kockelman, K., 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A*, 77, pp. 167-181.

Faugere, L. & Montreuil, B., 2016. Hyperconnected City Logistics: Smart Lockers Terminals & Last Mile Delivery Networks, 3rd International Physical Internet Conference, At Atlanta, GA, United States.

Favarò, F., Eurich, S. & Nader, N., 2017. Autonomous vehicles' disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations. *Accident Analysis and Prevention*, 110, pp. 136–148.

Flämig, H., 2015. Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes. In: *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. s.l.:Springer.

Gao, P., Hensley, R., & Zielke, A., 2014. A roadmap to the future for the auto industry. *McKinsey Quarterly*,(4), pp. 42-53.

Ghaffary, S., 2014. Robot Roundup: How Supply Chain is Leading the Way in Sophisticated Automation. [Online] Available at: <http://blog.elementum.com/robot-roundup-how-supply-chain-is-leading-the-wayin-sophisticated-automation> [Accessed 10 May 2019].

Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Ntziachristos, L., and Samaras, Z., 2012. COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport User Manual, 9th edition, EMISIA S.A., (2012).

Government of the Netherlands, 2016. What is the Declaration of Amsterdam on selfdriving and connected vehicles? [Online] Available at: <https://www.government.nl/topics/mobility-public-transport-and-road-safety/question-and-answer/what-is-the-declaration-of-amsterdam-on-selfdriving-and-connected-vehicles> [Accessed 10 May 2019].

Haas, I. & Friedrich, B., 2018. An autonomous connected platoon-based system for city-logistics: development and examination of travel time aspects. *Transportmetrica A: Transport Science Journal*, DOI: 10.1080/23249935.2018.1494221.

He, X. & Wu, X., 2018. Eco-driving advisory strategies for a platoon of mixed gasoline and electric vehicles in a connected vehicle system. *Transportation Research Part D* 63, pp. 907-922.

Hudson, J., Orviska, M., 2011. European attitudes to gene therapy and pharmacogenetics. *Drug Discovery Today* 16, pp. 843–847.

Hudson, J., Orviska, M. & Hunady, J., 2018. People's attitudes to autonomous vehicles. *Transportation Research Part A* 121, pp. 164–176.

Jing, W., Yan, Y., Kim, I. & Sarvi, M., 2016. Electric vehicles: A review of network modelling and future research needs. *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 8(1), pp. 1-8.

Kim, M.K., Heled, Y., Asher, I. & Thompson, M., 2014. Comparative analysis of laws on autonomous vehicles in the U.S. and Europe, s.l.: Georgia Tech Research.

Korver, W. et al., 2012. CIVITAS Guide for the urban transport professional. p. 132. Available at: [http://www.civitas-initiative.eu/sites/default/files/Results and Publications/CIVITAS_Guide_For_The_Urban_Transport_Professional.pdf](http://www.civitas-initiative.eu/sites/default/files/Results_and_Publications/CIVITAS_Guide_For_The_Urban_Transport_Professional.pdf).

Kyriakidis, M., Happee, R. & De Winter, J. C. F., 2015. Public opinion on automated driving: results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, pp. 127–140.

Liu, P., Guo, Q., Ren, F., Wang, L. & Xu, Z., 2019. Willingness to pay for self-driving vehicles: Influences of demographic and psychological factors. *Transportation Research Part C* 100, pp. 306–317.

Mokhtarian, P. L., 2004. A conceptual analysis of the transportation impacts of B2C e-commerce. *Transportation*, 31(3).

Nathanail, E., Mitropoulos, L., Karakikes, I. & Adamos, G., 2018. Sustainability framework for assessing urban freight transportation measures. *Logistics & Sustainable Transport*, 9 (2), pp. 16-36.

National Highway Traffic Safety Administration, 2016. Federal Automated Vehicles Policy. [Online] Available at: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/AV%20policy%20guidance%20PDF.pdf> [Accessed 10 May 2019].

National Highway Traffic Safety Administration, 2017. Vehicle-to-Vehicle Communication. [Online] Available at: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communication> [Accessed 10 May 2019].

NCSL, n.d. National Conference of State Legislatures, 2018. [Online] Available at: <http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx> [Accessed 10 May 2019].

Ndashimye, E., Ray, S. K., Sarkar, N. I., & Gutiérrez, J. A., 2017. Vehicle-to-infrastructure communication over multi-tier heterogeneous networks: A survey. *Computer Networks Volume* 112, pp. 144-166.

OECD, 2007. Efficient and Sustainable Intermodal Logistics Network in the Asia-Pacific Region. Tokyo: OECD/ECMT Outreach Activity of the Asian Logistics Project.

Ogden, K. W., 1992. Urban goods movement: a guide to policy and planning / K.W. Ogden. Ashgate Aldershot, England.

Papoutsis, K. & Nathanail, E., 2016. Facilitating the Selection of City Logistics Measures through a Concrete Measures Package: A Generic Approach. *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 12(June 2015), pp. 679–691. doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.021.

Piekenbrock, P., 2014. Autonomous vehicles in goods transport. [Online] Available at: <http://next.mercedes-benz.com/en/autonomous-vehicles-in-goods-transport/> [Accessed 10 May 2019].

PTV AG, 2019. What is new in PTV Vissim/Viswalk 2020. [Online] Available at: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/release-highlights/> [Accessed 10 February 2020].

Raul, A. C., 2017. The Privacy, Data Protection and Cybersecurity Law Review. Law Business Research Ltd. [Online] Available at: https://thelawreviews.co.uk/digital_assets/25776d4c-702f-41bb-82a0-cb3e18240506/Privacy.pdf [Accessed 10 May 2019].

Russell, G. T. & Taniguchi, E., 2017. City Logistics and Freight Transport. In: K. J. B., D. A. H. Ann M. Brewer, ed. *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management (Hand-books in Transport, Volume 2)*. pp. 393 - 405.

Russo, F. & Comi, A., 2012. City characteristics and urban goods movements: A way to environmental transportation system in a sustainable city. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 39, pp. 61–73.

SAE International, 2014. Automated Driving: Levels of Driving Automation are Defined in New Safe International Standards J3016. [Online] Available at:

https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/news/press-releases/pathway-to-autonomy/automated_driving.pdf [Accessed 10 May 2019].

Scherr, Y. O., Neumann-Saavedra, B. A., Hewitt, M. & Mattfeld, D. C., 2018. Service Network Design for Same Day Delivery with Mixed Autonomous Fleets. *Transportation Research Procedia* 30, pp. 23–32.

Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J. & Rhoades, J., 2015. Sustainable city logistics: Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Res. Transp. Bus. Manag.* 15, pp. 50–57.

Schoettle, B. & Sivak, M., 2014. A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the U.S., the U.K., and Australia, Michigan, USA.

Sebestyen, J., Khurana, S. & Batra, G., 2014. Deploying autonomous vehicles: Commercial considerations and urban mobility scenarios, s.l.: s.n.

Shanker, R. et al., 2013. Autonomous Cars: Self-Driving the New Auto Industry Paradigm. [Online] Available at: <https://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Nov2013MORGAN-STANLEY-BLUE-PAPER-AUTONOMOUS-CARS%EF%BC%9A-SELF-DRIVING-THE-NEW-AUTO-INDUSTRY-PARADIGM.pdf> [Accessed 10 May 2019].

Sheikholeslam, S. & Desoer, C. A., 1990. Longitudinal Control of a Platoon of Vehicles. Proc. of 1990 American Control Conference, pp. 291–296.

Silberg, G. & Wallace, R., 2012. Self-driving cars: the next resolution. [Online] Available at: [https://faculty.washington.edu/jbs/itrans/self_driving_cars\[1\].pdf](https://faculty.washington.edu/jbs/itrans/self_driving_cars[1].pdf) [Accessed 10 May 2019].

Silberg, G., 2013. Self-driving cars: are we ready? [Online] Available at: <https://home.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2013/10/self-driving-cars-are-we-ready.pdf> [Accessed 10 May 2019].

Stromberg, J., 2014. Why Trucks Will Drive Themselves Before Cars Do. [Online] Available at: http://www.supplychain247.com/article/why_trucks_will_drive_themselves_before_cars_do [Accessed 10 May 2019].

Taniguchi E. & Tompson R., 2001. City logistics and freight transport. Handbook of Logistics and Supply Chain Management.

Taniguchi, E. & Van Der Heijden, R.E.C.M., 2000. An evaluation methodology for city logistics. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 20:1, 65-90, doi: 10.1080/014416400295347.

Taniguchi, E., 2001. City Logistics. *Infrastructure Planning Review*, 18(1), pp. 34–45.

Taniguchi, E., 2015. City logistics for sustainable and liveable cities. *Green Logistics and Transportation: A Sustainable Supply Chain Perspective*. Elsevier B.V., 151, pp. 49–60, doi: 10.1007/978-3-319-17181-4_4.

Taniguchi, E., Thompson, R. G. & Yamada, T., 2016. New Opportunities and Challenges for City Logistics. *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 12 (June 2015), pp. 5– 13, doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.004.

Taniguchi, E., Thompson, R. G. & Yamada, T., 2003. Visions for city logistics. Proceedings of the 3rd International Conference on City Logistics, Madeira, Portugal.

Tobar, M., et al., 2019. ENSEMBLE regulatory framework – state of the art. D6.10 of H2020 project ENSEMBLE.

Ulmer, M. W. & Streng, S., 2019. Same-Day delivery with pickup stations and autonomous vehicles. *Computers and Operations Research* 108, pp. 1–19.

Union of Concerned Scientists, 2017. Self-Driving Cars Explained. [Online] Available at: <https://www.ucsusa.org/resources/self-driving-cars-101> [Accessed 10 May 2019].

Van Meldert, B. & De Boeck, L. 2016. Introducing autonomous vehicles in logistics: a review from a broad perspective. Research Report, KU Leuven, Leuven.

Vellinga, N. E., 2017. From the testing to the deployment of self-driving cars: Legal challenges to policymakers on the road ahead. *Computer law & security review* 33, pp. 847–863.

Visser, J., Nemoto, T. & Browne, M., 2014. Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., 125, pp. 15–27, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1452.

Weltevreden, J. W. J. & Rotem-Mindali, O., 2009. Mobility effects of b2c and c2c e-commerce in the Netherlands: a quantitative assessment. *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 17(2), pp. 83–92. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2008.11.005.

Windover, P., Owens, R. & Roy, B., 2018. Final Report: Truck platooning policy barriers study. Report Number 18-01. NYSDOT Task Assignment C-15-10.

Yeomans, G., 2014. Autonomous vehicles, handing over control: opportunities and risks for insurance. [Online] Available at: <https://www.insurancehound.co.uk/technology/technology-trends/autonomous-vehicles-handing-over-control-risks-and-opportunities-insurance-21178> [Accessed 10 May 2019].

Yuen, K. F., Wang, X., Ma, F. & Wong, Y. D., 2019. The determinants of customers' intention to use smart lockers for last-mile deliveries. *Journal of Retailing and Consumer Services* 49, pp. 316–326.

Zhao, J., Liang, B. & Chen, Q., 2017. The key technology toward the self-driving car. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems* Vol. 6 No. 1, pp. 2-20.

Ziegler, J., Dang, T., Franke, U., Lategahn, H., Bender, P., Schreiber, M., Strauss, T., Appenrodt, N., Keller, C. G., Kaus, E., Stiller, C., Herrtwich, R. G. et al., 2014. Making Bertha Drive - An Autonomous Journey on a Historic Route. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 8-20.

Zunder, T. H., Aditjandra, P. T. & Carnaby, B., 2014. Developing a local research strategy for city logistics on an academic campus. *International Journal of Urban Sciences*. Elsevier B.V., 18(2), pp. 262–277. doi: 10.1080/12265934.2014.926830.

Κιούσης, Β., 2018. Εκτίμηση κυκλοφοριακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των «έξυπνων θυρίδων» για διανομές εμπορευμάτων σε μεσαίου μεγέθους δήμο της Αθήνας με χρήση λογισμικού μικροσκοπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Λευκή Βίβλος, 2011. Χάρτης πορείας για έναν ενιαίο ευρωπαϊκό χώρο των μεταφορών, 91^η Σύνοδος Ολομέλειας. Βρυξέλλες, Βέλγιο.

Μαυρογενίδου, Π., 2019. Μοντελοποίηση της επίδρασης των ITS στην κυκλοφορία. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.