



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ
ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ”**

Διπλωματική Εργασία

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ «ΕΞΥΠΝΩΝ
ΘΥΡΙΑΔΩΝ» ΓΙΑ ΔΙΑΝΟΜΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΜΕΣΑΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΔΗΜΟ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ
ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ**

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΙΟΥΣΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2018

© 2018 Βασίλειος Κιούσης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διαχείριση Έργων, Συγκοινωνιακός και Χωρικός Σχεδιασμός» δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του/της συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Μέλη τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπουσα)

Δρ. Ευτυχία Ναθαναήλ

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής

Δρ. Νικόλαος Ηλιού

Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής

Δρ. Παντελής Κοπελιάς

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Οι παραδόσεις στο σπίτι και οι δραστηριότητες ηλεκτρονικού εμπορίου έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην αύξηση του αριθμού των ταξιδιών του «τελευταίου μιλίου» στις αστικές περιοχές, συμβάλλοντας σημαντικά στις συνολικές επιπτώσεις στο αστικό περιβάλλον. Οι κοινότητες καλούνται να βρουν έξυπνες λύσεις για την ανακούφιση αυτών των επιπτώσεων, παρέχοντας συγχρόνως αποτελεσματική λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας, ποιότητα υπηρεσιών και ικανοποίηση των χρηστών. Οι «Έξυπνες Θυρίδες» είναι ένα καινοτόμο μέτρο εφοδιαστικής πόλης που στοχεύει στην άμβλυνση των ζητημάτων που δημιουργούνται από το τελευταίο μίλι των παραδόσεων δεμάτων, προωθώντας έτσι τις αρχές της βιώσιμης αστικής κινητικότητας.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική προσομοίωση των ροών των εμπορευματικών μεταφορών σε ένα μεσαίου μεγέθους δήμο της Αθήνας. Πραγματικά δεδομένα παραδόσεων χορηγήθηκαν από γνωστό πάροχο υπηρεσιών logistics και χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο λογισμικό PTV Vissim προκειμένου να αξιολογηθεί, αρχικά, η τρέχουσα λειτουργία των παραδόσεων στην περιοχή μελέτης. Περαιτέρω, αναπτύχθηκε ένα εναλλακτικό σενάριο, υποθέτοντας ότι αντί για διευθύνσεις σπιτιών, πραγματοποιήθηκαν παραδόσεις στο υπάρχον, αν και σήμερα περιορισμένης χρήσης, δίκτυο «έξυπνων θυρίδων», υποθέτοντας ότι η τελική συλλογή της παραγγελίας πραγματοποιείται από τους καταναλωτές. Οι επιλογές και προτιμήσεις μέσου μετακίνησης των καταναλωτών λήφθηκαν υπόψη κατά την προσομοίωση. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα πιθανά οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή του μέτρου. Οι επιπτώσεις στην κυκλοφορία (π.χ. χρόνοι διαδρομής, οχηματοχιλιόμετρα), καθώς και στο περιβάλλον (π.χ. εκπομπές αέριων ρύπων) αξιολογήθηκαν περαιτέρω σε ένα πολυκριτηριακό πλαίσιο το οποίο οδήγησε στην εκτίμηση του Δείκτη Βιωσιμότητας logistics (LSI) των σεναρίων που δοκιμάστηκαν.

Λέξεις κλειδιά: εφοδιαστική πόλης, παραδόσεις τελευταίου μιλίου, έξυπνες θυρίδες, μικροσκοπική προσομοίωση κυκλοφορίας, δείκτης βιωσιμότητας logistics

Abstract

Home deliveries and e-commerce activities have increased substantially in the recent years. This fact led to the increase of the number of last mile trips in urban areas contributing immensely to the overall impacts on the urban environment. Communities are called to find smart solutions to alleviate these impacts, providing at the same time efficient logistics operation, service quality and user satisfaction. “Smart lockers” is a novel city logistics measure aiming at mitigating issues generated from the last mile of parcel deliveries, thus promoting the principles of sustainable urban mobility.

In this postgraduate diploma thesis a microscopic simulation of freight traffic flows was performed in a medium-sized municipality of Athens, Greece. Actual delivery data were obtained from a well-known logistics provider and used as input in PTV Vissim software in order to firstly assess the current operation of the deliveries in the study area. Further, an alternative scenario was developed, assuming that instead of home addresses, deliveries were made to the existing, though currently of limited use “smart lockers” network, assuming final collection of the order by the consumers. Consumers’ traveling options and preferences, were taken into account during the simulation. Results were compared to provide better understanding of the potential benefits arising by implementing the measure. Impacts on traffic (i.e. travel times and vehicle-kilometres), as well as on the environment (i.e. emissions) were further assessed in a multicriteria framework which led to the estimation of the Logistics Sustainability Indices of the tested scenarios.

Keywords: city logistics, last mile deliveries, smart lockers, microscopic traffic simulation, logistics sustainability index

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Αρχικά, την επιβλέπουσά μου, κα Ευτυχία Ναθαναήλ, για την ανάθεση του θέματος και τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου μετέδωσε. Η στήριξή της, καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης, υπήρξε καθοριστική για την έκβαση της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Ιωάννη Καρακικέ (Εργαστήριο Κυκλοφορίας, Μεταφορών και Εφοδιαστικής Αλυσίδας), για την υποστήριξη που μου παρείχε στη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης, αλλά και όχι μόνο.

Ευχαριστώ επίσης τον Dr.sc.ing. Mihails Savrasovs (Ινστιτούτο Μεταφορών και Τηλεπικοινωνιών της Λετονίας), για τη βοήθειά του στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σεναρίων της εργασίας.

Εκτός Ακαδημίας, η εταιρεία ταχυμεταφορών DHL Express συνέβαλε στο ερευνητικό έργο, χορηγώντας δεδομένα για τη διαμόρφωση των σεναρίων της εργασίας. Ευχαριστώ τον κο Αναστάσιο Σαλβάνο για την επικοινωνία και τη σχετική πληροφόρηση που μου παρείχε.

Επίσης, ευχαριστώ τα τμήματα «Συντήρησης Φωτεινής Σηματοδότησης, Ηλεκτροφωτισμού και Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων» και «Κέντρου Διαχείρισης και Μελετών Κυκλοφορίας», της Διεύθυνσης Διαχείρισης Μητροπολιτικών Υποδομών, της Περιφέρειας Αττικής, για την παροχή των κυκλοφοριακών δεδομένων.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	10
1.1. Στόχοι της εργασίας.....	10
1.2. Δομή της εργασίας.....	11
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση	12
2.1. Η ιδέα των City Logistics στις Αστικές Εμπορευματικές Μεταφορές.....	12
2.2. Το πρόβλημα των τελικών παραδόσεων στην εποχή του ηλεκτρονικού εμπορίου	18
2.3. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην υπηρεσία των city logistics	20
2.4. Οι «Έξυπνες Θυρίδες» ως λύση για την τελική διανομή	21
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία.....	28
3.1. Συλλογή και ανάλυση δεδομένων	30
3.2. Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης.....	30
3.3. Βαθμονόμηση μοντέλου	31
3.4. Διαμόρφωση σεναρίων	31
3.5. Εκτίμηση αποτελεσμάτων	32
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή και ανάλυση δεδομένων	32
4.1. Δεδομένα παραδόσεων δεμάτων	32
4.2. Οι «έξυπνες θυρίδες» της DHL (Swip-box).....	41
4.3. Η περιοχή μελέτης.....	45
4.4. Κυκλοφοριακά δεδομένα.....	47
Κεφάλαιο 5: Ανάπτυξη μοντέλου διανομών στην περιοχή του Χαλανδρίου	49
5.1. Διαμόρφωση οδικού δικτύου μοντέλου	49
5.2. Εισαγωγή των κυκλοφοριακών δεδομένων.....	51
5.3. Βαθμονόμηση μοντέλου	58
5.4. Διαμόρφωση Σεναρίων.....	64
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα.....	73
6.1. Αποτελέσματα προσομοίωσης	73
6.2. Μοντέλο για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων	77
6.3. Υπολογισμός δείκτη βιωσιμότητας σεναρίων	78
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Συζήτηση	79

Βιβλιογραφία.....	81
-------------------	----

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Πρόσφατες στρατηγικές για τα city logistics στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία (Zunder, Aditjandra and Carnaby, 2014).....	16
Πίνακας 2: Εφαρμογές "Έξυπνων θυρίδων" (Ιδία επεξεργασία)	26
Πίνακας 3: Δεδομένα παράδοσης δεμάτων με την κωδικοποίηση της εταιρείας ταχυμεταφορών. Ενδεικτική εγγραφή που αφορά μια παράδοση (DHL Express).....	32
Πίνακας 4: Περιοχές με τις περισσότερες παραδόσεις το μήνα Μάρτιο 2017 (Ιδία επεξεργασία)	41
Πίνακας 5: Συνολικές παραδόσεις στις "έξυπνες θυρίδες" για τους τρεις πρώτους μήνες του 2017 (DHL Express)	44
Πίνακας 6: Στάσεις για παράδοση ανά δρομολόγιο και ημέρα του μήνα (Ιδία επεξεργασία)	46
Πίνακας 7: Πλήθος σταθμών μέτρησης ανά οδό της περιοχής μελέτης.....	47
Πίνακας 8: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών αξόνων του δικτύου του μοντέλου (Ιδία επεξεργασία)	51
Πίνακας 9: Οι οκτώ ρυθμιστές κυκλοφορίας. Ένας για κάθε κόμβο του δικτύου (PTV Vissim).....	55
Πίνακας 10: Κωδικοποίηση κινήσεων οχημάτων που προσεγγίζουν μια διασταύρωση (Ιδία επεξεργασία)	55
Πίνακας 11: Οι ομάδες σηματοδότησης του ρυθμιστή του κόμβου Α.Μεσογείων - Χαλανδρίου, με τις αντίστοιχες κινήσεις (PTV Vissim)	55
Πίνακας 12: Τα προγράμματα λειτουργίας του ρυθμιστή του κόμβου Α.Μεσογείων - Χαλανδρίου (PTV Vissim)	56
Πίνακας 13: Το πλάνο σηματοδότησης του κόμβου Α.Μεσογείων – Χαλανδρίου, με τα προγράμματα λειτουργίας για την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017 (PTV Vissim).....	57
Πίνακας 14: Κριτήρια βαθμονόμησης μοντέλου του Υπουργείου Μεταφορών του Wisconsin (2002) (Karakikes, Spangler and Margreiter, 2017)	59
Πίνακας 15: Τιμές δεικτών βαθμονόμησης μοντέλου (Ιδία επεξεργασία)	62
Πίνακας 16: Τιμές δεικτών βαθμονομημένου μοντέλου (Ιδία επεξεργασία)	63
Πίνακας 17: Κωδικοποίηση και παράμετροι στάσεων οχημάτων παράδοσης (PTV Vissim)	65
Πίνακας 18: Κωδικοποίηση και παράμετροι των δρομολογίων των οχημάτων παράδοσης (PTV Vissim)	66

Πίνακας 19: Συνολικό φορτίο και φορτίο με προορισμό το Χαλάνδρι, για τα δρομολόγια που πραγματοποιήσαν παραδόσεις στην περιοχή, την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017 (Ιδία επεξεργασία)	68
Πίνακας 20: αποτελέσματα με την τελική επιλογή παραγγελίας και θυρίδας (Ιδία επεξεργασία)	70
Πίνακας 21: Δρομολόγια εναλλακτικού σεναρίου με την ώρα αναχώρησής τους (PTV Vissim).....	71
Πίνακας 22: Αποτελέσματα προσομοίωσης των δρομολογίων του βασικού σεναρίου (Ιδία επεξεργασία)	74
Πίνακας 23: Αποτελέσματα προσομοίωσης των δρομολογίων του εναλλακτικού σεναρίου (Ιδία επεξεργασία)	75
Πίνακας 24: Συνολικά αποτελέσματα προσομοίωσης ανά σενάριο και ενδιαφερόμενο (Ιδία επεξεργασία)	76
Πίνακας 25: Τιμές παραμέτρων που εισήχθησαν στο λογισμικό EnViVer (Karakikes, Mitropoulos and Savrasovs, 2018)	77
Πίνακας 26: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δυο σεναρίων (EnViVer).....	78
Πίνακας 27: Μεταβολές στις τιμές των δεικτών για το εναλλακτικό σενάριο βάσει της μεταβολής του δείκτη LSI (Ιδία επεξεργασία)	79

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Τυπικός σταθμός έξυπνων θυρίδων (UPS Inc., 2018)	23
Εικόνα 2: Σημειακή απεικόνιση των στάσεων που πραγματοποίησαν τα οχήματα της DHL Express για παράδοση δεμάτων κατά τη διάρκεια του Μαρτίου 2017 (QGIS)	34
Εικόνα 3: Δρομολόγηση με κριτήριο τη γρηγορότερη διαδρομή μετ'επιστροφής για το δρομολόγιο NE01, την 1η Μαρτίου 2017 (Optimap, 2017).....	38
Εικόνα 4: Επεξεργασία δεδομένων παράδοσης ενός δρομολογίου (NE01), για κάθε ημέρα του Μαρτίου. Υπολογισμός Μέσου Συντελεστή Φόρτωσης. (Ιδία επεξεργασία).....	39
Εικόνα 5: Γράφημα με τις τιμές του συντελεστή φόρτωσης των δρομολογίων της DHL Express για το μήνα Μάρτιο (Ιδία επεξεργασία).....	40
Εικόνα 6: Τυπική μορφή και διαστάσεις σταθμού "έξυπνων θυρίδων" της εταιρείας (DHL Express, 2016).....	43
Εικόνα 7: Τοποθεσίες των "έξυπνων θυρίδων" της εταιρείας στην Αθήνα (DHL Express, 2016)	44
Εικόνα 8: Η περιοχή μελέτης με τις θέσεις των "έξυπνων θυρίδων" (πράσινο) και των σταθμών μέτρησης κυκλοφοριακών στοιχείων (κίτρινο) (QGIS).....	45
Εικόνα 9: Ωριαίοι φόρτοι και μέσες ωριαίες ταχύτητες από επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης σε τρεις οδικούς άξονες της περιοχής μελέτης, την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017 (Ιδία Επεξεργασία)	48

Εικόνα 10: Οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης στο μοντέλο του λογισμικού προσομοίωσης (PTV Vissim)	50
Εικόνα 11: Θέση εισόδου οχημάτων στο δίκτυο για την οποία προέκυψαν ελλιπή στοιχεία (QGIS).....	52
Εικόνα 12: Σύνθεση κυκλοφορίας για Λεωφόρους (αριστερά) και λοιπές αστικές οδούς (δεξιά) (PTV Vissim).....	52
Εικόνα 13:Απόφαση δρομολόγησης οχημάτων σε διασταύρωση οδών του δικτύου (PTV Vissim).....	53
Εικόνα 14: Σημεία εμπλοκής σε διασταύρωση οδών του δικτύου (PTV Vissim)	54
Εικόνα 15: Το πρόγραμμα λειτουργίας SP1 του ρυθμιστή του κόμβου Λ.Μεσογείων - Χαλανδρίου, με τους χρόνους σηματοδότησης για κάθε φάση και ομάδα (PTV Vissim)	56
Εικόνα 16: Οριζοντιογραφία κόμβου (Α.Κ. 3822) Λ.Μεσογείων - Χαλανδρίου (Περιφέρεια Αττικής).....	58
Εικόνα 17: Προσομοίωση λειτουργίας του κόμβου Λ.Μεσογείων - Χαλανδρίου (PTV Vissim).....	58
Εικόνα 18: Θέσεις σταθμών μέτρησης που επιλέχθηκαν για συλλογή δεδομένων από μετρήσεις του μοντέλου (QGIS).....	61
Εικόνα 19: Προβλήματα συμφόρησης κατά την προσομοίωση του αβαθμονόμητου μοντέλου, τα οποία δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (PTV Vissim).....	61
Εικόνα 20: Σύγκριση τιμών ταχύτητας που προέκυψαν από το αβαθμονόμητο μοντέλο (θέση συλλογής δεδομένων: 2) με αυτές που προέκυψαν από τους σταθμούς μέτρησης (σταθμός: 280)(Ιδία επεξεργασία)	62
Εικόνα 21: Σύγκριση τιμών ταχύτητας που προέκυψαν από το βαθμονομημένο μοντέλο (θέση συλλογής δεδομένων: 2) με αυτές που προέκυψαν από τους σταθμούς μέτρησης (σταθμός: 280) (Ιδία επεξεργασία)	63
Εικόνα 22: Οι στάσεις στην πραγματική τους θέση (αριστερά, QGIS) και οι στάσεις όπως τοποθετήθηκαν στο μοντέλο (δεξιά, PTV Vissim).....	65
Εικόνα 23:Προσομοίωση οχήματος που πραγματοποιεί στάση για παράδοση (PTV Vissim).....	67
Εικόνα 24: Διαμόρφωση σημείων αφετηρίας – τέρματος δρομολογίου και προσθήκη δυνατότητας αναστροφής, στο μοντέλο του εναλλακτικού σεναρίου (PTV Vissim)	72
Εικόνα 25: Το όχημα της εταιρείας πραγματοποιεί στάση για παράδοση των δεμάτων στο σταθμό θυρίδων της Λ.Πεντέλης (PTV Vissim)	73

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η διείσδυση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών στη σύγχρονη καθημερινότητα οδήγησε, μεταξύ άλλων, στην άνθηση του ηλεκτρονικού εμπορίου. Οι ηλεκτρονικές πωλήσεις αυξάνονται συνεχώς, εκτινάσσοντας στα ύψη τις ποσότητες των αγορασμένων αγαθών που πρέπει να παραδοθούν στους καταναλωτές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, με δεδομένο ότι η παράδοση στο σπίτι κυριαρχεί σαν τρόπος παράδοσης, την αύξηση των ταξιδιών του τελευταίου μιλίου από τους διανομείς. Παράλληλα, η αύξηση των παραγγελιών μικρού μεγέθους, σε συνδυασμό με την απαίτηση των καταναλωτών για ολοένα μικρότερο χρόνο παράδοσης, πιέζει τους μεταφορείς, οι οποίοι αναγκάζονται να πραγματοποιούν πολλά δρομολόγια με χαμηλό συντελεστή φόρτωσης. Η κατάσταση επιβαρύνεται από τις αποτυχημένες παραδόσεις και τις επιστροφές πολλών εμπορευμάτων από τους αγοραστές πίσω στους λιανοπωλητές.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναφέρθηκαν, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται διάφορες εναλλακτικές λύσεις. Μια από αυτές είναι οι «Εξυπνες θυρίδες» για παράδοση δεμάτων, οι οποίες εφαρμόζονται σε πολλές χώρες του κόσμου, ενώ πρόσφατα έκαναν την εμφάνισή τους και στην Ελλάδα. Βασικό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου μέτρου είναι η αποσύνδεση της διαδικασίας παράδοσης από τη διαδικασία παραλαβής. Μελέτες σε εφαρμογές τέτοιων θυρίδων, σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις, καταδεικνύουν σαν πλεονεκτήματα, την ευελιξία και το βαθμό ικανοποίησης από τη μεριά του καταναλωτή, τη μείωση του λειτουργικού κόστους από τη μεριά του μεταφορέα, την αύξηση της ανταγωνιστικότητας για τους λιανοπωλητές και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, όσον αφορά τις πόλεις και τους κατοίκους της. Πρόκειται για μέτρο που φαίνεται να συμβάλλει στην αύξηση της βιωσιμότητας των συστημάτων city logistics. Κάποιες από τις παραμέτρους της βιωσιμότητας του μέτρου των θυρίδων (κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές), διερευνώνται στην παρούσα εργασία.

1.1. Στόχοι της εργασίας

Οι στόχοι που τέθηκαν στην παρούσα εργασία είναι οι εξής:

- Η εκτίμηση των επιπτώσεων των «Εξυπνων θυρίδων» σε αστικές περιοχές.
- Η διερεύνηση των συνθηκών για την εφαρμογή τέτοιων συστημάτων.
- Η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση των επιπτώσεων από μια τέτοια εφαρμογή.
- Η εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε αστική περιοχή.

1.2. Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία δομείται σε επτά διακριτά κεφάλαια, όπως αυτά αναφέρονται παρακάτω:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια πρώτη συνοπτική αναφορά στο πρόβλημα, με το οποίο καταπιάνεται η εργασία, καθώς και στο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η διερεύνηση μιας λύσης για την αντιμετώπιση ή τον μετριασμό του. Ακολούθως παρατίθενται οι στόχοι που τέθηκαν για την εργασία και η δομή που ακολουθήθηκε.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στο κεφάλαιο αυτό σημειώνονται όλα τα σχετικά με το θέμα, ευρήματα από τη βιβλιογραφία, από τις αστικές εμπορευματικές μεταφορές, ως πεδίο έρευνας, έως την ιδέα των city logistics. Παρουσιάζονται τα βασικά ζητήματα που έχουν προκύψει από τις εξελίξεις στον τρόπο ζωής και κατανάλωσης στις πόλεις, και παρουσιάζονται σύγχρονες εναλλακτικές λύσεις, με έμφαση στη λύση των «Εξυπνων θυρίδων», η οποία αποτελεί και το αντικείμενο της εργασίας.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία. Αναπτύσσεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην εργασία, από την συλλογή των δεδομένων και την ανάλυσή τους, μέχρι την ανάπτυξη και βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης, με τη διαμόρφωση των σεναρίων που διερευνήθηκαν και, φυσικά, τέλος την εκτίμηση των αποτελεσμάτων των σεναρίων.

Κεφάλαιο 4: Περιγραφή και ανάλυση δεδομένων. Αρχικά, περιγράφονται και αναλύονται τα δεδομένα που αναζητήθηκαν και χορηγήθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας. Πρόκειται για τα δεδομένα παραδόσεων δεμάτων και τα κυκλοφοριακά δεδομένα. Παράλληλα, παρουσιάζεται η εφαρμογή του μέτρου των «Εξυπνων θυρίδων» από την εταιρεία που χορήγησε τα δεδομένα παραδόσεων. Τέλος, γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης και τα κριτήρια για την επιλογή της.

Κεφάλαιο 5: Ανάπτυξη μοντέλου διανομών στην περιοχή του Χαλανδρίου. Περιγράφεται η ανάπτυξη του μοντέλου στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, σε όλα τα στάδιά της. Από τη δημιουργία του οδικού δικτύου του μοντέλου, στην εισαγωγή των κυκλοφοριακών δεδομένων, τη βαθμονόμηση του μοντέλου, και τέλος τη διαμόρφωση και προσομοίωση των σεναρίων της εργασίας.

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα. Παρατίθενται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που εξάγονται για τα διαφορετικά σενάρια της εργασίας, από το λογισμικό προσομοίωσης, καθώς και από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο δείκτης βιωσιμότητας του μέτρου των «Εξυπνων θυρίδων».

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Συζήτηση. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα αποτελέσματα της εργασίας και συζητούνται μελλοντικοί στόχοι και ιδέες για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Η ιδέα των City Logistics στις Αστικές Εμπορευματικές Μεταφορές

Οι μελέτες σχετικά με τις αστικές εμπορευματικές μεταφορές εμφανίστηκαν στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία τη δεκαετία του 1970, όταν το ενδιαφέρον μετατέθηκε από την κυκλοφορία των φορτηγών στην κυκλοφορία των αγαθών μέσα στις πόλεις (Ogden, 1977). Ο όρος ‘αστική κυκλοφορία αγαθών’ (urban goods movement) ορίστηκε ως η μετακίνηση των αγαθών, διακριτή από αυτή των ανθρώπων, προς, από και μέσα στις αστικές περιοχές αλλά και διαμέσου αυτών. Περιλαμβάνει αγαθά ή υπηρεσίες που παράγονται και καταναλώνονται εντός του αστικού συστήματος (Ogden, 1992). Από τη στιγμή που η μετακίνηση αγαθών/εμπορευμάτων αποτέλεσε το κύριο ενδιαφέρον στη θεματική των αστικών εμπορευμάτων, η σχετική βιβλιογραφία εστίασε στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου των αστικών εμπορευματικών μεταφορών (Button and Pearman, 1981), γεγονός που οδήγησε στην σύλληψη της ιδέας της εφοδιαστικής των πόλων, εφεξής ‘City Logistics’ (Taniguchi, 2001). Ενώ τα παραπάνω βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου μοντελοποίησης των εμπορευματικών κυκλοφοριακών ροών στο αστικό περιβάλλον, πρόσφατες σχετικές μελέτες εστίασαν σε θέματα όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη και η ποιότητα ζωής στις πόλεις. Η ανάγκη για αστικές εμπορευματικές πολιτικές, ως μέρος των στρατηγικών για τις πόλεις, έγινε αντιληπτή ενώ προωθήθηκαν διεθνείς βέλτιστες πρακτικές. Οι μέχρι τότε εφαρμοζόμενες πολιτικές κρίθηκαν ανεπαρκείς, παρά τις αυξανόμενες και μεταβαλλόμενες ανάγκες των υπηρεσιών αστικής εφοδιαστικής. Θέματα όπως η έλλειψη δεδομένων για τις αστικές εμπορευματικές μεταφορές, οι μη πληροφωρημένες ως προς τη διαχείριση εμπορευμάτων δημόσιες αρχές αλλά και οι παραδόσεις εμπορευμάτων στο σπίτι, αποτέλεσαν τις νέες περιοχές μελέτης.

Παράλληλα με τα κλασσικά ζητήματα των μελετών αστικών εμπορευματικών μεταφορών που αναφέρθηκαν παραπάνω, η βιωσιμότητα, η οποία περιλαμβάνει οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές, στο πλαίσιο των αστικών εμπορευματικών μεταφορών, αποτέλεσε το κέντρο συζήτησης μεταξύ των ερευνητών των αστικών εμπορευματικών μεταφορών τις τελευταίες δεκαετίες. Η αρχική εστίαση στράφηκε προς την αντιμετώπιση των αρνητικών περιβαλλοντικών πτυχών των μεταφορών, όπως εντοπίστηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη μετά τη Σύνοδο Κορυφής του Ρίο (1992) και τη συμφωνία του Πρωτοκόλλου του Κυότο (1994), η οποία στοχεύει τα κράτη να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Το ζήτημα των αστικών μεταφορών των εμπορευμάτων αναγνωρίστηκε επίσης, παράλληλα με τη μεταφορά των επιβατών, στην ευρωπαϊκή ατζέντα για τη δημιουργία πράσινων πόλεων (European Commission, 2007). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το συμβούλιο ερευνών χρηματοδότησε το έργο «Green Logistics» (2006-2010) με στόχο την απάντηση στην πρόσκληση. Οι στρατηγικές βιωσιμότητας για

την εφοδιαστική των πόλεων αποτέλεσαν το επίκεντρο του έργου, με συζητήσεις για διάφορες πρωτοβουλίες στον τομέα των αστικών εμπορευματικών μεταφορών, ανάμεσα στις οποίες 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). 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 τα αστικά κέντρα ενοποίησης εμπορευμάτων. Τα δυο ανωτέρω έργα αναδεικνύουν το γεγονός ότι η βιομηχανία αναγνωρίζει τις στρατηγικές αστικών εμπορευματικών μεταφορών (Allen, Thorne and Browne, 2007; Zunder, Aditjandra and Carnaby, 2014).

Ο Taniguchi et al. (2001) ορίζει τα city logistics ως "τη διαδικασία για την 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 υπογραμμίζει τη συνολική βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων logistics των ιδιωτικών εταιρειών αντί της τοπικής βελτιστοποίησης. Περιλαμβάνει επίσης τα κοινωνικά ζητήματα του περιβάλλοντος, της συμφόρησης και της εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και οικονομικά ζητήματα που σχετίζονται με τις αστικές εμπορευματικές μεταφορές στο πλαίσιο μιας οικονομίας της αγοράς (Taniguchi, 2015).

Τα προβλήματα που προκαλούνται από την αναποτελεσματική διανομή των εμπορευμάτων καθώς και η συμβολή των αστικών εμπορευματικών μεταφορών στην αστική οικονομία και το περιβάλλον περιγράφονται παρακάτω: τα οχηματοχιλιόμετρα που πραγματοποιούνται από μέσα οδικών μεταφορών αντιπροσωπεύουν το 10-18% των συνολικών οχηματοχιλιόμετρων 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). Επιπλέον, οι μεταφορές που σχετίζονται με την αστική διανομή κατέχουν σχεδόν το 20% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης των μεταφορών στις πόλεις. Όσον αφορά την οικονομία, οι λειτουργίες του «τελευταίου μιλίου» αντιπροσωπεύουν το 28% του συνολικού κόστους μεταφοράς σε μια εφοδιαστική αλυσίδα (υπηρεσίες πόρτα-πόρτα).

Προκειμένου να μετριάσουν αυτές οι επιπτώσεις, έχουν τεθεί διάφοροι στόχοι για τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο αστικό περιβάλλον. Στη Λευκή Βίβλο για τις μεταφορές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η «επίτευξη του στόχου για city logistics 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 city logistics είναι να προωθήσει την ενσωμάτωση των σχετικών πολιτικών στον στρατηγικό πολεοδομικό σχεδιασμό και την περιφερειακή οικονομική πολιτική, να προωθήσει την ανάπτυξη επιχειρηματικών συνεργειών και συστάδων μεταξύ των βασικών ενδιαφερομένων, να δημιουργήσει μηχανισμούς διαμοιρασμού πληροφοριών και ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα στα συνεργαζόμενα μέρη (οι νέες τεχνολογίες μπορούν να προσφέρουν καινοτόμες λύσεις προς αυτήν την κατεύθυνση) και να προωθήσει την αποτελεσματική διαχείριση της ζήτησης μέσω της υιοθέτησης κατάλληλων μέτρων (Papoutsis and Nathanail, 2016).

Η έννοια των city logistics αποσκοπεί στην ενσωμάτωση διαφορετικών απόψεων συγκεκριμένων ενδιαφερομένων (stakeholders). Οι σημαντικότεροι ενδιαφερόμενοι είναι οι εξής:

- Οι *έμποροι/αποστολείς (shippers)*, στέλνουν τα εμπορεύματα σε άλλες εταιρείες ή ιδιώτες. Τείνουν να μεγιστοποιούν τα επίπεδα εξυπηρέτησής τους όσον αφορά το κόστος και την αξιοπιστία των μεταφορών.
- Οι *πάροχοι υπηρεσιών logistics (logistics providers)*, παραδίδουν τα εμπορεύματα στους τελικούς καταναλωτές. Προσπαθούν συνεχώς να αυξάνουν την αποτελεσματικότητα των διαδρομών παραλαβής και παράδοσης με στόχο την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού τους κόστους. Παράλληλα προσπαθούν να παρέχουν υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης με χαμηλό κόστος. Για να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης, τα φορτηγά οχήματα φορτώνονται ανεπαρκώς. Πρέπει συχνά να περιμένουν κοντά στην τοποθεσία των πελατών όταν φθάνουν νωρίτερα από την καθορισμένη ώρα.
- Οι *πελάτες/τελικοί καταναλωτές (customers)*, είναι οι άνθρωποι που ζουν, εργάζονται και ψωνίζουν στην πόλη. Υποφέρουν από οχλήσεις που προκύπτουν από τις αστικές μεταφορές εμπορευμάτων κοντά στην περιοχή κατοικίας τους αλλά και στις αγορές. Ωστόσο, επωφελούνται επίσης από μια αποτελεσματική και αξιόπιστη παράδοση.
- Οι *διοικητικοί φορείς της πόλης (public authorities)*, προσπαθούν να ενισχύσουν την οικονομική ανάπτυξη της πόλης. Ενδιαφέρονται για τη μείωση της συμφόρησης και των περιβαλλοντικών οχλήσεων, καθώς και για την αύξηση της ασφάλειας της οδικής κυκλοφορίας. Για το σκοπό αυτό, θεωρούν τα συστήματα αστικών μεταφορών ως ενιαίο σύνολο για να επιλύουν τις συγκρούσεις μεταξύ των άλλων ενδιαφερομένων.

Οι δραστηριότητες των παρόχων υπηρεσιών city logistics εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση των ενδιαφερομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αφενός, οι διοικητικοί φορείς των πόλεων επηρεάζουν τις διαδικασίες σχεδιασμού, θέτοντας πολύπλοκους περιορισμούς για την πραγματοποίηση της διανομής των εμπορευμάτων, για παράδειγμα, συγκεκριμένες χρονοθυρίδες που επιτρέπουν ή απαγορεύουν την είσοδο εμπορευματικών οχημάτων σε πεζόδρομους. Από την άλλη πλευρά, όμως, συγκεντρώνουν μαζικά

κυκλοφοριακά δεδομένα από τη λειτουργία πληροφοριακών συστημάτων, τα οποία αποτελούν πολύτιμη πηγή για έναν πιο αποτελεσματικό και αξιόπιστο σχεδιασμό των διαδρομών παραλαβής και παράδοσης από τους παρόχους. Οι καταναλωτές και οι αποστολείς αντιστοιχούν στους πελάτες των παρόχων υπηρεσιών city logistics. Αναμένουν μια οικονομική και αξιόπιστη υπηρεσία παράδοσης. Η αλληλεπίδραση των καταναλωτών και των παρόχων γίνεται αντιληπτή από το παράδειγμα των online εφαρμογών λιανικής πώλησης (Ehmke, 2012).

Ανάμεσα στις κύριες κατηγορίες μέτρων city logistics που ξεκινούν από δημόσιες αρχές και φορείς χάραξης πολιτικής είναι η ανάπτυξη των υποδομών, τα κέντρα διανομής και ενοποίησης εμπορευμάτων, τερματικοί σταθμοί διατροφικών μεταφορών, ρυθμιστικά μέτρα και παροχή άδειας, μέτρα διαχείρισης και μετριασμού της κυκλοφορίας και 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 κλπ. (OECD, 2007; Papoutsis and Nathanail, 2016). Στον Πίνακα 1 αναφέρονται κάποιες από τις πρόσφατες στρατηγικές city logistics που συναντώνται στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία. Ορισμένες στρατηγικές έλαβαν υψηλότερο βαθμό ως προς τη συνεισφορά τους στη βιωσιμότητα (δηλ. ++ παρατηρήσεις), επειδή αυτές οι μελέτες βρήκαν θετικό αντίκτυπο. Οι παρατηρήσεις +/- δείχνουν ότι αυτές οι στρατηγικές ήταν εμφανώς επωφελείς σε συγκεκριμένες καταστάσεις, αλλά ενδέχεται να μην ισχύουν σε διαφορετικές, λόγω του πολεοδομικού σχεδιασμού, τοπικών ζητημάτων της κοινωνίας, της θέσης κλπ. Επιπλέον, η +/- παρατήρηση αφορά και στρατηγικές που θεωρείται ότι έχουν ένα πιθανό αλλά μη δοκιμασμένο όφελος, όπως π.χ. στην περίπτωση του εμπορευματικού τραμ και των σχεδίων διανομής και συντήρησης (DSPs) (Zunder, Aditjandra and Carnaby, 2014)

Πίνακας 1: Πρόσφατες στρατηγικές για τα city logistics στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία (Zunder, Aditjandra and Carnaby, 2014)

Στρατηγικές Αστικών Εμπορευματικών Μεταφορών	Τοποθεσία	Ερευνητικά ευρήματα	Συνεισφορά στη βιωσιμότητα
Ζώνες Χαμηλών Εκπομπών, ZXE (Low Emission Zones, LEZ)	Λονδίνο	Οι ενδιαφερόμενοι γενικά συμμορφώνονται με το μέτρο	+
Αστικά Κέντρα Ενοποίησης Εμπορευμάτων, AKEE (Urban Consolidation Centres, UCC)	Διάφ.ευρωπαϊκές πόλεις	Μπορεί να δημιουργήσει οφέλη αλλά η οικονομική βιωσιμότητα αποτελεί ζήτημα	+/-
Συνεργασίες Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα, ΣΔΙΤ (Public Private Partnerships, PPP)	Παρίσι, Ουτρέχτη, Λινσέπινγκ, Γκέτεμποργκ, Λονδίνο	Ισχυρή διαχείριση και ανταλλαγή γνώσεων με υποστήριξη από τη συμμετοχή της πολιτείας και εστίαση σε μακροπρόθεσμες δυνατότητες	+
Περιορισμοί βάρους / μεγέθους / χρόνου στην πρόσβαση των οχημάτων	Ολλανδία	Χρονοθυρίδες εναρμονισμένες ανάμεσα σε πόλεις έχουν ως αποτέλεσμα λιγότερες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις	++
Παραδόσεις εκτός ωρών αιχμής κι μείωση θορύβου από τη λειτουργία	ΗΠΑ	Η συνολική εξοικονόμηση για τους μεταφορείς δεν είναι αρκετά μεγάλη για να αντισταθμίσει το κόστος για τους παραλήπτες	-
Χρήση θυρίδων διανομής εμπορευμάτων (lockers) και σημείων παραλαβής (collection points)	Λυών	Οι παραδόσεις στο σπίτι προκαλούν το 13% των οδικών μετακινήσεων	+/-
Χρήση μη οδικών μέσων (πχ. τραμ)	Βαρκελώνη	Σενάριο με χρήση τραμ για την αποκομιδή απορριμάτων	+/-
Σχήματα δρομολόγησης φορτηγών	Παγκοσμίως	Οι βελτιώσεις στην τεχνολογία και τις πρακτικές που ακολουθούνται στον κλάδο των logistics οδηγούν σε αποτελεσματικότερες και οικονομικότερες μεταφορές	++
Χρήση&σχεδιασμός περιβαλλοντικά φιλικών οχημάτων για τη μεταφορά εμπορευμάτων (πχ. ποδήλατο)	Λονδίνο	Η χρήση των AKEE, του ποδηλάτου και των ηλεκτρικών οχημάτων επέφεραν μείωση της διανυόμενης απόστασης κατά 20%, ενώ οι εκπομπές CO2 μειώθηκαν κατά 54%	++

Στρατηγικές Αστικών Εμπορευματικών Μεταφορών	Τοποθεσία	Ερευνητικά ευρήματα	Συνεισφορά στη βιωσιμότητα
Συστήματα οδικής τιμολόγησης	Νέα Υόρκη	Το κόστος των διοδίων ζώνης δεν μπορεί να μετακυλιστεί στους παραλήπτες αφού πρόκειται για σταθερό κόστος. Οι παραλήπτες αποτελούν το κλειδί για την αλλαγή συμπεριφοράς των μεταφορέων	-
Σχέδια Διανομής και Συντήρησης (Delivery and Servicing Plans, DSPs)	Διάφ. πόλεις στην Αγγλία	Η μοναδοποίηση των φορτίων μέσω των Σχεδίων και η ύπαρξη ΑΚΕΕ εκτός του αστικού κέντρου, με το τελευταίο μίλι σε διαμοιραζόμενα οχήματα μπορεί να είναι επωφελής	+/-

2.2. Το πρόβλημα των τελικών παραδόσεων στην εποχή του ηλεκτρονικού εμπορίου

Οι τελικοί καταναλωτές μετακινούνται για να πραγματοποιούν τις αγορές τους ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους, ψωνίζουν σε ένα κατάστημα και ως εκ τούτου οι επιλογές των αγορών τους επηρεάζουν τις ροές ανανέωσης των εμπορευμάτων. Επομένως, η αγοραστική ζήτηση δημιουργεί αρχικά την ανάγκη για ανεφοδιασμό και, ακολούθως, οι τροποποιήσεις που συμβαίνουν με την τέλεση των αγορών επιδρούν αναμφισβήτητα σε αυτόν. Εξάλλου, η διείσδυση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (Information and Communication Technologies, ICT) στην ανθρώπινη ζωή έχει επηρεάσει τις προσωπικές δραστηριότητες και τις σχετικές με αυτές μετακινήσεις. Στην πραγματικότητα, τα ψώνια είναι μια από τις πολλές δραστηριότητες του ανθρώπου που μπορούν να εκτελεστούν χωρίς προσωπική μετακίνηση. Οι αγορές στο διαδίκτυο έχουν αυξηθεί δραματικά κατά την τελευταία δεκαετία. Στην Ιταλία, οι συνολικές πωλήσεις ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce) αυξάνονται ετησίως κατά περίπου 18% ενώ στις ΗΠΑ μόνο το 2015 αυξήθηκαν κατά περίπου 16%. Οι δυνητικές επιπτώσεις του ηλεκτρονικού εμπορίου περιλαμβάνουν μεταβολές στον όγκο αγαθών που αγοράζονται και μεταβολές στις κατά κεφαλήν καταναλωτικές δαπάνες (Mokhtarian, 2004; Comi and Nuzzolo, 2016). Επιπλέον, γεννιούνται δρομολόγια σε περιοχές κατοικίας για τη διανομή των αγαθών ενώ επηρεάζονται και οι μετακινήσεις των τελικών καταναλωτών. Οι επιβατικές μεταφορές αναμένουν οφέλη από την ηλεκτρονική αγορά αγαθών, κυρίως λόγω της μείωσης των σχετικών μετακινήσεων. Στον αντίποδα, αυτή η αλλαγή έχει επιπτώσεις στις εμπορευματικές μεταφορές. Καταρχάς, πρέπει να τροποποιηθούν 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, η αντίστροφη εφοδιαστική 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 πιο ακριβό τμήμα της διανομής αγαθών. Λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζεται στην παράδοση αγαθών ηλεκτρονικού εμπορίου, η βελτίωση της διαθεσιμότητας, της ποιότητας και της προστιτής τιμής των λύσεων παράδοσης έχει αναγνωριστεί ως ένας από τους στόχους για την τόνωση της ανάπτυξης του ηλεκτρονικού εμπορίου (European Commission, 2013).

Το μερίδιο του ηλεκτρονικού εμπορίου που αφορά τις συναλλαγές μεταξύ επιχείρησης και τελικού καταναλωτή (Business-to-Consumer, B2C) συνεπάγεται μεμονωμένες αποστολές, με αποτέλεσμα τον αυξανόμενο αριθμό ταξιδιών και χιλιομέτρων (Taniguchi and Kakimoto, 2004). Το B2C αντιπροσωπεύει περίπου το 30% του κύκλου εργασιών του ηλεκτρονικού εμπορίου και παράγει το 56% όλων των αποστολών ηλεκτρονικού εμπορίου. Αν και δεν υπάρχει γενική επιβεβαίωση, οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι ο όγκος της ναυτιλίας παγκοσμίως

είναι κοντά στα 31 δισεκατομμύρια δέματα ανά έτος (Cárdenas, Beckers and Vanelslander, 2017).

Ο αρνητικός αντίκτυπος του τελευταίου μιλίου του ηλεκτρονικού εμπορίου B2C έχει αυξήσει το ενδιαφέρον των ερευνητών στους τομείς των city logistics, της γεωγραφίας των μεταφορών και της λιανικής πώλησης καθώς και των επαγγελματιών και των υπεύθυνων για τη λήψη αποφάσεων (Weltevreden and Rotem-Mindali, 2009). Το συμπέρασμα αυτής της συζήτησης είναι ότι η παράδοση του τελευταίου μιλίου είναι μια εξισορρόπηση μεταξύ του εσωτερικού κόστους, των εξωγενών παραγόντων και της πυκνότητας των παραδόσεων. Από τη μία πλευρά, η πυκνότητα των πελατών είναι απαραίτητη για την επίτευξη αποτελεσματικότητας στο τελευταίο μίλι. Ως εκ τούτου, οι παραδόσεις εκτός πόλης μπορούν να είναι τρεις φορές πιο ακριβές από τις αστικές. Στις αστικές περιοχές, η πυκνότητα είναι υψηλότερη και οι πάροχοι υπηρεσιών logistics επωφελούνται από το χαμηλότερο κόστος. Ωστόσο, οι κάτοικοι υφίστανται περισσότερο αρνητικές επιπτώσεις όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, ο θόρυβος και οι εκπομπές αερίων σε σύγκριση με αυτούς των μη αστικών περιοχών. Στο τέλος, οι διάφοροι ενδιαφερόμενοι φορείς πρέπει να διαχειρίζονται διαφορετικές εξωτερικές επιδόσεις σε διαφορετικές περιοχές, γεγονός που υπογραμμίζει τις δυσκολίες που συνδέονται με το τελευταίο μίλι (Cárdenas, Beckers and Vanelslander, 2017).

2.2.1. Ζητήματα σχετικά με την παράδοση στο σπίτι

Παρόλο που η παράδοση στο σπίτι εκτιμάται ιδιαίτερα από τους καταναλωτές, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που σχετίζονται με αυτήν την υπηρεσία. Η παράδοση στο σπίτι θεωρείται ζήτημα από διάφορους εμπλεκόμενους παράγοντες, 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 αναγκάζεται να παραμείνει στο σπίτι για την παράδοση (περίπου το 50%). Αφετέρου, οι μεταφορείς αναφέρουν το πρόσθετο κόστος της επαναλαμβανόμενης παράδοσης (12% των παραδόσεων πρέπει να παραδοθεί για δεύτερη φορά) αλλά και τη μη παράδοση (2% των εμπορευμάτων δεν δύνανται να παραδοθούν).

Οι περισσότερες υπηρεσίες παράδοσης στο σπίτι ενημερώνουν τον πελάτη σχετικά με την ημερομηνία παράδοσης των εμπορευμάτων και χρησιμοποιούν ένα χρονικό πλαίσιο από τις 9:00 π.μ. έως τις 5:00 ή 7:00 μ.μ.. Για τις παραδόσεις μικρών δεμάτων που χωρούν σε γραμματοκιβώτιο αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα. Για μεγαλύτερα εμπορεύματα, ένα τέτοιο μεγάλο χρονικό πλαίσιο αυξάνει την πιθανότητα αποτυχίας της παράδοσης. Μια μελέτη στο Ηνωμένο Βασίλειο ανέφερε ότι οι αποτυχημένες πρώτες παραδόσεις στο σπίτι αντιπροσώπευαν περίπου το 12% όλων των πρώτων παραδόσεων και ότι ο αριθμός αυτός ήταν ο ίδιος για δυο συναπτά έτη. Η μελέτη υπολόγισε ότι οι λιανοπωλητές του Ηνωμένου

Βασιλείου δέχθηκαν 740 εκατομμύρια διαδικτυακές παραγγελίες το 2012 και περίπου ένα δισεκατομμύριο δέματα απεστάλησαν μέσα στο Ηνωμένο Βασίλειο. Εκτιμάται ότι το κόστος των αποτυχημένων παραδόσεων για τις εταιρείες και τους πελάτες ανήλθε στις 850 εκατομμύρια λίρες για το ίδιο έτος. Επιπλέον εκτιμάται ότι οι καταναλωτές επέστρεψαν το 22% των παραγγελιών που έλαβαν το 2011. Τα μεγαλύτερα καταστήματα διαδικτύου προσφέρουν συχνά περισσότερες επιλογές σχετικά με το χρόνο και την ημερομηνία παράδοσης για να διευκολύνουν τον πελάτη και να μειώσουν την πιθανότητα αποτυχίας. Αλλά μόνο ο μεταφορέας μπορεί να δώσει ακριβέστερες πληροφορίες σχετικά με το χρόνο παράδοσης. Με τη νέα τεχνολογία των ΤΠΕ είναι ευκολότερο να παρέχονται ακριβέστερες πληροφορίες σχετικά με το χρόνο παράδοσης, μια δυνατότητα την οποία οι μεταφορείς δεν εκμεταλλεύονται ακόμη σε ικανοποιητικό βαθμό (Visser, Nemoto and Browne, 2014). Μια εναλλακτική λύση για την παράδοση στο σπίτι είναι η χρήση σημείων παραλαβής. Μια συγκεκριμένη εφαρμογή τέτοιων σημείων, οι έξυπνες θυρίδες (smart lockers) για διανομή εμπορευμάτων, μελετήθηκε στην παρούσα εργασία.

2.3. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην υπηρεσία των city logistics

Οι πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις σχετίζονται με την έκρηξη των ψηφιακών δεδομένων, τα οποία αποκαλούνται «Μεγάλα Δεδομένα» (Big Data), αλλά και στην επέκταση της αντίληψης του διαδικτύου, το αποκαλούμενο «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» (Internet of Things, IoT).

Τα μεγάλα δεδομένα διαφέρουν από τα παραδοσιακά δεδομένα ως προς τον όγκο, την ταχύτητα και την ποικιλία. Έχει διαπιστωθεί ότι περισσότερα δεδομένα διασχίζουν το διαδίκτυο κάθε δευτερόλεπτο από ό,τι αποθηκεύτηκαν σε ολόκληρο το διαδίκτυο μόλις πριν από 20 χρόνια (McAfee and Brynjolfsson, 2012). Η ταχύτητα δημιουργίας δεδομένων είναι για πολλές εφαρμογές εξαιρετικά σημαντική, πιθανόν πιο σημαντική από τον όγκο των δεδομένων. Τα μεγάλα δεδομένα παίρνουν μια ποικιλία μορφών, από μηνύματα σε εικόνες, σήματα παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (Global Positioning System, GPS) από κινητά τηλέφωνα, ενδείξεις από αισθητήρες. Τα κοινωνικά δίκτυα, τα smartphones και οι λοιπές κινητές συσκευές αποτελούν πηγές μεγάλων δεδομένων και παρέχουν μεγάλους όγκους δεδομένων σχετικά με ανθρώπους, δραστηριότητες, τοποθεσίες. Τα smartphones και οι λοιπές κινητές συσκευές είναι τόσο ευρέως διαδεδομένα που είναι εύκολο να ξεχαστεί ότι δεν υπήρχαν πριν από λιγότερο από δέκα χρόνια. Λόγω των μεγάλων δεδομένων, οι διαχειριστές και οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων είναι σε θέση να γνωρίζουν περισσότερα και να μετατρέπουν αυτές τις γνώσεις σε βελτίωση του τρόπου λήψης αποφάσεων και των επιδόσεων (Grazia Speranza, 2018).

Χάρη στην ανάπτυξη και την ευρεία εφαρμογή των ΤΠΕ και των Ευφών Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transport Systems, ITS), μπορούμε εύκολα να συλλέξουμε μεγάλα δεδομένα σχετικά με τις μετακινήσεις φορτηγών για παραλαβή, παράδοση ή μεταφορά αγαθών στις αστικές περιοχές, με χαμηλότερο κόστος. Οι συσκευές GPS, με τις οποίες είναι

συνήθως εξοπλισμένα τα φορτηγά, επιτρέπουν την ακριβή μέτρηση της θέσης των φορτηγών κάθε δευτερόλεπτο. Η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων των μετακινήσεων φορτηγών σε αστικές περιοχές μας επιτρέπει την απόκτηση γνώσεων σχετικά με τη συμπεριφορά των οδηγών (Taniguchi, Thompson and Yamada, 2016).

Το φαινόμενο των μεγάλων δεδομένων σχετίζεται με, και εν μέρει προκαλείται από, το διαδίκτυο των πραγμάτων. Το IoT είναι το δίκτυο των φυσικών αντικειμένων που είναι ενσωματωμένα με ηλεκτρονικά, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα δικτύου. Η συνδεσιμότητα αυτή επιτρέπει σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Το IoT επιτρέπει στα αντικείμενα να ανιχνεύονται και να ελέγχονται εξ αποστάσεως σε μια υπάρχουσα υποδομή δικτύου, δημιουργώντας ευκαιρίες για πιο άμεση ενοποίηση μεταξύ του φυσικού κόσμου και των υπολογιστικών συστημάτων. Το IoT περιλαμβάνει έξυπνα δίκτυα, έξυπνα σπίτια, έξυπνες μεταφορές και έξυπνες πόλεις. Το κάθε αντικείμενο αναγνωρίζεται από την ενσωματωμένη τεχνολογία του και είναι σε θέση να αλληλεπιδράσει μέσα στην υπάρχουσα υποδομή του Διαδικτύου. Το IoT θα αυξήσει την παρουσία του Διαδικτύου στην καθημερινή ζωή και θα οδηγήσει σε ένα εξαιρετικά κατανομημένο δίκτυο συσκευών που θα επικοινωνούν με ανθρώπους καθώς και με άλλες συσκευές. Ο όγκος των δεδομένων που παράγονται από το IoT αναμένεται να αυξηθεί με ραγδαίους ρυθμούς τα ακόλουθα χρόνια (Grazia Speranza, 2018).

Τα μεγάλα δεδομένα και το διαδίκτυο των πραγμάτων δημιουργούν τεράστιες ευκαιρίες για μεγάλο αριθμό καινοτόμων εφαρμογών και ερευνητικών έργων.

2.4. Οι «Έξυπνες Θυρίδες» ως λύση για την τελική διανομή

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ηλεκτρονικό εμπόριο αυξάνει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η διανομή προϊόντων, με άμεσες επιπτώσεις στα συστήματα logistics σε αστικές και προαστιακές περιοχές όπου η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η προσβασιμότητα είναι καθοριστικοί παράγοντες. Στην περίπτωση της αγοράς B2C, οι παραδόσεις στο σπίτι αποτελούν την πιο προβληματική λύση όσον αφορά το κόστος και την οργάνωση των υπηρεσιών. Παρόλο που οι παραδόσεις στο σπίτι συνήθως προτιμώνται από τους αγοραστές στο διαδίκτυο, παρατηρείται ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων που ικανοποιούν τόσο τη ζήτηση των καταναλωτών για ευελιξία όσο και την ανάγκη των εταιρειών να βελτιστοποιούν τη διανομή των δεμάτων μέσω ενοποιημένων αποστολών. Αυτοματοποιημένοι σταθμοί δεμάτων (Automatic Parcel Stations, APS) εξοπλισμένοι με θυρίδες και σημεία παραλαβής (Pickup Points, PP), τα οποία είναι καταστήματα που παρέχουν υπηρεσίες παράδοσης και παραλαβής δεμάτων, αποτελούν ταχέως αναπτυσσόμενες λύσεις. Αυτές οι δύο επιλογές τελικής παράδοσης εμπλέκουν τον τελικό καταναλωτή στην εφοδιαστική αλυσίδα και απαιτούν από αυτόν να διανύσει το τελευταίο μίλι για την παραλαβή της παραγγελίας του. Διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην αναδιοργάνωση των εμπορικών δραστηριοτήτων και δραστηριοτήτων logistics και καθίστανται βασικά χαρακτηριστικά της στρατηγικής των

παραγόντων του ηλεκτρονικού εμπορίου και των μεταφορών (Augereau, Dablanc and Curien, 2008; Morganti, Dablanc and Fortin, 2014).

Τα δίκτυα σημείων παραλαβής λειτουργούν μέσω τοπικών καταστημάτων όπου συσκευασίες που παράγονται από την αγορά των εξ αποστάσεως πωλήσεων παραδίδονται για ετεροχρονισμένη συλλογή από τους μεμονωμένους παραλήπτες τους. Σε γενικές γραμμές, τα σημεία παραλαβής εξυπηρετούν 6 ημέρες την εβδομάδα, κατά τις ώρες λειτουργίας των επιχειρήσεων που τα φιλοξενούν (στεγνοκαθαριστήρια, ανθοπωλεία κλπ.). Από την άλλη, στα δίκτυα θυρίδων που παρέχουν οι σταθμοί δεμάτων, οι παραλήπτες μπορούν να παραλαμβάνουν δέματα 24 ώρες την ημέρα. Άλλη μια διαφορά των δυο συστημάτων είναι ότι, σε αντίθεση με τα σημεία παραλαβής, στο σύστημα με τις θυρίδες δεν απαιτείται ανθρώπινη αλληλεπίδραση για την εξυπηρέτηση του πελάτη. Πλεονεκτήματα και των δύο συστημάτων είναι η ευελιξία των ωρών λειτουργίας σε σύγκριση με τα ταχυδρομεία, παρέχοντας στους καταναλωτές τη δυνατότητα να παραλαμβάνουν τα δέματά τους σε βολικό για αυτούς χρόνο, καθώς και το χαμηλότερο κόστος για το μεταφορέα σε σύγκριση με την παράδοση στο σπίτι. Επιπλέον, τα δίκτυα θυρίδων και σημείων παραλαβής χρησιμοποιούν ισχυρά εργαλεία πληροφορικής για την παρακολούθηση δεμάτων και τη διαχείριση επιστροφών, ενώ δημιουργούνται διεθνείς συνεργασίες για διασυνοριακές παραδόσεις (Morganti, Dablanc and Fortin, 2014; Faugere and Montreuil, 2016).

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στις αυτοματοποιημένους σταθμούς με θυρίδες για τη διανομή δεμάτων, εφεξής «έξυπνες θυρίδες» (smart lockers).

Οι σταθμοί έξυπνων θυρίδων (εικόνα 1) είναι μονάδες αποθήκευσης δεμάτων που βρίσκονται σε βολικές και δημόσιες τοποθεσίες σε αστικές περιοχές. Συνήθως συναντώνται σε εμπορικά κέντρα, πρατήρια υγρών καυσίμων, σιδηροδρομικούς σταθμούς ή παρά την οδό. Λειτουργούν ως αυτοματοποιημένα σημεία ενοποίησης παραδόσεων, προσφέροντας αποθήκευση προϊόντων για όλους τους πελάτες σε μια συγκεκριμένη περιοχή για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (λίγες μέρες). Οι πελάτες, στο πιο βολικό χρονικό διάστημα της ημέρας για εκείνους, μπορούν να παραλάβουν τις παραγγελίες τους καταγράφοντας τον εαυτό τους σε ένα έξυπνο τερματικό διασυνδεδεμένο με το σύστημα της εταιρείας παράδοσης μέσω του IoT (Internet of Things), χρησιμοποιώντας είτε έναν κωδικό που αποστέλλεται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή μηνύματος στο κινητό τηλέφωνο, είτε την ταυτότητα ή πιστωτική κάρτα τους.



Εικόνα 1: Τυπικός σταθμός έξυπνων θυρίδων (UPS Inc., 2018)

2.4.1. Πιθανές επιπτώσεις από την εφαρμογή του συστήματος των «έξυπνων θυρίδων»

Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη και να κατανοηθούν οι επιπτώσεις από την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος σε όλα τα ενδιαφερόμενα και εμπλεκόμενα μέρη. Σε αυτήν την περίπτωση, τα ενδιαφερόμενα μέρη είναι: οι καταναλωτές, οι πάροχοι υπηρεσιών logistics, οι λιανοπωλητές ηλεκτρονικού εμπορίου και οι πόλεις.

- *Καταναλωτές.* Ο παραλήπτης/καταναλωτής δυσκολεύεται να προσαρμόσει το πρόγραμμά του στην αναμενόμενη ώρα παράδοσης, ειδικά όταν το χρονικό παράθυρο είναι μεγάλο και τον εμποδίζει να απουσιάζει από το σπίτι. Η ενοποιημένη παράδοση τελευταίου μιλίου θα επέτρεπε στους πελάτες να συλλέγουν τα δέματά τους στην καθημερινή τους διαδρομή προς/από την εργασία τους, ανά πάσα στιγμή, σε ένα χρονικό διάστημα μερικών ημερών όπου τα δέματα θα παραμείνουν στις θυρίδες. Με τον τρόπο αυτό, οι πελάτες κερδίζουν χρόνο και αυξάνεται το επίπεδο ικανοποίησής τους. Πράγματι, η ευελιξία είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη μέθοδο επιλογής του καταναλωτή μαζί με το κόστος και την ταχύτητα (Lowe and Rigby, 2014).
- *Πάροχοι υπηρεσιών logistics.* Ο αυξανόμενος πληθυσμός των πόλεων αυξάνει τη ζήτηση για παραδόσεις εμπορευμάτων και συνεπώς την ανάγκη για πόρους, όπως τα οχήματα παράδοσης και οι διανομείς. Παρέχοντας τη δυνατότητα για ενοποιημένες παραδόσεις, περιορίζονται οι ανάγκες σε πόρους, καθώς η παράδοση πολλών δεμάτων στην ίδια τοποθεσία μειώνει τον αριθμό των στάσεων που απαιτούνται, αυξάνοντας την ικανότητα παράδοσης σε δεδομένο χρόνο. Επιπλέον, με τη χρήση

των αυτοματοποιημένων έξυπνων θυρίδων αποφεύγονται οι ανεπιτυχείς παραδόσεις λόγω απουσίας του παραλήπτη και το συνεπακόλουθο λειτουργικό κόστος των παρόχων που προκύπτει από επαναλαμβανόμενες παραδόσεις.

- *Λιανοπωλητές ηλεκτρονικού εμπορίου.* Για να είναι ανταγωνιστικοί, οι έμποροι λιανικής πώλησης στο διαδίκτυο πρέπει να προσφέρουν χαμηλές τιμές αποστολής, καθώς οι καταναλωτές δεν επιθυμούν να πληρώσουν για οτιδήποτε άλλο πέρα από το προϊόν που επιθυμούν. Η δυνατότητα ενοποίησης των παραδόσεων σε ένα σταθμό έξυπνων θυρίδων θα μειώσει το κόστος μεταφοράς, μέσω της μείωσης του αριθμού των κινητών πόρων που απαιτούνται, αλλά και του χρόνου που απαιτείται για την παράδοση των δεμάτων της ημέρας (συντομότερες διαδρομές παράδοσης). Με άλλα λόγια, η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των μεταφορέων θα αποτελέσει έναυσμα για τη μείωση του κόστους από την πλευρά των λιανοπωλητών. Ωστόσο, αυτή η λύση απαιτεί να παρακολουθούνται τα παραδοθέντα προϊόντα, εφόσον δεν έχουν παραληφθεί από τους καταναλωτές, και τελικά απαιτεί την παραλαβή τους από τους σταθμούς για επιστροφή ή μεταφορά σε άλλη τοποθεσία. Σε αυτήν την περίπτωση, φαίνεται να είναι απαραίτητη η ορατότητα στις ροές που ενεργοποιείται από την υπερσυνδεσιμότητα (hyperconnectivity) που προσφέρει το IoT.
- *Πόλεις.* Οι ενοποιημένες παραδόσεις ενδέχεται να οδηγήσουν σε πιο αποτελεσματικές εμπορευματικές ροές, περιορίζοντας τις επιπτώσεις στην κυκλοφορία και βοηθώντας, ενδεχομένως, στη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις πόλεις (Faugere and Montreuil, 2016).

2.4.2. Εφαρμογές των «έξυπνων θυρίδων»

Εφαρμογές των έξυπνων θυρίδων εμφανίζονται από τις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Οι περισσότερες πραγματοποιούνται από παρόχους υπηρεσιών logistics σε συνεργασία με εταιρείες λιανικής πώλησης.

Το Bentobox ήταν μία από τις λύσεις που δοκιμάστηκαν στο Βερολίνο (Γερμανία) και στο Τορίνο (Ιταλία) από το ευρωπαϊκό έργο CITILOG. Οι χρήστες πιλοτικών δοκιμών ικανοποιήθηκαν και η δοκιμή αυτή έδειξε ότι η τοποθέτηση του Bentobox σε εμπορικά καταστήματα είναι ένας από τους πιο επιτυχημένους παράγοντες εφαρμογής (Quak, 2012). Οι έμποροι λιανικής πώλησης που λειτούργησαν το Bentobox ανέφεραν αυξημένη ευελιξία της υπηρεσίας που προσφέρει το κατάστημα στους χρήστες. Οι Dell'Amico και Hadjidimitriou (2012) συνέκριναν 38 παραδόσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις παραδόσεις στο σπίτι και στα σημεία παραλαβής. Τα αποτελέσματα έδειξαν οικονομικά πλεονεκτήματα για τον πάροχο υπηρεσιών logistics, όταν οι θυρίδες βρίσκονται δίπλα στους πελάτες.

Η DHL εφάρμοσε το σύστημα που ονομάζεται Packstation στη Γερμανία, με ένα δίκτυο 2650 θέσεων, που περιελάμβανε και δοκιμασία για παραδόσεις νωπών τροφίμων σε θυρίδες με σύστημα ψύξης. Οι πάροχοι ταχυδρομικών υπηρεσιών και υπηρεσιών logistics, έχουν

αναπτύξει εφαρμογές έξυπνων θυρίδων στη Γαλλία και σε πολλές άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Morganti, Dablanc and Fortin, 2014), καθώς και στην Κολομβία, την Αυστραλία, τη Ρωσία, τη Σαουδική Αραβία, τη Φινλανδία, την Εσθονία και την Τσεχία (Folkert and Eichhorn, 2007; Lemke, Iwan and Korczak, 2016).

Το μέγεθος της πόλης δεν αποτελεί σχετιζόμενο κριτήριο για την εφαρμογή αυτού του συστήματος (Folkert and Eichhorn, 2007). Το κόστος μπορεί να είναι χαμηλό, δεδομένου ότι οι σταθμοί θυρίδων συνήθως απαιτούν μόνο προσαρμογές στην υποδομή, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας εγκαταστάσεις καταστημάτων λιανικής πώλησης για τη διανομή. Ο χρόνος υλοποίησης αυτού του έργου είναι χαμηλός (λιγότερο από τρία χρόνια), όπου συμμετέχουν ιδιωτικές εταιρείες, δημόσιες αρχές, πολεοδόμοι και χρήστες του συστήματος. Ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα του συστήματος είναι η πιθανή αύξηση του αριθμού των ιδιωτικών οχημάτων για τη συλλογή των δεμάτων. Για να ελαχιστοποιήσει αυτό το πρόβλημα, οι Dell'Amico και Hadjidimitriou (2012) τονίζουν τη σημασία της τοποθεσίας των σταθμών των θυρίδων.

Οι Xu, Jiang και Wang (2012) αναλύουν τη δυνατότητα εφαρμογής στην Κίνα, με έμφαση στα επενδυτικά πρότυπα και στη διαδικασία ροής των δεμάτων. Ο Ding (2014) διεξήγαγε μια μελέτη για να ερευνήσει εναλλακτικές λύσεις στα logistics του τελευταίου μιλίου στην Κίνα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μπορεί να επιτευχθεί με ένα δίκτυο σημείων συλλογής, εάν υπάρχει μεγάλη πυκνότητα παραγγελιών καθώς και διαφοροποιημένα παράθυρα παράδοσης. Ο συγγραφέας επισημαίνει ότι η υψηλή πυκνότητα των παραγγελιών με προορισμό τις θυρίδες είναι θετική για το σύστημα. Ωστόσο, το κόστος της υπηρεσίας μπορεί να αποτελέσει αρνητικό παράγοντα για την αποδοχή αυτής της λύσης. Οι Iwan et al (2016), ανέλυσαν τη χρηστικότητα και την αποτελεσματικότητα των έξυπνων θυρίδων, με βάση την εμπειρία της ταχυδρομικής εταιρείας στην Πολωνία. Οι συγγραφείς δηλώνουν ότι ο χρόνος, η τιμή, η παρακολούθηση, η διαθεσιμότητα και η τοποθεσία είναι σημαντικά στοιχεία για τη χρήση του συστήματος. Ανάμεσα στις προσδοκίες των πελατών, η τοποθεσία θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στην κατοικία (33%), στη διαδρομή προς την εργασία (21%), κοντά σε εμπορικά κέντρα (10%), κοντά σε σταθμούς δημόσιων μεταφορών (5%), κοντά σε χώρους στάθμευσης (19%) και σε ασφαλείς τοποθεσίες (11%).

Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται οι κυριότερες εφαρμογές «έξυπνων θυρίδων» που συναντώνται στη βιβλιογραφία, με μια μικρή περιγραφή της λειτουργίας τους και το εμπορικό μοντέλο που ακολουθούν. Από τις σχετικές μελέτες, απομονώθηκαν τα εμπόδια που παρουσιάστηκαν κατά την ανάπτυξη και λειτουργία των εφαρμογών, οι παράγοντες επιτυχίας και τα αποτελέσματα.

Πίνακας 2: Εφαρμογές "Εξυπνων θυρίδων" (Ιδία επεξεργασία)

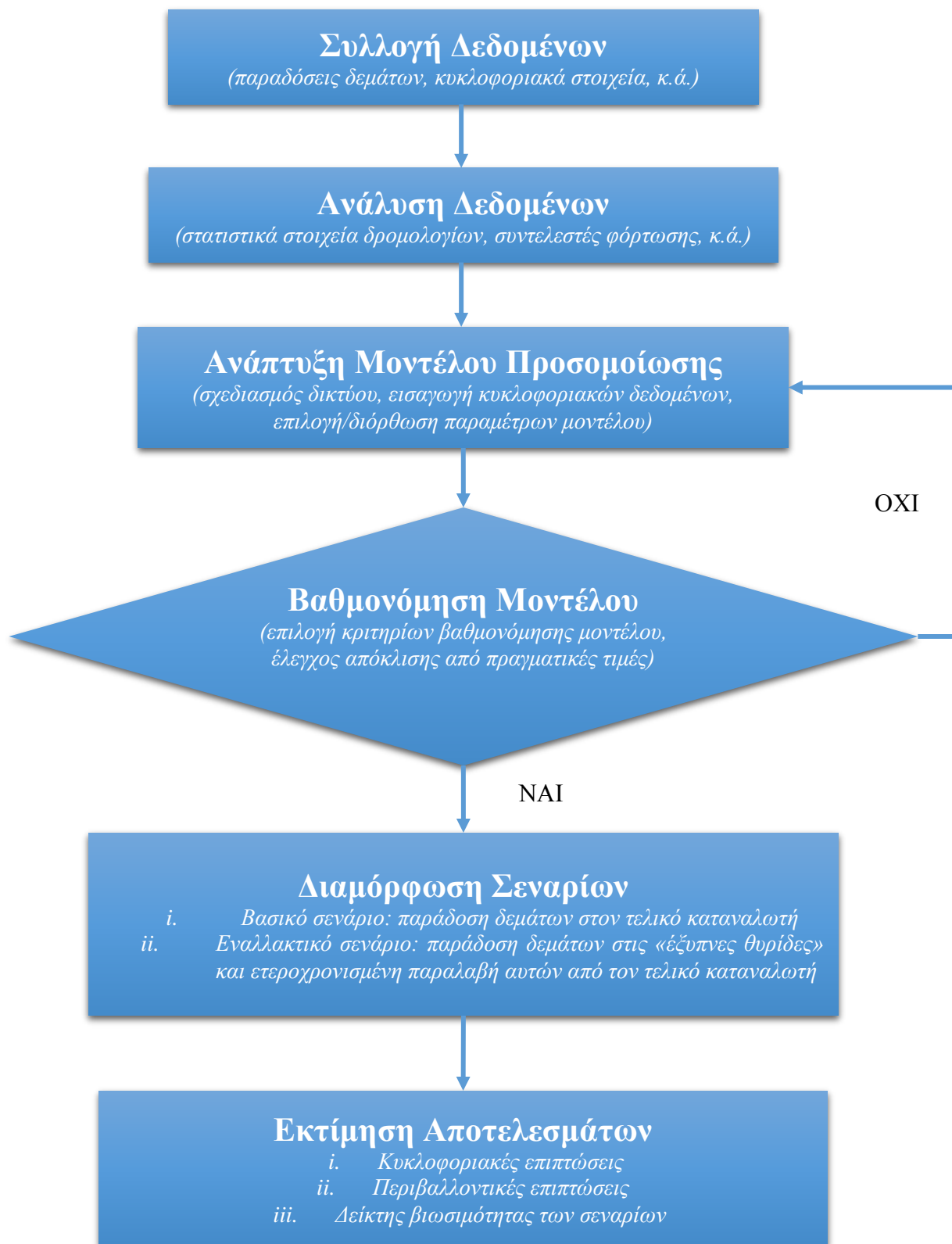
Έργο/ Εφαρμογή/Χ ώρα	Εμπορικό μοντέλο/ Περιγραφή	Εμπόδια	Παράγοντες επιτυχίας	Αποτελέσματα
SUGAR ¹ / Packstations/ Γερμανία (2002)	(B2C, C2C)	Σε ορισμένες πόλεις απαγορεύεται η εγκατάσταση θυρίδων σε δημόσιους χώρους (λόγοι ασφάλειας, αισθητικής)	- Ενδιαφέρον του πληθυσμού - Μέγεθος πόλης (>100.000 κάτ.) - Προσβασιμότητα	- Μείωση εν.κατανάλωσης - Βελτίωση αποδοτικότητας μεταφορών - Βελτίωση ποιότητας ζωής - Σύντομη παραλαβή των δεμάτων (70% σε 24ώρες)
SUGAR ¹ / Consignity/ Παρίσι (2004)	(B2B) Διανομή ανταλλακτικών σε τεχνίτες/επαγγελματ ίες	Κόστος για εφαρμογή εκτεταμένου και συνεκτικού δικτύου Δυσκολία χρηστών στην προσαρμογή στο νέο τρόπο παραλαβής	- Εκτεταμένο και συνεκτικό δίκτυο - Κόστος για τον πελάτη	- Μείωση κατανάλωσης καυσίμου - Αύξηση παραγωγικότητας των επαγγελματιών
CITYLOG ^{2,3} / Bentobox/ Βερολίνο	(B2C) Χρήση σαν σταθμός ενοποίησης παραδόσεων & ως σταθμός μεταφόρτωσης	Υψηλές τιμές ενοικίασης χώρων για εγκατάσταση Μη επικερδής επένδυση για τοποθέτηση εκτός αστικού κέντρου	Δυνατότητα χρήσης από διαφορετικούς παρόχους logistics	- Αποσύνδεση της διαδικασίας παράδοσης - Ενοποίηση παραγγελιών (μείωση του αριθμού των διαδρομών για παράδοση) - Περισσότερες διανομές με ποδήλατο στο κέντρο της πόλης
CITYLOG ^{2,3} / Bentobox/ Λυών, Τορίνο	(B2B) Σημείο παραλαβής & αποθήκευσης προϊόντων για λιανοπωλητές	Τεχνικά προβλήματα από τη φορητότητα των θυρίδων (πχ. φορές) και στο σύστημα πληροφόρησης/υποστήρι ξης των πελατών	- Προσεκτικός σχεδιασμός/διαστασιολόγηση των θυρίδων - Αύξηση αποδοτικότητας αν χρησιμοποιηθεί και για B2C διανομές	- Απουσία απαίτησης αλληλεπίδρασης διανομέα - παραλήπτη - Μείωση του χρόνου παράδοσης για τον πάροχο logistics

C-LIEGE ⁴ / Packstations/ Szczecin, Πολωνία	(B2C)	Η μεγάλη ανάπτυξη του δικτύου των θυρίδων μπορεί να προκαλέσει αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων	- Τοποθεσία των σταθμών (πχ. κοντά σε εμπορικά κέντρα) ⁵ - Κόστος για τον πελάτη (σε σύγκριση με την παράδοση στο σπίτι) ⁶	- Αύξηση αποδοτικότητας (10πλάσια δέματα διανύοντας 53% λιγότερα χιλιόμετρα, σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα παραδόσεων) - 95% μείωση των εκπομπών CO ₂ ⁶ για το στόλο της εταιρείας διανομών - 20 σταθμοί ανέλαβαν το 20% των συνολικών παραδόσεων στην πόλη ⁷
BESTFACT ⁸ / LP Express 24/ Λιθουανία	(B2C, B2B, C2C)	Ελλείψεις στο νομικό πλαίσιο (ευθύνη δέματος, ταυτοποίηση παραλήπτη)	- Προσαρμογή συστήματος στις ανάγκες της τοπικής αγοράς (συνεχείς βελτιώσεις) - 24ωρη διανομή δεμάτων - Μικρές διαδρομές παράδοσης (μικρή έκταση χώρας) - Συνεργασίες B2B με επιχειρήσεις ηλ.εμπορίου	- Επιπρόσθετες λειτουργίες δημιουργούν προστιθέμενη αξία και δυνατότητες για επέκταση του δικτύου - Συγκριτικό πλεονέκτημα από την ενσωμάτωση και άλλων υπηρεσιών παράδοσης (πχ. couriers) ⁹
NOVELOG ¹⁰ / Smart lockers Mechelen, Βέλγιο	(B2C, C2C)	(Αναμένονται)	- Συνεργασία όλων των ενδιαφερομένων - Ενημέρωση των καταναλωτών - Εκτεταμένες δοκιμές του συστήματος	(Αναμένονται)

1. SUGAR Final Publication (2011). Available on: <http://www.cei.int/sites/default/files/attachments/docs/Sustainable%20Urban%20Goods%20logistics%20Achieved%20by%20Regional%20and%20local%20policies%20-%20SUGAR/SUGAR%20Final%20Publication.pdf>
2. CITYLOG Final Publication (2013). Available on: https://cordis.europa.eu/publication/rcn/16579_en.html
3. (Quak, Balm and Posthumus, 2014)
4. C-LIEGE D1.3 Publishable Report (2014). Available on: http://www.c-liege.eu/fileadmin/Media/c-liege.eu/Downloads/D1.3_Publishable_Report.pdf
5. (Iwan, Kijewska and Lemke, 2016)
6. InPost parcel lockers: survey report. 2015. Available on: <https://log4.pl/paczkomaty-inpost---ekspertyza-agh,12,9270.htm>
7. (Bilik, 2014)
8. BESTFACT http://www.bestfact.net/wp-content/uploads/2016/01/CL1_134-QuickInfo_LP-EXPRESS-16Dec2015.pdf
9. <https://www.lpexpress.lt/Savitarnos-terminalai-s24/>
10. NOVELOG. Efficient and Sustainable Logistics. Which role for (Micro)-Consolidation. 2017. Available on: <http://novelog.eu/downloads-2/downloads/>

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία για την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης της κυκλοφορίας με σκοπό τη διερεύνηση και εκτίμηση των επιπτώσεων της εφαρμογής των «Εξυπνων θυρίδων» για διανομή εμπορευμάτων, περιλαμβάνει συγκεκριμένα βήματα. Τα βήματα αυτά φαίνονται στο διάγραμμα ροής της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε στην εργασία, το οποίο παρατίθεται παρακάτω.



3.1. Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Αρχικά αναζητήθηκαν και συλλέχθηκαν δεδομένα παραδόσεων εμπορευμάτων (συγκεκριμένα δεμάτων) στην περιοχή της Αθήνας. Υλικό με δεδομένα και λοιπές πληροφορίες χορηγήθηκε από εταιρεία ταχυμεταφορών η οποία εφαρμόζει το μέτρο των «Εξυπνων θυρίδων» στην περιοχή της Αθήνας (DHL Express). Από την επισκόπηση και ανάλυση αυτών των δεδομένων προέκυψε η επιλογή της περιοχής μελέτης (Δήμος Χαλανδρίου). Ακολούθως, για την περιοχή αυτή συλλέχθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα από τις αρμόδιες υπηρεσίες της Περιφέρειας Αττικής. Συγκεκριμένα, χορηγήθηκαν στατικά κυκλοφοριακά στοιχεία (φόρτοι, ταχύτητες, κατάληψη) από το αρχείο του Κέντρου Διαχείρισης και Μελετών Κυκλοφορίας καθώς και προγράμματα λειτουργίας φωτεινής σηματοδότησης, από την αντίστοιχη διεύθυνση της Περιφέρειας, για επιλεγμένους οδικούς άξονες και κόμβους της περιοχής μελέτης. Σχετικά με τη σύνθεση της κυκλοφορίας, λήφθηκαν ποσοστά βαρέων οχημάτων στους άξονες της περιοχής μελέτης από παλιότερη μελέτη της Αττικό Μετρό. Όλα τα χορηγηθέντα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση των προς διερεύνηση σεναρίων, καθώς και ως δεδομένα εισόδου στο λογισμικό προσομοίωσης κυκλοφορίας που χρησιμοποιήθηκε.

Η ανάλυση των δεδομένων παράδοσης πραγματοποιήθηκε με χρήση λογιστικών φύλλων Excel σε συνδυασμό με το λογισμικό διαχείρισης βάσεων δεδομένων Oracle. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων QGIS για την ορθή αντιστοίχιση των συντεταγμένων κάθε σημείου παράδοσης στην περιοχή (Δήμος) εντός των ορίων της οποίας εμπίπτουν.

3.2. Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης

Η ανάπτυξη του μοντέλου για την προσομοίωση των εμπορευματικών ροών έγινε με χρήση του λογισμικού μικροσκοπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας VISSIM. Για τη διαμόρφωση του οδικού δικτύου επιλέχθηκαν χαρακτηριστικοί άξονες της περιοχής μελέτης. Το δίκτυο σχεδιάστηκε με πληροφορίες σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών που αντλήθηκαν από το Google Earth αλλά και από σκαριφήματα κόμβων που χορηγήθηκαν μαζί με τα προγράμματα λειτουργίας της φωτεινής σηματοδότησης από την Περιφέρεια. Οι φωτεινοί σηματοδότες τοποθετήθηκαν στους κόμβους του δικτύου με τα αντίστοιχα προγράμματα λειτουργίας, όπως αυτά χορηγήθηκαν από την Περιφέρεια. Το δίκτυο, κατόπιν, φορτίστηκε με τους ωριαίους φόρτους στις θέσεις εισόδου του, όπως χορηγήθηκαν από το Κέντρο Διαχείρισης και Μελετών Κυκλοφορίας. Ο επιμερισμός του φόρτου στους κόμβους του δικτύου, όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις, έγινε με οπτική παρατήρηση των ιστορικών εικόνων που παρέχονται μέσω του Google Earth.

Στη συνέχεια, για την προσομοίωση του βασικού και του εναλλακτικού σεναρίου, σχεδιάστηκαν, σε ξεχωριστά αρχεία, οι στάσεις και τα δρομολόγια που πραγματοποίησαν τα

οχήματα της εταιρείας ταχυμεταφορών για τα δυο σενάρια αλλά και των αυτοκινήτων στην περίπτωση του εναλλακτικού σεναρίου.

Τέλος, τέθηκαν οι παράμετροι προσομοίωσης στο VISSIM. Για αύξηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν περισσότερων του ενός τρεξίματα προσομοίωσης (simulation runs), ενώ εισάχθηκε και μια περίοδος προθέρμανσης του δικτύου για να πληρωθεί το δίκτυο με οχήματα.

Η διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου προσομοίωσης περιγράφεται αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο.

3.3. Βαθμονόμηση μοντέλου

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου επιλέχθηκε στο δίκτυο ένα ικανό πλήθος σημείων συλλογής δεδομένων. Πρόκειται για σημεία εντός του δικτύου του μοντέλου, για τα οποία είναι διαθέσιμα τα κυκλοφοριακά στοιχεία, οπότε ενδείκνυνται για σύγκριση των πραγματικών τιμών και των τιμών που προκύπτουν από την προσομοίωση.

Για την παραπάνω σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν τα κριτήρια βαθμονόμησης που χρησιμοποιεί το υπουργείο μεταφορών του Wisconsin (Wisconsin Department of Transportation, 2002) για το μοντέλο προσομοίωσης αυτοκινητοδρόμου στην περιοχή του Milwaukee.

Τροποποιήθηκαν γεωμετρικές και κυκλοφοριακές παράμετροι του μοντέλου, ώστε μετά από συνεχόμενες δοκιμές η απόκλιση των τιμών (πραγματικών και προσομοίωσης) να βρεθεί εντός των ορίων που θέτουν τα αναφερθέντα κριτήρια.

3.4. Διαμόρφωση σεναρίων

Με το μοντέλο ολοκληρωμένο και βαθμονομημένο, διαμορφώθηκαν τα παρακάτω δυο σενάρια για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση των εμπορευματικών ροών στην περιοχή.

- Το **βασικό σενάριο** αφορά τις παραδόσεις δεμάτων που πραγματοποιούν τα οχήματα της εταιρείας ταχυμεταφορών στην περιοχή μελέτης, στη διάρκεια μιας συγκεκριμένης ημέρας. Τα δέματα, στο σενάριο αυτό, παραδίδονται στις διευθύνσεις των τελικών καταναλωτών (παραδόση στο σπίτι), όπως αυτές λήφθηκαν από την εταιρεία. Στο σενάριο αυτό προσομοιώνεται η πραγματική κατάσταση με τα δρομολόγια που πραγματοποίησαν τα οχήματα της εταιρείας τη συγκεκριμένη ημέρα (do-nothing scenario).
- Το **εναλλακτικό σενάριο**, στο οποίο τα ίδια δέματα μεταφέρονται με οχήματα της εταιρείας στη θέση των «έξυπνων θυρίδων» και αποθηκεύονται προσωρινά. Κατόπιν, οι τελικοί παραλήπτες-καταναλωτές μετακινούνται στις θυρίδες για την παραλαβή των δεμάτων τους. Στο σενάριο αυτό προσομοιώνονται, εκτός από τα οχήματα της εταιρείας, οι παραλήπτες που χρησιμοποιούν το αυτοκίνητο ως μέσο μετακίνησης για το δρομολόγιο προς και από τις θυρίδες (lockers scenario).

3.5. Εκτίμηση αποτελεσμάτων

Παρατίθεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο σεναρίων και υπολογίζονται τα λειτουργικά οφέλη του παρόχου. Οι επιπτώσεις από την εφαρμογή του μέτρου, εκτιμήθηκαν τόσο στην κυκλοφορία, όσο και στο περιβάλλον. Για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EnViVer, ενώ εκτιμήθηκε η βιωσιμότητα των σεναρίων μέσω της εκτίμησης δεικτών βιωσιμότητας από το εργαλείο αξιολόγησης μέτρων για city logistics, Evalog.

Κεφάλαιο 4: Περιγραφή και ανάλυση δεδομένων

4.1. Δεδομένα παραδόσεων δεμάτων

Το αρχείο με τα δεδομένα που χορηγήθηκε από την DHL Express αφορά τις παραδόσεις δεμάτων της εταιρείας στην περιοχή της Αττικής για χρονική περίοδο ενός μήνα (Μάρτιος 2017). Περιέχει όλες τις στάσεις που πραγματοποίησαν τα οχήματα της DHL για παράδοση δεμάτων (delivery stops), ανεξαρτήτως αν η παράδοση ήταν επιτυχής ή όχι. Τα δεδομένα αφορούν αποκλειστικά σε παραδόσεις καθώς δεν παρατηρήθηκαν στάσεις για παραλαβές δεμάτων.

Πίνακας 3: Δεδομένα παράδοσης δεμάτων με την κωδικοποίηση της εταιρείας ταχυμεταφορών. Ενδεικτική εγγραφή που αφορά μια παράδοση (DHL Express)

PUD Svc Area	ATH	Act Base	D	AR dtm	
PUD Fac	NOC	Delivery Type	NORMAL	Act Tm	11:15
PUD Rte	AE08	Pickup Type		Open	
PUD Cycle	A	Prod Grp	ECX	Closed	23:59
Courier id	aandread	Prod Code	U	lat	38.0223813
Courier Type	DHL Courier	ShpCnt	2	Igtld	23.7553517
Customer Name	EMM SARA****	Pallets Pcs	0	awb_bookin g	715628531 2
Street	19 *****	Parcel Pcs	3	Act Ckpt Code	OK
zip	111 46	Total Pcs	3	PuD Type	DL
City	GALATSI	Weight	32.5	Stop Code	1
Act Dt	20170301				

Μεταξύ άλλων στα δεδομένα αυτά περιέχονται οι κωδικοί των δρομολογίων της DHL που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα (στήλη *PUD Rte*). Επιπλέον παρέχεται για κάθε στάση η διεύθυνση παράδοσης και ο ταχυδρομικός κώδικας (στήλες *Street*, *City*, *zip*),

η ημερομηνία και η ώρα που πραγματοποιείται (στήλες *Act Dt, Act Tm*), το πλήθος παλετών, το πλήθος δεμάτων και το συνολικό πλήθος σε τεμάχια με το αντίστοιχο βάρος (στήλες *Pallets Pcs, Parcel Pcs* και *Total Pcs, Weight*, αντίστοιχα). Παρέχονται επίσης οι γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγρ. πλάτος και μήκος) για κάθε στάση (στήλες *lat, lgtd*), ο αριθμός αναφοράς για κάθε παράδοση, δηλαδή ο μοναδικός κωδικός που «συνοδεύει» τα δέματα μέχρι να παραδοθούν από την DHL στον τελικό παραλήπτη ή σε άλλο μέσο παράδοσης (στήλη *awb_booking*), ο τύπος της στάσης ή αλλιώς η έκβασή της και η αιτιολογία/αναφορά αυτής (στήλες *PuD Type* και *Act Ckpt* αντίστοιχα), ο κωδικός στάσης (στήλη *Stop Code*).

Ειδικότερα, η στήλη *PuD Type* παίρνει τιμές:

- ‘AD’, όταν πρόκειται για αποτυχημένη παράδοση καταδεικνύοντας την ανάγκη επανάληψης της παράδοσης,
- ‘DL’ (delivery), όταν η έκβαση μιας στάσης είναι η παράδοση στον τελικό καταναλωτή/παραλήπτη,
- ‘HN’ (hand-over), όταν η στάση πραγματοποιείται για μεταφόρτωση φορτίου σε άλλο μέσο παράδοσης ή μεταφοράς (πχ. σε άλλο δρομολόγιο της DHL),

ενώ η στήλη *Act Ckpt* παίρνει τιμές:

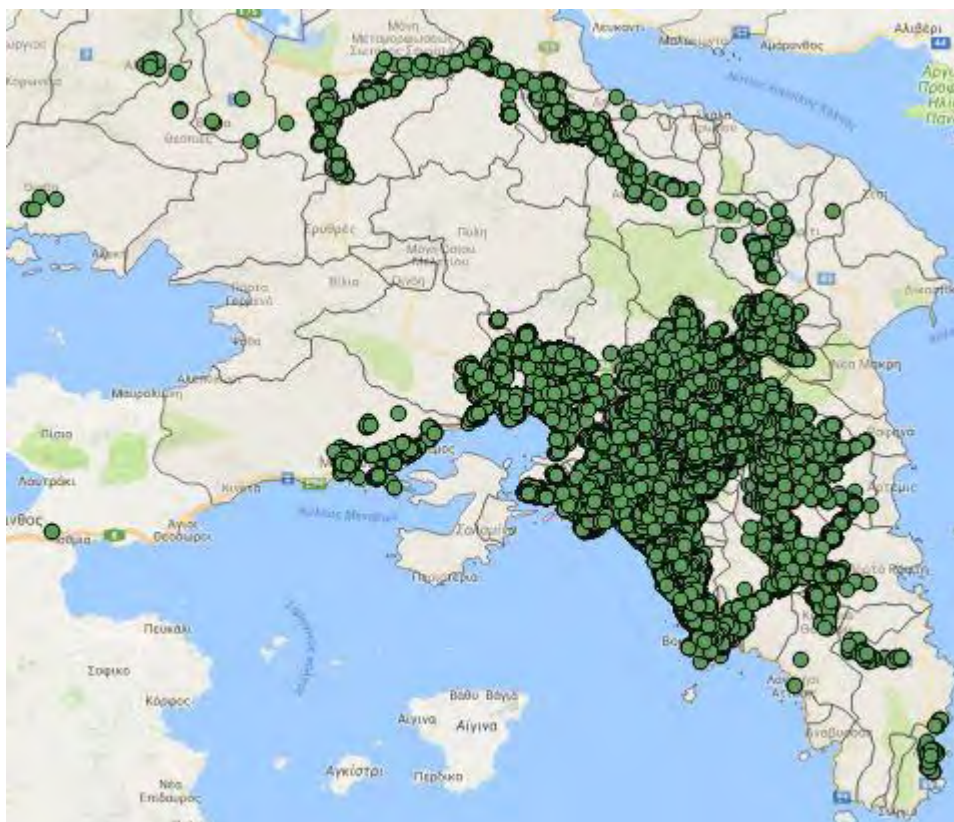
- ‘BA’ (bad address), όταν πρόκειται για λάθος διεύθυνση,
- ‘CA’ (closed on arrival), συνήθως για καταστήματα και γενικά επιχειρήσεις τις οποίες ο διανομέας βρήκε κλειστές την ώρα που πραγματοποίησε τη στάση για παράδοση
- ‘CM’ (customer moved), όταν ο πελάτης/αποδέκτης έχει μετακινηθεί από την καταχωρημένη διεύθυνση παράδοσης,
- ‘DD’ (delivery damage), όταν πραγματοποιείται παράδοση κατά την οποία διαπιστώνεται φθορά στη συσκευασία των προς παράδοση δεμάτων,
- ‘HN’ (hand-over), όταν πρόκειται για μεταφόρτωση, όπως και στην αντίστοιχη τιμή της στήλης *PuD Type*,
- ‘ND’ (not delivered), όταν απλά δηλώνεται ότι η παράδοση δεν πραγματοποιήθηκε,
- ‘NH’ (not home), όταν ο πελάτης/παραλήπτης δεν βρίσκεται στην οικία του την ώρα της στάσης για παράδοση, και τέλος
- ‘OK’, όταν η παράδοση πραγματοποιείται κανονικά.

Η στήλη *Stop Code* ακολουθεί αρίθμηση με αύξουσα σειρά εντός της ημέρας και του εκάστοτε δρομολογίου για καθέναν από τους τρεις τύπους στάσεων (AD, DL, HN) όπως αναφέρονται παραπάνω.

Τέλος παρέχεται πληροφορία για την επιλεγμένη από τον πελάτη υπηρεσία χρόνου παράδοσης της κάθε παραγγελίας και τον τρόπο χρέωσης, με τη μορφή κωδικών (στήλες *Prod Grp, Prod Code*). Η λίστα με τους κωδικούς προϊόντων του δικτύου DHL χορηγήθηκε μαζί με τα δεδομένα από την εταιρεία.

Σε κάθε δρομολόγιο αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο όχημα. Η λίστα με τα οχήματα των δρομολογίων περιέχεται στο αρχείο excel το οποίο επίσης χορηγήθηκε από την DHL.

Τα οχήματα της εταιρείας πραγματοποίησαν συνολικά 64.998 στάσεις για παράδοση δεμάτων σε χρονική διάρκεια ενός μήνα, καλύπτοντας επί το πλείστον τον αστικό κορμό της Περιφέρειας Αττικής, από τα Μέγαρα και το Θριάσιο Πεδίο στα δυτικά έως τα Μεσόγεια στα ανατολικά και από τα βόρεια προάστια έως τον Πειραιά και τα νότια προάστια. Ένα μικρό ποσοστό των στάσεων (2% του συνόλου) πραγματοποιήθηκε εκτός Αττικής και συγκεκριμένα στο ανατολικό τμήμα της Βοιωτίας, σε βιομηχανικές περιοχές (Σχηματάρι, Οινόφυτα, Θήβα, κ.α.) πλησίον του εθνικού οδικού δικτύου, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2: Σημειακή απεικόνιση των στάσεων που πραγματοποίησαν τα οχήματα της DHL Express για παράδοση δεμάτων κατά τη διάρκεια του Μαρτίου 2017 (QGIS)

Οι παραπάνω στάσεις πραγματοποιήθηκαν σε 1850 διαδρομές (ταξίδια) των οχημάτων της εταιρείας στη διάρκεια του μήνα από 94 διαφορετικά δρομολόγιά της. Τα δρομολόγια αυτά είναι οργανωμένα με τρόπο ώστε να εξυπηρετούν διαφορετικές περιοχές και ταχυδρομικούς κώδικες. Τα 62 από αυτά πραγματοποιούνται τακτικά, σε καθημερινή βάση, και αποτελούν τα δρομολόγια με τις περισσότερες στάσεις για παράδοση δεμάτων (μ.ό. 42 στάσεις ανά ημέρα). Κατά μέσο όρο, στη διάρκεια του Μαρτίου πραγματοποιήθηκαν καθημερινά 2826 στάσεις για παράδοση δεμάτων στους τελικούς καταναλωτές από 80 δρομολόγια της εταιρείας.

Ως βασική προσέγγιση στην επεξεργασία των δεδομένων επιλέχθηκε η δημιουργία πινάκων Προέλευσης - Προορισμού των δεμάτων για κάποια από τα τακτικά δρομολόγια που πραγματοποιήθηκαν μέσα στο μήνα. Ως σημείο προέλευσης των δεμάτων επιλέχθηκε το Κέντρο Διαλογής της DHL Express στα Σπάτα Αττικής, το οποίο αποτελεί αφετηρία για όλα τα δρομολόγια της εταιρίας με προορισμό την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.

Αρχικά υπολογίστηκε το **Συνολικό Φορτίο (Total Load - TL)** των δεμάτων με το οποίο ξεκινά το κάθε όχημα το δρομολόγιό του καθημερινά από την αφετηρία. Στο σημείο αυτό έγινε η παραδοχή ότι καθημερινά το όχημα του εκάστοτε δρομολογίου πραγματοποιεί στάσεις για κάθε ένα από τα δέματα προς παράδοση που έχουν φορτωθεί σε αυτό. Με την παραδοχή αυτή, αθροίστηκαν οι τιμές του βάρους παράδοσης κάθε διακριτής παράδοσης ανά ημέρα δρομολογίου. Στις περιπτώσεις όπου οι στάσεις για μια συγκεκριμένη παράδοση ήταν περισσότερες από μια εντός της ίδιας ημέρας (πχ. λόγω αποτυχημένης πρώτης προσπάθειας) το βάρος της παράδοσης αυτής αθροίστηκε μόνο μια φορά. Στην περίπτωση που η επόμενη προσπάθεια για παράδοση πραγματοποιηθεί την επόμενη ημέρα, το βάρος θα προστεθεί και πάλι στο συνολικό φορτίο ημέρας μια φορά. Η διακριτότητα της κάθε παράδοσης εξασφαλίστηκε με χρήση του κωδικού αναφοράς παράδοσης *awb_booking*, ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε παράδοση. Ο υπολογισμός του αθροίσματος αυτού αποφασίστηκε να γίνει σε Βάση Δεδομένων Oracle για να είναι δυνατή η χρήση σύνθετου ερωτήματος (query). Με τον τρόπο αυτό αποφεύχθηκε να προστεθεί το βάρος μιας παράδοσης πολλαπλές φορές εντός της ίδιας ημέρας και του ίδιου δρομολογίου.

Από το Συνολικό Φορτίο ανά ημέρα προκύπτει ο **Συντελεστής Φόρτωσης (Load Factor – LF)** ανά ημέρα με δεδομένη την **Ικανότητα Φόρτωσης (Load Capacity – LC)** του οχήματος που πραγματοποιεί το κάθε δρομολόγιο (δίδεται από τον κατασκευαστή) σύμφωνα με τον τύπο:

$$LF = TL / LC * 100 (\%)$$

Ο **Μέσος Συντελεστής Φόρτωσης (Mean Load Factor – MLF)** είναι ο μέσος όρος των τιμών του Συντελεστή Φόρτωσης στη διάρκεια του μήνα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε το **φορτίο που παραδόθηκε ανά προορισμό** ανά ημέρα. Η διαίρεση της περιοχής παραδόσεων του κάθε δρομολογίου στους επιμέρους προορισμούς αποδείχθηκε όχι εύκολη διαδικασία. Παρόλο που υπήρχε διαθέσιμη η διεύθυνση παράδοσης με τον ταχυδρομικό κώδικα και την περιοχή για κάθε στάση, τα δεδομένα αυτά κρίθηκαν μη αξιόπιστα καθώς σε δειγματοληπτικό έλεγχο διαπιστώθηκε ότι σε αρκετές περιπτώσεις δεν συμφωνούν με τις συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους και μήκους που παρέχονται για κάθε στάση. Σε κάποιες περιπτώσεις η διεύθυνση παρέπεμπε σε περιοχή αρκετά μακριά από την περιοχή παραδόσεων του κάθε δρομολογίου ενώ αντίστοιχα οι συντεταγμένες του σημείου στάσης βρίσκονταν εντός αυτής της περιοχής. Μια εξήγηση είναι ότι μετά από αλλαγή διεύθυνσης παράδοσης από τον πελάτη (ενδέχεται να δηλώθηκε και κατά τη διάρκεια του δρομολογίου), δεν θα ενημερώθηκε η βάση δεδομένων της εταιρείας για την αλλαγή αυτή με αποτέλεσμα η στάση να καταχωρήθηκε με την παλιά διεύθυνση παράδοσης. Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η χρήση αποκλειστικά των συντεταγμένων των σημείων στάσης για την ταυτοποίηση των προορισμών των δεμάτων. Να υπάρχει δηλαδή για κάθε στάση η

ονομασία της περιοχής στην οποία εμπίπτει το καταγεγραμμένο ζεύγος συντεταγμένων αυτής. Να σημειωθεί ότι στο φύλλο με τα δεδομένα της εταιρείας, παρατηρήθηκε ένα μικρό ποσοστό εγγραφών (περ. 2,7% του συνόλου των στάσεων), οι οποίες δεν έχουν συμπληρωμένα τα πεδία των συντεταγμένων των σημείων στάσης για το γεωγραφικό εντοπισμό. Για τις ανάγκες της εργασίας κρίθηκε αναγκαίος ο αποκλεισμός αυτών των εγγραφών ώστε να προκύψει ένα σύνολο εγγραφών/στάσεων στις οποίες θα προστεθεί το επιπλέον πεδίο με την ονομασία της περιοχής εντός των ορίων της οποίας εμπίπτει το παρεχόμενο ζεύγος συντεταγμένων.

Προς τούτο ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Για την ανεύρεση των περιοχών που ανήκουν οι συντεταγμένες των σημείων στάσης απαιτείται ένας χάρτης των περιοχών ως υπόβαθρο. Αρχικά αναζητήθηκε ένα αρχείο διανυσματικού τύπου (ESRI Shapefile) που να περιέχει πολύγωνα με τους ταχυδρομικούς κώδικες και τις περιοχές (ταχυδρομικές περιοχές) της Αττικής. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποιο ελεύθερο αρχείο, σε μορφή ανοιχτών δεδομένων, που να περιέχει πολύγωνα με τους ταχυδρομικούς κώδικες είτε της Αττικής, είτε της χώρας γενικότερα. Η αναζήτηση κατέληξε στην πηγή ανοικτών γεωχωρικών δεδομένων του κράτους. Πρόκειται για ιστοχώρο που διαθέτει κατάλογο με αρχεία ελεύθερα για κάθε χρήση. Το αρχείο που βρέθηκε είναι διανυσματικού τύπου με τα όρια των Διαμερισμάτων της χώρας όπως χρησιμοποιούνται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή για λόγους απογραφής (geodata.gov.gr, 2017). Από οπτική παρατήρηση και σύγκριση διαπιστώθηκε ότι τα όρια αυτά προσεγγίζουν αρκετά καλά τη διαίρεση σε περιοχές με βάση τον ταχυδρομικό κώδικα που χρησιμοποιεί η εφαρμογή Google Maps.

Το αρχείο με τα όρια των Διαμερισμάτων περιέχει γραμμές, οπότε έπρεπε να δημιουργηθούν από αυτές πολύγωνα και να αποδοθεί σε αυτά η ιδιότητα (attribute) της ονομασίας της περιοχής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS και συγκεκριμένα με τη βοήθεια του ελεύθερου λογισμικού QGIS. Οι γραμμές μετατράπηκαν σε πολύγωνα χρησιμοποιώντας σχετικό εργαλείο (Polygonize) του λογισμικού. Δημιουργήθηκε νέο layer με τα πολύγωνα, πλέον, των διαμερισμάτων της χώρας. Από όλα τα πολύγωνα της χώρας αυτά που χρειάζονταν για την εργασία ήταν αυτά που ανήκουν στην περιοχή της περιφέρειας Αττικής. Χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά πολύγωνο της περιφέρειας Αττικής από αρχείο διανυσματικού τύπου με τα πολύγωνα των περιφερειών της χώρας (geodata.gov.gr, 2017). Όσα πολύγωνα από το επίπεδο των Διαμερισμάτων βρίσκονταν εκτός του πολυγώνου της περιφέρειας Αττικής διαγράφηκαν. Για πρακτικούς λόγους και επειδή στην εργασία δεν εξετάζονται παραδόσεις δεμάτων σε νήσους, διαγράφηκαν, επίσης, τα πολύγωνα όλων των νήσων της περιφέρειας Αττικής.

Στη συνέχεια έπρεπε να αποδοθεί σε κάθε πολύγωνο από τα εναπομείναντα του επιπέδου η ονομασία της περιοχής που ανήκει το Διαμέρισμα. Εξετάστηκαν οι πίνακες ιδιοτήτων (Attribute tables) των διαθέσιμων αρχείων και αποφασίστηκε η πληροφορία αυτή να ληφθεί από το αρχείο με τους Καποδιστριακούς Δήμους και συγκεκριμένα τη στήλη “EDRA” του πίνακα ιδιοτήτων του αρχείου (attribute table). Έπρεπε να δημιουργηθούν σημεία αντιπροσωπευτικά της επιφάνειας κάθε πολυγώνου των Δήμων, τα οποία να περιέχουν την ίδια λίστα ιδιοτήτων με τα πολύγωνα. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκαν τα κεντροειδή των

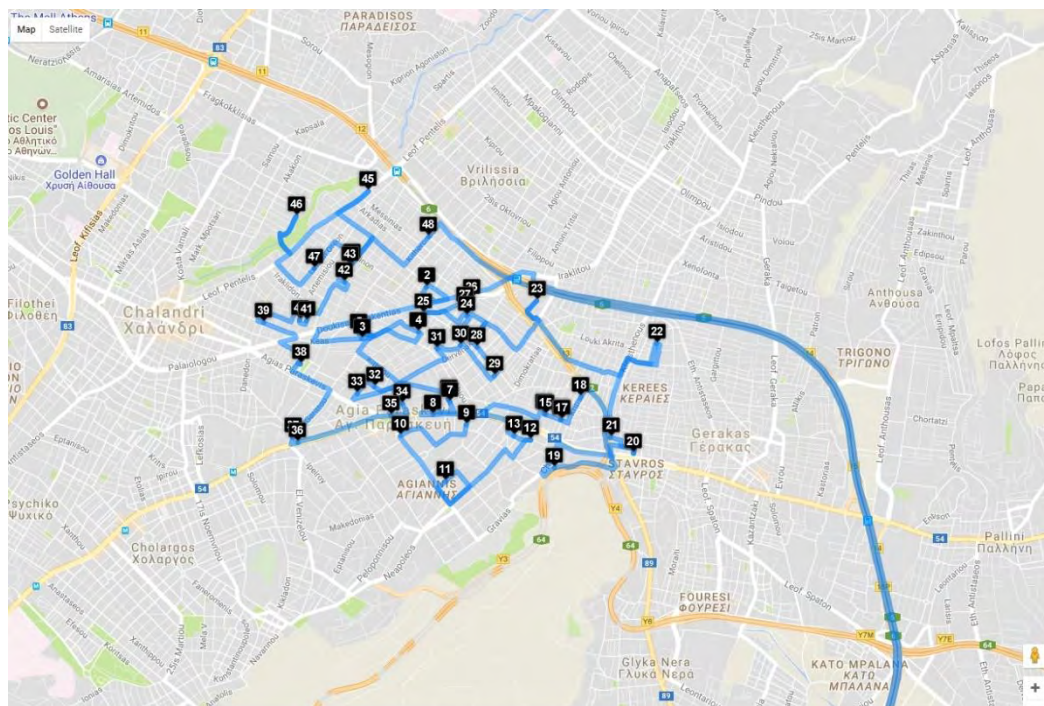
πολυγώνων (εργαλείο: Polygon Centroids) με δημιουργία νέου επιπέδου σημείων (point layer).

Στα δύο επίπεδα (διαμερισμάτων και κεντροειδών) έγινε χωρική συνένωση (spatial join) ιδιοτήτων με βάση την τοποθεσία (εργαλείο: Join attributes by location). Το αποτέλεσμα είναι ένα νέο επίπεδο με τα πολύγωνα των διαμερισμάτων, στα οποία έχουν αποδοθεί και οι ιδιότητες από το επίπεδο των Καποδιστριακών Δήμων. Το υπόβαθρο με τις περιοχές της Αττικής ολοκληρώθηκε.

Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή στο έργο των σημείων στάσης, ως επίπεδο, από το λογιστικό φύλλο δεδομένων (εργαλείο: Add Delimited Text Layer). Με χωρική συνένωση του επιπέδου του υποβάθρου και του επιπέδου με τα σημεία στάσης προέκυψε το ζητούμενο επίπεδο, δηλαδή αυτό που έχει μια επιπλέον στήλη με την πληροφορία για την περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η κάθε στάση. Η στήλη αυτή αντιγράφηκε στο λογιστικό φύλλο με τα δεδομένα. Πλέον ήταν διαθέσιμοι, με αξιοπιστία, οι προορισμοί των δεμάτων.

Στο πλήρες, πλέον, αρχείο excel δημιουργήθηκε Συγκεντρωτικός Πίνακας που υπολογίζει το άθροισμα του βάρους ανά ημέρα και ανά περιοχή για τις στάσεις που αφορούν παράδοση που πραγματοποιήθηκε είτε στον τελικό παραλήπτη, είτε σε άλλο μέσο (τιμές *PuD Type*: 'DL' και 'HN' αντίστοιχα). Προέκυψε, λοιπόν, το φορτίο που παραδόθηκε ανά προορισμό ανά ημέρα. Το άθροισμα των φορτίων των επιμέρους προορισμών κάθε ημέρας αποτελεί το **Συνολικό Φορτίο που παραδόθηκε** στη διάρκεια του δρομολογίου. Αυτό αν αφαιρεθεί από το Συνολικό Φορτίο στην αφετηρία προκύπτει το **Φορτίο που δεν παραδόθηκε** και κατά συνέπεια επιστρέφει στο Κέντρο Διαλογής στο τέλος της ημέρας για επαναπροσδιορισμό του χρόνου και τρόπου παράδοσης.

Μια πληροφορία η οποία απουσιάζει είναι τα χιλιόμετρα που διένυσαν τα οχήματα της εταιρείας για την πραγματοποίηση των δρομολογίων κάθε ημέρας του Μαρτίου. Μια εκτίμηση των διανυθέντων χιλιομέτρων ανά ημέρα και δρομολόγιο μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας μια web υπηρεσία δρομολόγησης (routing) που χρησιμοποιεί τα δεδομένα της εφαρμογής Google Maps (OptiMap, 2017). Η παραπάνω web υπηρεσία επιτρέπει την εισαγωγή πολλαπλών ζευγών συντεταγμένων υπολογίζοντας μεταξύ άλλων τη **γρηγορότερη διαδρομή μετ'επιστροφής (Fastest Roundtrip)** (διαδρομή αφετηρία – τελευταίο σημείο στάσης – αφετηρία). Ενδεικτικά, η εκτίμηση της διαδρομής για ένα δρομολόγιο της 1^{ης} Μαρτίου, απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 3: Δρομολόγηση με κριτήριο τη γρηγορότερη διαδρομή μετ'επιστροφής για το δρομολόγιο NE01, την 1η Μαρτίου 2017 (Optimap, 2017)

Παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικά ο πίνακας με τα υπολογισμένα πεδία, όπως αναπτύχθηκαν παραπάνω, για ένα τακτικό δρομολόγιο της εταιρείας.

Προέλευση	Ημερομηνία	Συνολικό Φορτίο (kg)	Συντελεστής Φόρτωσης (LF)	Φορτίο που παραδόθηκε ανά Προορισμό					Συν.Φορτίο που παραδόθηκε	Φορτίο που ΔΕΝ παραδόθηκε	Fastest roundtrip (km)
				Αγία Παρασκευή	Χαλάνδρι	Γέρακας	Γλυκά Νερά	Μαρούσι			
Σπάτα	20170301	168.146	0.136	129.03	32.516	5.04			166.586	1.560	73
	20170302	217.860	0.176	123.04	71.17	11.55			205.76	12.100	76
	20170303	142.655	0.115	90.915	35.74	15			141.655	1.000	76
	20170306	211.371	0.170	138.022	31.599	17.55			187.171	24.200	70
	20170307	194.210	0.157	138.04	52	0.1			190.14	4.070	77
	20170308	615.684	0.497	605.959	7.245	0.38			613.584	2.100	79
	20170309	105.080	0.085	77.57	14.09	0.26			91.92	13.160	73
	20170310	102.882	0.083	62.23	31.002	0.27			93.502	9.380	88
	20170313	64.958	0.052	36.178	24.9	1.83			62.908	2.050	68
	20170314	155.229	0.125	75.719	70.67	4.74			151.129	4.100	71
	20170315	191.740	0.155	92.25	90.53	3.5			186.28	5.460	79
	20170316	174.156	0.140	63.416	100.01	7.31			170.736	3.420	68
	20170317	907.530	0.732	822.28	65.31	19.42	0.52		907.53	0.000	73
	20170320	159.867	0.129	128.05	26.37	1.52			155.94	3.927	67
	20170321	152.767	0.123	44	80.667	13.55			138.217	14.550	70
	20170322	209.721	0.169	165.351	36.08	2.94		3.75	208.121	1.600	74
	20170323	88.891	0.072	43.37	38.84	0.88			83.09	5.801	65
	20170324	142.442	0.115	70.26	69.982				140.242	2.200	66
	20170327	90.510	0.073	63.96	15.57	8.76			88.29	2.220	61
	20170328	125.580	0.101	44.42	55.57	12.45			112.44	13.140	81
	20170329	186.219	0.150	128.232	46.467	6			180.699	5.520	69
	20170330	199.450	0.161	121.5	65.92	11.39			198.81	0.640	70
	20170331	105.200	0.085	56.99	30.24	10.43			97.66	7.540	68
Γενικό Άθροισμα		4712.148	-	3320.782	1092.488	154.87	0.52	3.75	4572.41	-	1662

Route	NE01
Used Vehicle	Mercedes Sprinter
Load capacity (kg)	1240
Load Factor =	(Total load)/(Load capacity)
Mean LF =	0.165

Εικόνα 4: Επεξεργασία δεδομένων παράδοσης ενός δρομολογίου (NE01), για κάθε ημέρα του Μαρτίου. Υπολογισμός Μέσου Συντελεστή Φόρτωσης. (Ιδία επεξεργασία)

Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται οι μηνιαίες τιμές του συντελεστή φόρτωσης για 46 από τα 94 δρομολόγια της εταιρείας για τα οποία δόθηκε πληροφορία σχετικά με τον τύπο και το μοντέλο του οχήματος που τα πραγματοποιεί. Η αντίστοιχη ικανότητα φόρτωσης του κάθε οχήματος λήφθηκε από τις ιστοσελίδες των κατασκευαστών.



Εικόνα 5: Γράφημα με τις τιμές του συντελεστή φόρτωσης των δρομολογίων της DHL Express για το μήνα Μάρτιο (Ιδία επεξεργασία)

Από το γράφημα φαίνεται ότι οι τιμές του συντελεστή φόρτωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ παρουσιάζουν μια μεταβλητότητα ανάμεσα στα δρομολόγια της εταιρείας. Η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο δρομολόγιο SE24 που εξυπηρετεί καθημερινά περιοχές όπως Γαλάτσι, Ψυχικό, Χαλάνδρι, Μαρούσι κ.ά., με $MLF = 10,7\%$. Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε στο δρομολόγιο PE09 που εξυπηρετεί την περιοχή του Πειραιά, με $MLF = 32,6\%$. Η μέση τιμή για τα 46 δρομολόγια της εταιρείας, για το μήνα Μάρτιο, διαμορφώθηκε σε $MLF_{46} = 18,4\%$.

Προχωρώντας στην ανάλυση των περιοχών παράδοσης των δρομολογίων, να σημειωθεί ότι οι περισσότερες παραδόσεις σημειώθηκαν στην περιοχή της Αθήνας (10564 στάσεις), του Αμαρουσίου (3315 στάσεις) και του Πειραιά (2954 στάσεις). Παρακάτω φαίνονται οι δέκα περιοχές με τις περισσότερες παραδόσεις που πραγματοποίησε η εταιρεία για το μήνα Μάρτιο.

Πίνακας 4: Περιοχές με τις περισσότερες παραδόσεις το μήνα Μάρτιο 2017 (Ιδία επεξεργασία)

Περιοχή (Δήμος)	Παραδόσεις(% του συνόλου)
ΑΘΗΝΑ	16.7%
ΜΑΡΟΥΣΙ	5.2%
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	4.7%
ΚΗΦΙΣΙΑ	4.4%
ΓΛΥΦΑΔΑ	4.1%
ΧΑΛΑΝΔΡΙ	3.8%
ΚΑΛΛΙΘΕΑ	2.7%
ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΣ	2.4%
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	2.3%
ΠΑΛΑΙΟ ΦΑΛΗΡΟ	2.1%
λοιπές περιοχές	51.5%

4.2. Οι «έξυπνες θυρίδες» της DHL (Swip-box)

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, εκτός από τα δεδομένα παράδοσης δεμάτων, η εταιρεία χορήγησε επιπλέον υλικό με πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή του μέτρου των έξυπνων θυρίδων (DHL Express, 2016). Η εταιρεία για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της ανερχόμενης αγοράς ηλεκτρονικού εμπορίου και να προσφέρει στους πελάτες της μια απλή λύση για την παραλαβή και αποστολή δεμάτων, δημιουργεί, παγκοσμίως, νέα σημεία εξυπηρέτησης σε συνεργασία με μεγάλες εταιρείες λιανικής πώλησης προϊόντων. Τα συνεργατικά σχέδια περιλαμβάνουν χώρους για εγκατάσταση «έξυπνων θυρίδων» δεμάτων της DHL Express, καθώς και τη δημιουργία ενός δικτύου σημείων παράδοσης και παραλαβής της DHL σε καταστήματα λιανικής.

Στη φάση έναρξης, οι πελάτες των έξυπνων θυρίδων της DHL θα μπορούν να λαμβάνουν δέματα, τόσο διεθνούς όσο και εγχώριας προέλευσης, που αποστέλλονται μέσω της DHL Express. Στο επόμενο στάδιο, θα είναι δυνατή και η αποστολή δεμάτων μέσω των θυρίδων. Στα σημεία παράδοσης/παραλαβής της DHL, και οι δύο επιλογές θα είναι διαθέσιμες. Η κατασκευή και εγκατάσταση των έξυπνων θυρίδων της DHL Express πραγματοποιείται από την εταιρεία κατασκευαστής SwipBox στη Δανία. Τα συστήματα αυτά έχουν ήδη εγκατασταθεί σε 23 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σε 6 Χώρες της Αμερικανικής Ηπείρου και σε 6 Ασιατικές χώρες.

Το τμήμα εξυπηρέτησης της εταιρείας χειρίζεται σήμερα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων σχετικά με τις παραδόσεις που δεν ολοκληρώθηκαν με επιτυχία. Αυτό προκαλεί προβλήματα στον προγραμματισμό των πόρων για την καθημερινή εργασία του τμήματος εξυπηρέτησης

και προκαλεί επιπλέον εργασία στο τμήμα επιχειρήσεων της εταιρείας. Λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση των εισερχόμενων αποστολών στο δίκτυό της, η εταιρεία θεωρεί ότι το πρόβλημα με τις αποστολές που δεν έχουν παραδοθεί θα επηρεάσει αρνητικά και τον πελάτη. Κύριες αιτίες, σύμφωνα με τους ιθύνοντες της εταιρείας, που οδηγούν στην αποτυχία μιας παράδοσης είναι οι εξής:

- αδύνατη πρόσβαση στη διεύθυνση του παραλήπτη λόγω έλλειψης αναγνωριστικού στην είσοδο
- αδύνατη εύρεση του παραλήπτη σε τηλεφωνική κλήση από τον ταχυμεταφορέα
- απουσία του παραλήπτη κατά την απόπειρα παράδοσης
- λανθασμένη διεύθυνση παράδοσης από τον αποστολέα

Με την παραπάνω πρωτοβουλία, η εταιρεία αποσκοπεί στην εξοικονόμηση χρόνου και λειτουργικών εξόδων αλλά και στη βελτίωση του βαθμού ικανοποίησης των πελατών από τις υπηρεσίες της.

Λίγα λόγια για τα χαρακτηριστικά και τη βασική λειτουργία των θυρίδων. Στις παραγγελίες που διαχειρίζεται η DHL, ο πελάτης, αφού παραγγείλει τα προϊόντα του από το ηλεκτρονικό κατάστημα, δέχεται ενημερωτικό μήνυμα SMS ή email, έχοντας τη δυνατότητα να επιλέξει να παραλάβει την παραγγελία του ο ίδιος από το σταθμό έξυπνων θυρίδων που τον εξυπηρετεί, οποιαδήποτε ώρα της ημέρας ακόμη και το Σαββατοκύριακο. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται επιπροσθέτως και εναλλακτικά στη συνήθη δυνατότητα παράδοσης στο σπίτι η σε όποια άλλη διεύθυνση έχει επιλέξει ο παραλήπτης και είναι στην απόλυτη ευχέρεια επιλογής του παραλήπτη προς δική του διευκόλυνση. Η παραλαβή γίνεται με τη χρήση ενός μοναδικού 8ψήφιου κωδικού που λαμβάνει ο πελάτης με SMS και καλείται να καταχωρήσει στην οθόνη του συστήματος, γεγονός που κρίνει τη διαδικασία απολύτως ασφαλή. Τέλος, αφού ο πελάτης καταχωρήσει τα στοιχεία του, όνομα και επίθετο, καλείται να υπογράψει στην οθόνη για να παραλάβει το δέμα του. Η καταχώρηση των παραπάνω καθώς επίσης και η ηλεκτρονική υπογραφή είναι υποχρεωτικά και χωρίς αυτά δεν ανοίγει η θυρίδα. Ο πελάτης μπορεί να προσέλθει στην θυρίδα εντός 8 ημερών από την ημερομηνία τοποθέτησης του δέματος σε αυτή.

Ένας τυπικός σταθμός θυρίδων της εταιρείας έχει συνολικές διαστάσεις 210 x 100 x 62 εκ. και περιλαμβάνει 21 θυρίδες.



Εικόνα 6: Τυπική μορφή και διαστάσεις σταθμού "έξυπνων θυρίδων" της εταιρείας (DHL Express, 2016)

Στις θυρίδες αυτές μπορεί να αποθηκευτεί οποιοδήποτε δέμα με διαστάσεις μικρότερες ή ίσες των 40 x 40 x 60 εκ. και βάρος έως 20 κιλά (DHL Express, 2016).

Στην Ελλάδα η DHL σε συνεργασία με την εταιρεία πώλησης πετρελαιοειδών Coral A.E., έχει ξεκινήσει από το 2016 την εγκατάσταση των πρώτων σταθμών «έξυπνων θυρίδων» σε επιλεγμένα πρατήρια υγρών καυσίμων. Πρόκειται για συστήματα θυρίδων υψηλής ασφάλειας, μέσα στα οποία η DHL αποθέτει τα προϊόντα που ο πελάτης έχει παραγγείλει, κατόπιν προηγούμενης συνεννόησης για το σημείο παραλαβής (DHL, 2017).

Μέχρι στιγμής έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν δέκα σταθμοί στην Αθήνα και ένας στη Θεσσαλονίκη. Η εφαρμογή βρίσκεται σε αρχικό στάδιο με μικρή ανάπτυξη του δικτύου και ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό χρησιμοποίησης (10% - 15% της ικανότητάς τους, πηγή DHL Express). Οι τοποθεσίες των σταθμών που είναι εγκατεστημένοι στην Αθήνα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7: Τοποθεσίες των "έξυπνων θυρίδων" της εταιρείας στην Αθήνα (DHL Express, 2016)

Δεν χορηγήθηκαν δεδομένα σχετικά με τις παραδόσεις δεμάτων στις υπάρχουσες θυρίδες του δικτύου της εταιρείας, παρά μόνο το πλήθος αυτών για τους τρεις πρώτους μήνες του 2017, όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Για το λόγο αυτό δεν κατέστη δυνατό να συμπεριληφθούν οι παραδόσεις αυτές στα σενάρια προσομοίωσης που θα αναλυθούν αργότερα.

Πίνακας 5: Συνολικές παραδόσεις στις "έξυπνες θυρίδες" για τους τρεις πρώτους μήνες του 2017 (DHL Express)

Σημείο στο χάρτη	Περιοχή	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
A	Χαλάνδρι (Λ.Κηφισίας)	62	71	74
B	Χαλάνδρι (Λ.Πεντέλης)	64	53	75
C	Νέα Ερυθραία	100	97	139
D	Γαλάτσι	48	71	86
E	Γλυφάδα	35	24	60
F	Ηλιούπολη	22	28	22
G	Καλλιθέα	40	32	67
H	Παλαιό Φάληρο	19	24	37
I	Πειραιάς	23	23	19
J	Ψυχικό	53	47	48
Συνολικές παραδόσεις ανά μήνα		466	470	627

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, ο σταθμός στη Νέα Ερυθραία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κινητικότητα (112 παραδόσεις κ.μ.ό. κάθε μήνα). Το Χαλάνδρι είναι η μόνη περιοχή που εξυπηρετείται ήδη από δυο σταθμούς θυρίδων με αριθμό παραδόσεων που αθροιστικά το

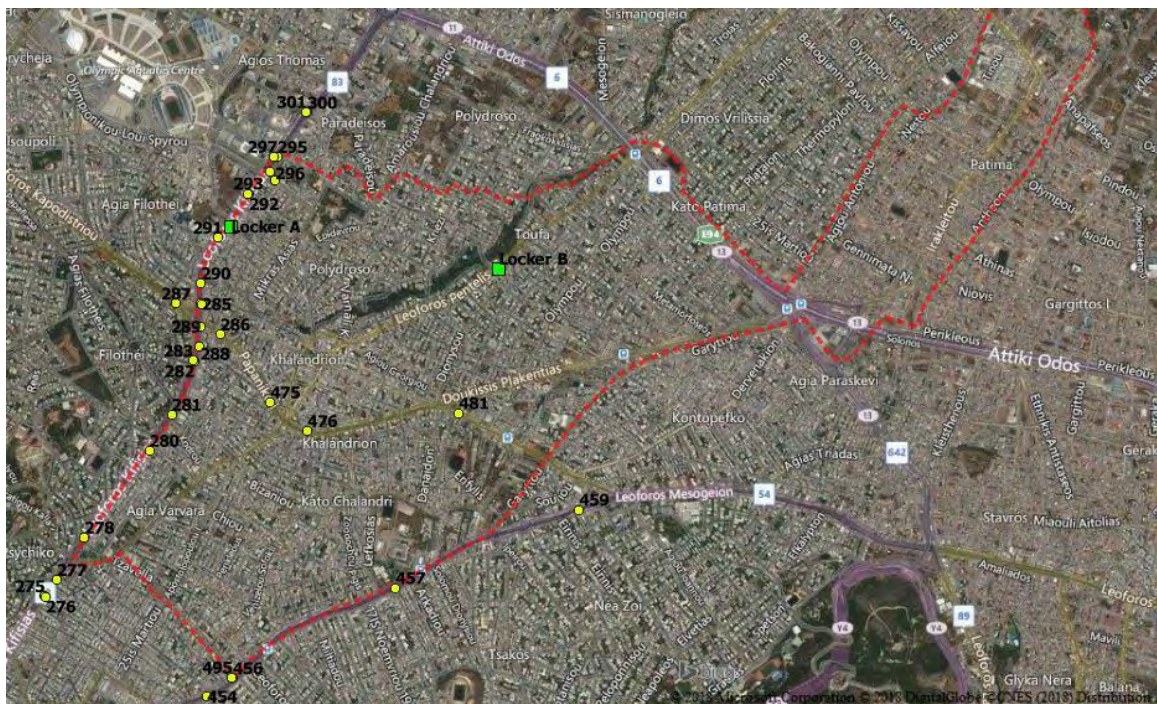
καθιστούν την περιοχή με τις περισσότερες παραδόσεις σε θυρίδες (133 παραδόσεις κ.μ.ό. κάθε μήνα).

Τα στοιχεία των παραδόσεων στις θυρίδες παρατίθενται για στατιστικούς λόγους αλλά και επειδή συνυπολογίστηκαν για την επιλογή της περιοχής μελέτης, που περιγράφεται στη συνέχεια.

4.3. Η περιοχή μελέτης

Από τα παραπάνω δεδομένα που παρατέθηκαν, προκύπτει ότι η περιοχή του Χαλανδρίου είναι η έκτη κατά σειρά περιοχή με τις περισσότερες παραδόσεις δεμάτων στο σπίτι, ενώ εκεί παρατηρούνται και οι περισσότερες παραδόσεις σε θυρίδες. Για το τελευταίο, βέβαια, βοηθά το γεγονός ότι το Χαλάνδρι είναι η μόνη περιοχή που εξυπηρετείται από δυο σταθμούς θυρίδων όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Για τους παραπάνω λόγους, το Χαλάνδρι επιλέχθηκε ως η περιοχή μελέτης για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

Οι δυο σταθμοί «έξυπνων θυρίδων» έχουν εγκατασταθεί σε πρατήρια υγρών καυσίμων που βρίσκονται σε κεντρικούς οδικούς άξονες της περιοχής του Χαλανδρίου. Ο ένας σταθμός (Locker A) βρίσκεται επί της Λεωφόρου Κηφισίας 356, ενώ ο άλλος (Locker B) επί της Λεωφόρου Πεντέλης 76.



Εικόνα 8: Η περιοχή μελέτης με τις θέσεις των "έξυπνων θυρίδων" (πράσινο) και των σταθμών μέτρησης κυκλοφοριακών στοιχείων (κίτρινο) (QGIS)

Η περιοχή οριοθετείται, μεταξύ άλλων, από μεγάλους οδικούς άξονες, όπως η Λ.Κηφισίας στα δυτικά, η Λ.Μεσογείων στα νότια, η Δουκίσσης Πλακεντίας στα ανατολικά και η Αττική Οδός στα βορειοανατολικά.

Πίνακας 6: Στάσεις για παράδοση ανά δρομολόγιο και ημέρα του μήνα (Ιδία επεξεργασία)

Date	Δρομολόγια												Sum
	NE 01	NE 05	NE 06	NE 10	NE 11	NE 27	NOX 4	NOX 5	SE 21	SE 24	SE 25	SUX 5	
1/3	15			37	26	8			6		2		94
2/3	24		1	40	28	4			2		1		100
3/3	10			38	26	4			4		1		83
6/3	9			43	23	4			3				82
7/3	11	1		54	27	7			10		1		111
8/3	10			37	40	9			6	8	1		111
9/3	13			32	16	6			3				70
10/3	21			42	27	5			4		2		101
13/3	18			47	25	5			1		2		98
14/3	16			43	33	9			10		1		112
15/3	19			40	29	10			5				103
16/3	11			30	30	7			7		1		86
17/3	14			46	31	8			7				106
20/3	10		1	48	25	5			6		1		96
21/3	15			34	26	6			6	1	2		90
22/3	17			41	27	9		3	4			1	102
23/3	18			40	23	2			7				90
24/3	13			31	21	9	2		6		1		83
27/3	13			43	32	7			10		2		107
28/3	13	1	1	36	34	5			8	1	1		100
29/3	23	1	1	42	23	11			6	1			108
30/3	17			39	37	10			6		2		111
31/3	19			47	29	6			3	1			105
Sum	34 9	3	4	93 0	63 8	15 6	2	3	13 0	12	21	1	2249

Για την παραγωγή του παραπάνω πίνακα χρησιμοποιήθηκε φίλτρο στα δεδομένα για τον αποκλεισμό των δεμάτων με βάρος που υπερβαίνει τα 20 κιλά. Το φίλτρο χρησιμοποιήθηκε για να επιλεγθούν τα δέματα τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές για αποθήκευση στις έξυπνες θυρίδες. Τα εναπομείναντα δεδομένα (δέματα βάρους < 20kg) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στα δυο σενάρια προσομοίωσης που θα περιγραφούν αργότερα. Όπως

προκύπτει από τον πίνακα, δώδεκα δρομολόγια παρέδωσαν δέματα στην περιοχή του Χαλανδρίου κατά τη διάρκεια του Μαρτίου, από τα οποία τα 5 είναι τακτικά και πραγματοποιούν αρκετές στάσεις στην περιοχή καθημερινά. Συνολικά, στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν καθημερινά 98 στάσεις, κατά μέσο όρο, για παράδοση δεμάτων.

Επισημασμένες είναι πέντε ημερομηνίες του Μαρτίου κατά τις οποίες παρατηρήθηκαν πέντε δρομολόγια στην περιοχή του Χαλανδρίου, αριθμός που είναι ο μικρότερος που παρατηρήθηκε στη διάρκεια του μήνα. Από αυτές τις ημερομηνίες επιλέχθηκε η Πέμπτη 9 Μαρτίου καθώς πρόκειται για την ημέρα με τις λιγότερες στάσεις (70) για παράδοση δεμάτων στην περιοχή.

4.4. Κυκλοφοριακά δεδομένα

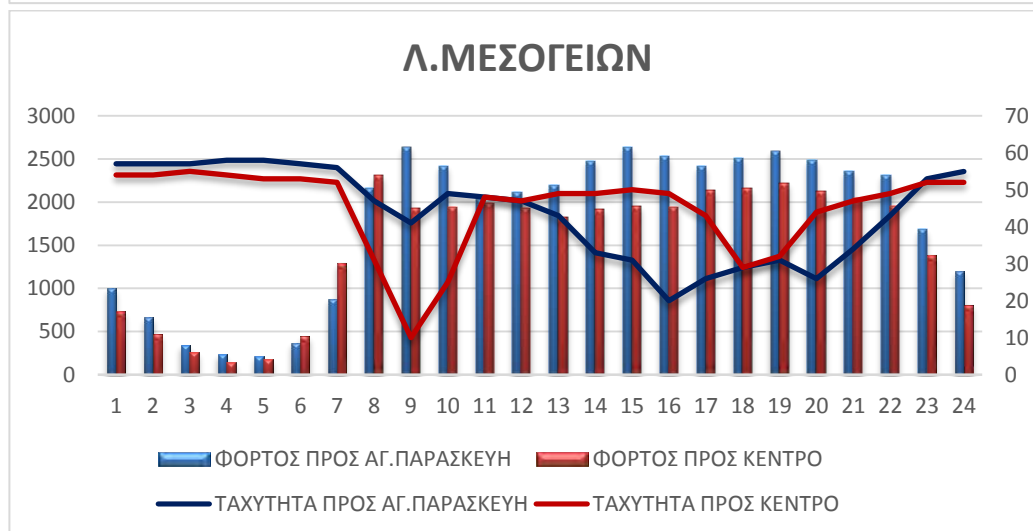
Τα διαθέσιμα κυκλοφοριακά στοιχεία που χορηγήθηκαν από το Κέντρο Διαχείρισης και Μελετών Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής αφορούν ωριαίες μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου (οχήματα/ώρα), μέσης ταχύτητας και κατάληψης για τις 24 ώρες της Πέμπτης 9 Μαρτίου 2017, από 32 σταθμούς μέτρησης που είναι εγκατεστημένοι επί χαρακτηριστικών μεγάλων οδικών αξόνων της περιοχής μελέτης. Οι θέσεις των σταθμών αυτών φαίνονται στην παραπάνω εικόνα και η κατανομή τους στο δίκτυο της περιοχής, στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7: Πλήθος σταθμών μέτρησης ανά οδό της περιοχής μελέτης

Οδός	Πλήθος σταθμών μέτρησης
Λ.Κηφισίας	22
Λ.Μεσογείων	5
Καποδιστρίου/Παπανικολή/Παλαιολόγου/Δουκ. Πλακεντίας	4
Αγίας Παρασκευής	1

Οι περισσότεροι σταθμοί συγκεντρώνονται στη Λ.Κηφισίας που είναι και ο άξονας με τους υψηλότερους φόρτους στην περιοχή. Στους σταθμούς της Λ.Κηφισίας συμπεριλαμβάνονται και αυτοί που βρίσκονται στις ράμπες εισόδου/εξόδου.

Οι ωριαίοι φόρτοι και οι μέσες ωριαίες ταχύτητες που μετρήθηκαν τη συγκεκριμένη μέρα για τους 3 από τους 4 άξονες, όπου λήφθηκαν μετρήσεις, φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα. Συγκεκριμένα, για τη Λ.Κηφισίας λήφθηκαν οι μετρήσεις των σταθμών 280 και 281, για τη Λ.Μεσογείων οι μετρήσεις των 495, 456 και 454, ενώ για την Παλαιολόγου οι μετρήσεις των σταθμών 475 και 476.



Εικόνα 9: Ωριαίοι φόρτοι και μέσες ωριαίες ταχύτητες από επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης σε τρεις οδικούς άξονες της περιοχής μελέτης, την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017 (Ιδία Επεξεργασία)

Τα υπόλοιπα κυκλοφοριακά δεδομένα που αναζητήθηκαν και χορηγήθηκαν αφορούν τη φωτεινή σηματοδότηση σε επιλεγμένους κόμβους της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, χορηγήθηκαν από το Τμήμα Συντήρησης Φωτεινής Σηματοδότησης, Ηλεκτροφωτισμού & Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων της Διεύθυνσης Διαχείρισης Μητροπολιτικών Υποδομών της Περιφέρειας Αττικής τα τροφοδοτημένα στους ρυθμιστές κυκλοφορίας προγράμματα λειτουργίας των φωτεινών σηματοδοτών για τους παρακάτω κόμβους:

- Καποδιστρίου – Λ. Κηφισίας – Παλαιολόγου/Παπανικολή (Α.Κ. 1108)
- Παλαιολόγου/Παπανικολή – Εθν. Αντιστάσεως – 25ης Μαρτίου – Ανδρ. Παπανδρέου (Α.Κ. 1110)
- Λ. Πεντέλης – Κολοκοτρώνη – Ανδρ. Παπανδρέου - Αγ. Γεωργίου (πλ. Δούρου) (Α.Κ. 3207)
- Παλαιολόγου/Παπανικολή Δουκ. Πλακεντίας – Αγ. Παρασκευής (Α.Κ. 1113)
- Λ. Μεσογείων – Χαλανδρίου (Α.Κ. 3822)
- Λ. Μεσογείων – Τζαβέλλα (Α.Κ. 3813)
- Εθν. Αντιστάσεως – Τζαβέλλα (Α.Κ. 3341)
- Λ. Κηφισίας – Εθν. Αντιστάσεως (Α.Κ. 4007)

Οι παραπάνω κόμβοι αποτελούν τους κόμβους του δικτύου του μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας, το οποίο περιγράφεται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

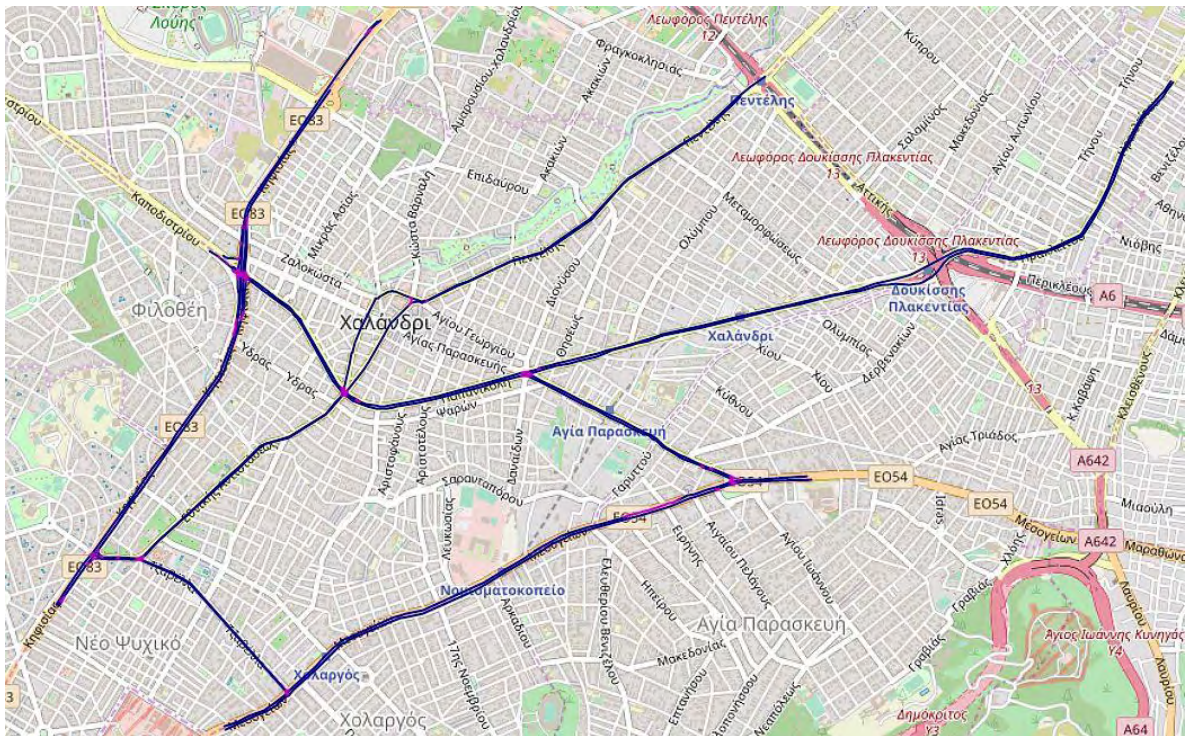
Κεφάλαιο 5: Ανάπτυξη μοντέλου διανομών στην περιοχή του Χαλανδρίου

5.1. Διαμόρφωση οδικού δικτύου μοντέλου

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό μικροσκοπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας Vissim, της εταιρείας PTV, για την προσομοίωση των ροών των εμπορευματικών μεταφορών αλλά και των κυκλοφοριακών συνθηκών ως σύνολο στην περιοχή μελέτης. Αρχικά, προσομοιώθηκε και αναλύθηκε η τρέχουσα λειτουργία των παραδόσεων στην περιοχή (παραδόσεις στον τελικό καταναλωτή), και κατόπιν η υποθετική (παραδόσεις στις έξυπνες θυρίδες). Για το λόγο αυτό, η δημιουργία του μοντέλου στο παραπάνω λογισμικό για το δίκτυο της περιοχής μελέτης αποδείχθηκε ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Η επιλογή των οδικών αξόνων που αποτέλεσαν το οδικό δίκτυο του μοντέλου ακολούθησε τους περιορισμούς των δεδομένων που συλλέχθηκαν αλλά και του ίδιου του λογισμικού. Τα διαθέσιμα κυκλοφοριακά στοιχεία αφορούσαν θέσεις σε χαρακτηριστικούς κύριους άξονες της περιοχής (Λ.Κηφισίας, Λ.Μεσογείων, Παλαιολόγου, Αγ.Παρασκευής). Επιλέχθηκαν κάποιοι επιπλέον άξονες (Λ.Πεντέλης, Εθνικής Αντιστάσεως, Τζαβέλλα), ώστε το τελικό

δίκτυο του μοντέλου να είναι συνεχές και κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικό του πραγματικού δικτύου της περιοχής.



Εικόνα 10: Οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης στο μοντέλο του λογισμικού προσομοίωσης (PTV Vissim)

Ο σχεδιασμός ενός ρεαλιστικού μοντέλου στο Vissim απαιτεί αφενός αξιόπιστα κυκλοφοριακά δεδομένα και αφετέρου δεδομένα σχετικά με το οδικό δίκτυο της περιοχής. Για το σχεδιασμό του οδικού δικτύου συλλέχθηκαν πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις και τις ιδιότητες των αξόνων του, με τους παρακάτω τρόπους:

- Μέσω της εφαρμογής Google Earth. Ο αριθμός των λωρίδων ανά κατεύθυνση, σε κάθε τμήμα οδικού άξονα λήφθηκε με οπτική αναγνώριση, ενώ μετρήθηκαν αποστάσεις ενδιάμεσων τμημάτων και πλάτος λωρίδων με την αντίστοιχη λειτουργία.
- Από CAD σχέδια που χορηγήθηκαν από την Περιφέρεια Αττικής. Κάθε κόμβος από τους 8 του δικτύου, με τις επιτρεπόμενες στρέφουσες κινήσεις και τη θέση των φωτεινών σηματοδοτών, διαμορφώθηκε με τη βοήθεια της αντίστοιχης οριζοντιογραφίας που χορηγήθηκε.

Ορισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αξόνων, όπως το μήκος και ο αριθμός των λωρίδων ανά κατεύθυνση, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

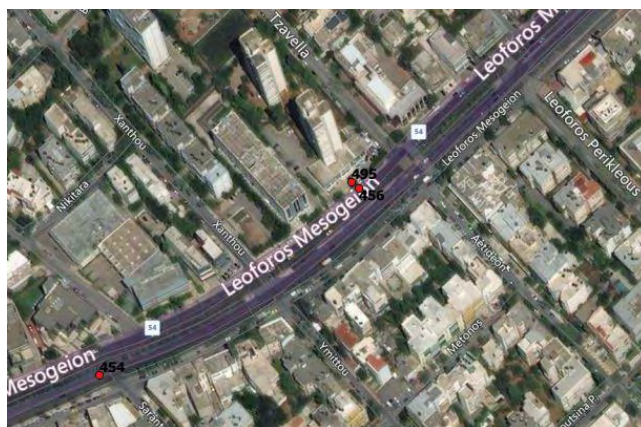
Πίνακας 8: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών αξόνων του δικτύου του μοντέλου (Ιδία επεξεργασία)

Οδικός άξονας	Μήκος	Λωρίδες ανά κατεύθυνση
Λ.Κηφισίας	3760	3
Λ.Μεσογείων	3580	2+Λεωφ/δα
Λ.Πεντέλης	2350	1
Παλαιολόγου/Δουκ.Πλακεντίας	6350	2
Εθν.Αντιστάσεως	1700	1
Αγ.Παρασκευής/Χαλανδρίου	1270	2
Τζαβέλλα	1100	1
Κολοκοτρώνη/25ης Μαρτίου	740	1 (μια κατεύθυνση)
Α.Παπανδρέου	630	1 (μια κατεύθυνση)

Το οδικό δίκτυο που δημιουργήθηκε ξεπερνά τα 21 χιλιόμετρα μήκους, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα μεγάλο, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς τη μικροσκοπική κλίμακα του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε. Όσον αφορά πεζούς και ποδηλάτες, δεν βρέθηκαν σχετικές πληροφορίες και δεν δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα δίκτυα.

5.2. Εισαγωγή των κυκλοφοριακών δεδομένων

Επόμενο βήμα, μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας των συνδέσμων του δικτύου (links & connectors), ήταν η εισαγωγή των κυκλοφοριακών φόρτων στα σημεία εισόδου των οχημάτων στο δίκτυο (vehicle inputs). Χρησιμοποιήθηκαν οι ωριαίοι φόρτοι που ήταν διαθέσιμοι από κοντινές θέσεις μέτρησης (στοιχεία από Περιφέρεια Αττικής). Από τις επτά εισόδους οχημάτων στο δίκτυο, διαθέσιμοι φόρτοι υπήρχαν για τις τέσσερις. Αυτές είναι οι δυο εισοδοί της Λ.Κηφισίας, η είσοδος της Καποδιστρίου με κατεύθυνση ανατολικά και η είσοδος της Λ.Μεσογείων με κατεύθυνση προς Αγία Παρασκευή. Συγκεκριμένα για την τελευταία είσοδο, χρησιμοποιήθηκαν οι ωριαίοι φόρτοι από τον σταθμό 454 που προέκυψαν από ανιχνευτές σε δυο από τις τρεις λωρίδες του οδοστρώματος. Λείπει η μέτρηση από τη δεξιά λωρίδα που, εν προκειμένω, είναι λεωφορειολωρίδα.



Εικόνα 11: Θέση εισόδου οχημάτων στο δίκτυο για την οποία προέκυψαν ελλιπή στοιχεία (QGIS)

Για την εκτίμηση του συνολικού φόρτου της κατεύθυνσης, χρησιμοποιήθηκαν οι φόρτοι από τους σταθμούς 456 (2 ανιχνευτές) και 495 (ανιχνευτής λεωφορειολωρίδας), που βρίσκονται σε μικρή απόσταση, στην αντίθετη κατεύθυνση του δρόμου (βλ. ανωτέρω εικόνα). Υπολογίστηκε ο φόρτος της λεωφορειολωρίδας ως ποσοστό του συνολικού φόρτου για τη συγκεκριμένη κατεύθυνση και χρησιμοποιήθηκε, ως συντελεστής προσαύξησης για λεωφορειολωρίδα, στους φόρτους του σταθμού 454.

Στις υπόλοιπες τρεις εισόδους όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμες τιμές φόρτου, στη Λ.Πεντέλης, στη Δουκίσσης Πλακεντίας και στη Λ.Μεσογείων (κατεύθυνση προς κέντρο), οι φόρτοι εκτιμήθηκαν, είτε από προσαρμογή των φόρτων κατάντη θέσεων μέτρησης, είτε με λογικές παραδοχές.

Να σημειωθεί ότι, εκτός από τις 24 ώρες για τις οποίες διατίθενται οι ωριαίοι φόρτοι κάθε εισόδου οχημάτων, προστέθηκε και μια περίοδος προθέρμανσης του δικτύου (warm-up period), διάρκειας 30 λεπτών, με φόρτους ίσους με τους μισούς από αυτούς της πρώτης ώρας της ημέρας, για κάθε είσοδο. Δεδομένου ότι η προσομοίωση VISSIM ξεκινά με ένα κενό δίκτυο, απαιτείται περίοδος προθέρμανσης, ώστε το δίκτυο να γεμίσει με οχήματα.

Εκτός από τους φόρτους, στα σημεία εισόδου οχημάτων στο δίκτυο, καθορίστηκε και η σύνθεση της κυκλοφορίας (vehicle composition). Ανάλογα με τον τύπο της οδού, διαμορφώθηκαν δυο επιλογές σύνθεσης, η μια όταν η οδός λειτουργεί ως Λεωφόρος (Λ.Κηφισίας, Λ.Μεσογείων) και η δεύτερη όταν η οδός λειτουργεί ως απλή οδός (υπόλοιπες οδοί).

Count: 2	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	70: 70 km/h	0.940
2	200: HGV	70: 70 km/h	0.060

Count: 2	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	50: 50 km/h	0.950
2	200: HGV	50: 50 km/h	0.050

Εικόνα 12: Σύνθεση κυκλοφορίας για Λεωφόρους (αριστερά) και λοιπές αστικές οδούς (δεξιά) (PTV Vissim)

Όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες η επιθυμητή ταχύτητα των οχημάτων τέθηκε 70 χλμ/ώρα για τις Λεωφόρους και 50 χλμ/ώρα για τις υπόλοιπες οδούς. Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που χορηγήθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας δεν περιείχαν τη σύνθεση της κυκλοφορίας, παρά μόνο τον αριθμό των οχημάτων ανά ώρα. Η επιλογή ποσοστού βαρέων οχημάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια υλικού από σχετικές μετρήσεις της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. στην Αθήνα. Οι τιμές που επιλέχθηκαν (6% βαρέα οχήματα στις λεωφόρους και 5% στις υπόλοιπες οδούς) προέκυψαν ως μέση τιμή των κατά μήκος των οδικών τμημάτων υπολογισμένων ποσοστών βαρέων οχημάτων. Άλλοι τύποι οχημάτων δεν λήφθηκαν υπόψη στη σύνθεση της κυκλοφορίας.

Το επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή της απόφασης για τη δρομολόγηση των οχημάτων (vehicle route decision). Μέσα από αυτή τη διαδικασία τα σωστά ποσοστά της δεξιάς ή αριστερής στρέφουσας κίνησης θα αντιπροσωπεύονταν με ακρίβεια στο μοντέλο του Vissim. Εφαρμόστηκε ένας τύπος απόφασης διαδρομής οχημάτων ο οποίος αφορά όλους τους τύπους οχημάτων (αυτοκίνητα και βαρέα) και είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Για την εκτίμηση των σχετικών ροών (relative flows), δηλαδή του επιμερισμού του φόρτου στους κόμβους του δικτύου, όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις έγινε οπτική παρατήρηση των ιστορικών εικόνων που παρέχονται μέσω του Google Earth.

Στο παράδειγμα της ακόλουθης εικόνας, με την απόφαση που αποδόθηκε για την αριστερή στρέφουσα κίνηση, το 8% του συνόλου των οχημάτων που κινούνται στη Λ.Μεσογείων, με κατεύθυνση προς Αγ.Παρασκευή, θα στρίψουν αριστερά στην οδό Τζαβέλλα, ενώ το υπόλοιπο 98% θα συνεχίσει ευθεία.



Εικόνα 13: Απόφαση δρομολόγησης οχημάτων σε διασταύρωση οδών του δικτύου (PTV Vissim)

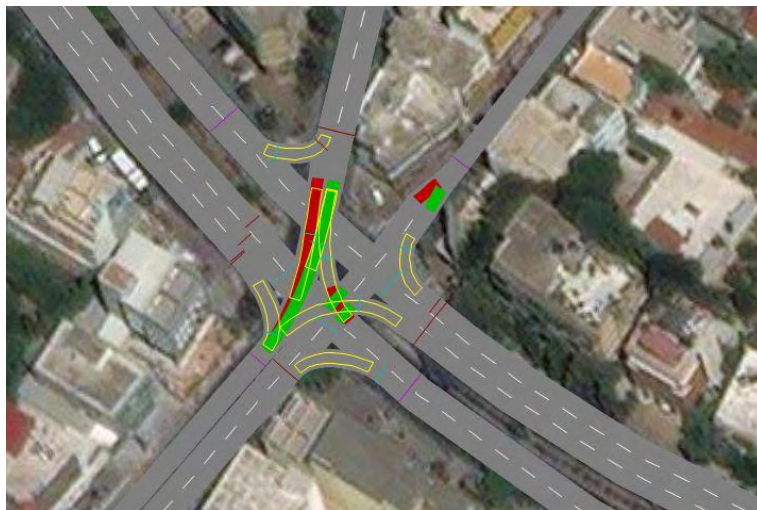
Στην παραπάνω εικόνα, οι κίτρινες γραμμές πριν τη δεξιά στροφή από τη Λ.Μεσογείων στην οδό Τζαβέλλα, και μετά τη δεξιά στροφή από την Τζαβέλλα στη Λ.Μεσογείων, ρυθμίζουν την ταχύτητα των οχημάτων (ανά τύπο οχήματος), ώστε τα οχήματα να ακολουθούν τις

επιτρεπόμενες ταχύτητες ανάλογα με την κατηγορία της οδού στην οποία εισέρχονται (desired speed decisions). Τοποθετήθηκαν σε σημεία του δικτύου, όπου τα οχήματα εισέρχονται σε οδό με επιτρεπόμενη ταχύτητα διαφορετική από αυτή που ίσχυε στην οδό από όπου εξέρχονται, όπως για παράδειγμα από Λεωφόρο σε δευτερεύουσα οδό ή το αντίστροφο.

Στη συνέχεια, αποφασίσθηκε η προτεραιότητα σε επιλεγμένα σημεία εμπλοκής (conflict areas), όπως είναι:

- τα σημεία όπου οι ράμπες εισόδου στη Λ.Κηφισίας συμβάλλουν στο κύριο ρεύμα της κυκλοφορίας,
- σε κόμβους του δικτύου, όπου οι φάσεις της σηματοδότησης επιτρέπουν την πλέξη των κινήσεων,
- σε σημεία των δρόμων, όπου δυο λωρίδες κυκλοφορίας συμβάλλουν σε μια

Μερικά τέτοια παραδείγματα φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα. Η διασταύρωση που απεικονίζεται είναι μεταξύ των οδών Παλαιολόγου – Εθν. Αντιστάσεως – Α.Παπανδρέου – 25^{ης} Μαρτίου. Σε κάθε περίπτωση, το όχημα που βρίσκεται στη λωρίδα με το κόκκινο χρώμα περιμένει το όχημα στην πράσινη λωρίδα (παραχωρεί προτεραιότητα).



Εικόνα 14: Σημεία εμπλοκής σε διασταύρωση οδών του δικτύου (PTV Vissim)

Τα παραλληλόγραμμα με το κίτρινο χρώμα, στην παραπάνω εικόνα χαρακτηρίζουν περιοχές μειωμένης ταχύτητας (reduced speed areas), και εισήχθησαν σε όλα τα σημεία στρεφουσών κινήσεων, ώστε τα οχήματα να έχουν μια ομαλή συμπεριφορά, προσομοιάζοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια την πραγματικότητα.

Για την ολοκλήρωση του δικτύου, διαμορφώθηκε η φωτεινή σηματοδότηση στους κόμβους του με τη βοήθεια των δεδομένων από την Περιφέρεια Αττικής. Προστέθηκε στο λογισμικό ένας ρυθμιστής κυκλοφορίας (signal controller) για κάθε έναν από τους οκτώ κόμβους του δικτύου.

Πίνακας 9: Οι οκτώ ρυθμιστές κυκλοφορίας. Ένας για κάθε κόμβο του δικτύου (PTV Vissim)

Coun	No	Name	Type	CycTm	CycTmlsVar	SupplyFile1
1	1	Kifisias_Antistaseos	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config
2	2	Mesogeion_Tzavella	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config
3	3	Mesogeion_Halandriou	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config
4	4	Palaiologou_Ag.Paraskevis	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config
5	5	Palaiologou_Antistaseos_25is Martio	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config
6	6	Pentelis_Papandreou	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config
7	7	Antistaseos_Tzavella	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config
8	8	Kifisias_Kapodistriou	Fixed time	0	<input checked="" type="checkbox"/>	vissig.config

Για κάθε ρυθμιστή, δημιουργήθηκαν οι ομάδες σηματοδότησης (signal groups), μια για κάθε δυνατή κίνηση οχήματος στον κόμβο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ομάδες σηματοδότησης για το ρυθμιστή του κόμβου Λ.Μεσογείων – Χαλανδρίου, με τις αντίστοιχες κινήσεις που ελέγχει κάθε μια από τις ομάδες. Για παράδειγμα, η ομάδα 2 ελέγχει την κίνηση των οχημάτων που κινούνται επί της Λ.Μεσογείων, στο ρεύμα με κατεύθυνση ανατολική (δηλ. προς Αγ.Παρασκευή) και πρόκειται να στρίψουν αριστερά στην οδό Χαλανδρίου (EBL).

Για την κωδικοποίηση των κινήσεων των οχημάτων στην εργασία, μια κίνηση (δεξιά, ευθεία ή αριστερά) συνδυάζεται με μια από τις τέσσερις δυνατές κατευθύνσεις (βόρεια, νότια, ανατολικά ή δυτικά).

Πίνακας 10: Κωδικοποίηση κινήσεων οχημάτων που προσεγγίζουν μια διασταύρωση (Ιδία επεξεργασία)

NB	NorthBound	βόρεια
SB	SouthBound	νότια
EB	EastBound	ανατολικά
WB	WestBound	δυτικά
R	Right	δεξιά
T	Through	ευθεία
L	Left	αριστερά

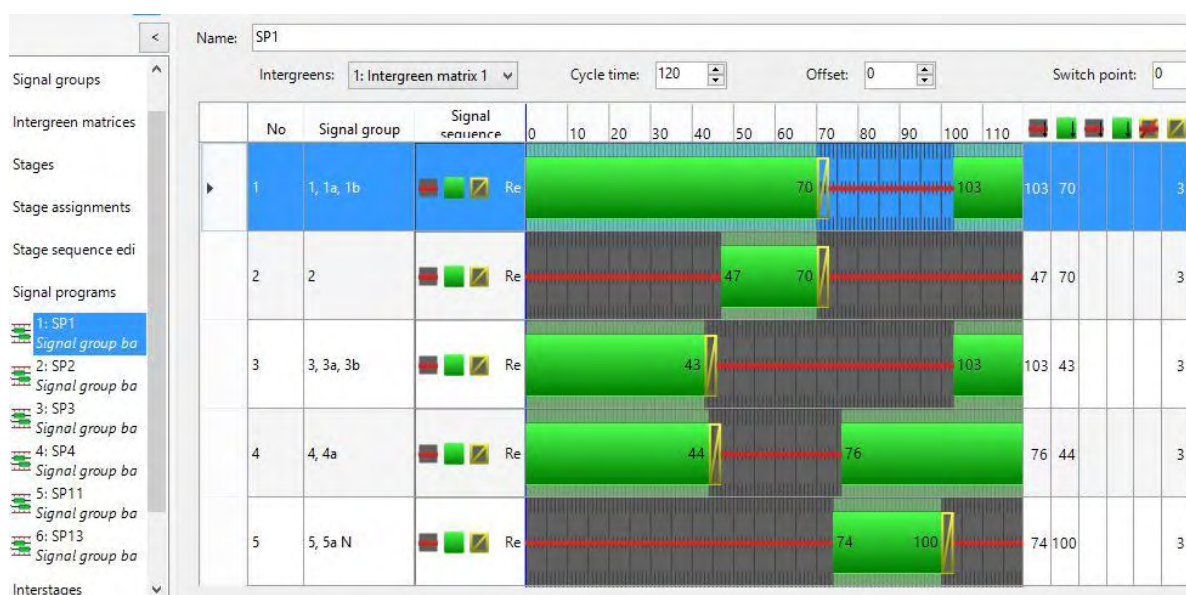
Πίνακας 11: Οι ομάδες σηματοδότησης του ρυθμιστή του κόμβου Λ.Μεσογείων - Χαλανδρίου, με τις αντίστοιχες κινήσεις (PTV Vissim)

File Edit			
<div> <div>My signal control 3</div> <div>Signal groups</div> <div>Intergreen matr</div> </div>			
No	Name	Notes	
1	1, 1a, 1b	Mesogeion EBT	
2	2	Mesogeion EBL	
3	3, 3a, 3b	Mesogeion WBT	
4	4, 4a	Mesogeion WBR	
5	5, 5a N	Halandriou SBL-R	

Υστερα, προστέθηκαν τα προγράμματα λειτουργίας (signal programs) σε κάθε ρυθμιστή του μοντέλου, όπως ακριβώς λειτουργούν στην πραγματικότητα.

Πίνακας 12: Τα προγράμματα λειτουργίας του ρυθμιστή του κόμβου Λ.Μεσογείων - Χαλανδρίου (PTV Vissim)

	No	Name	Intergreens	Cycle time	Offset	Switch point
▶	1	SP1	Intergreen matrix 1	120	0	0
	2	SP2	Intergreen matrix 1	120	0	2
	3	SP3	Intergreen matrix 1	120	0	20
	4	SP4	Intergreen matrix 1	90	0	27
	5	SP11	Intergreen matrix 1	130	0	80
	6	SP13	Intergreen matrix 1	140	0	20



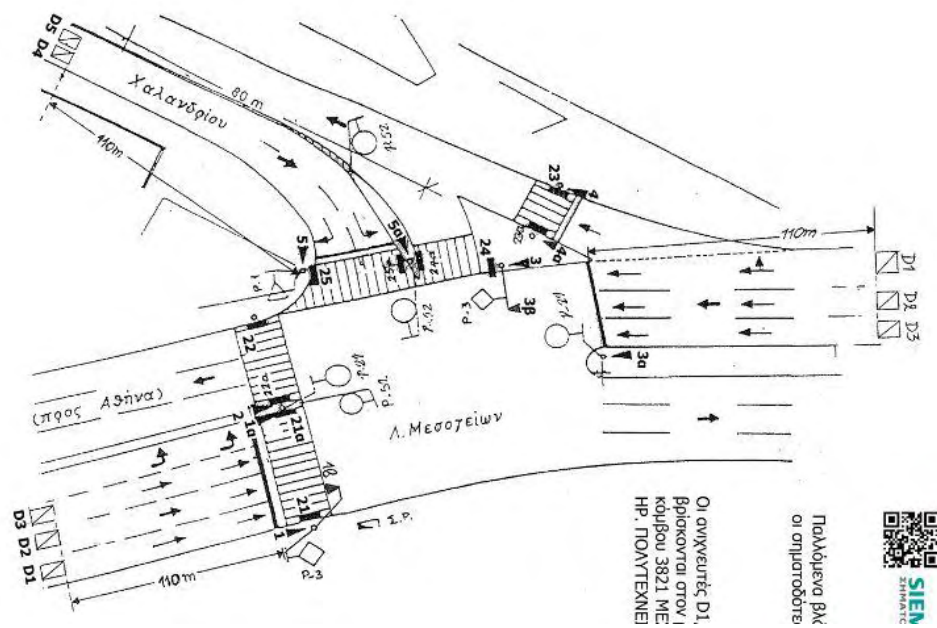
Εικόνα 15: Το πρόγραμμα λειτουργίας SP1 του ρυθμιστή του κόμβου Λ.Μεσογείων - Χαλανδρίου, με τους χρόνους σηματοδότησης για κάθε φάση και ομάδα (PTV Vissim)

Για την ακολουθία των προγραμμάτων λειτουργίας στη διάρκεια της ημέρας, επιλέχθηκε από τα διάφορα πλάνα ημέρας (day plans), αυτό που αφορούσε τη συγκεκριμένη ημέρα της προσομοίωσης (9 Μαρτίου 2017), δηλαδή το πλάνο ημέρας για μια κανονική Πέμπτη (όχι αργία ή ειδική ημέρα).

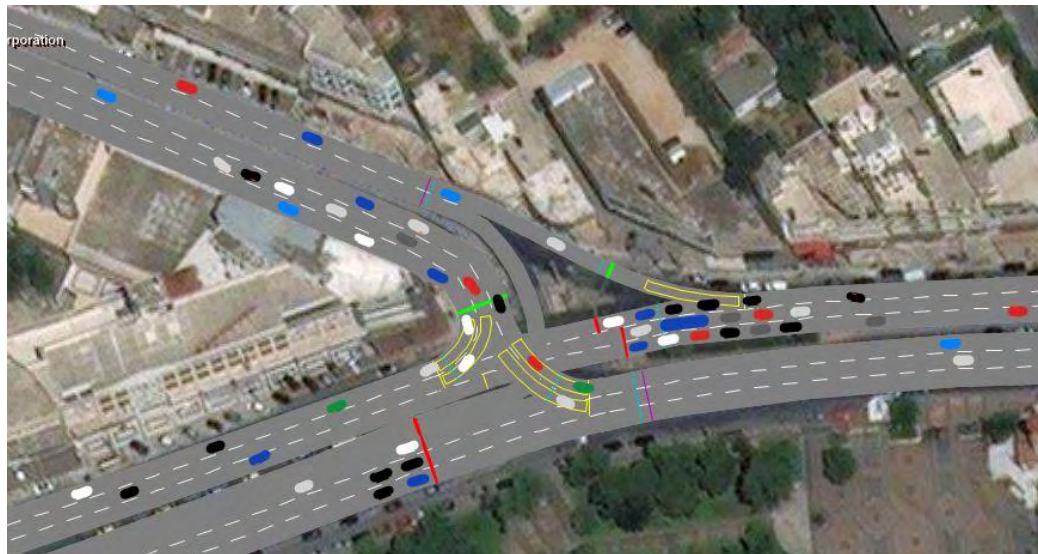
Πίνακας 13: Το πλάνο σηματοδότησης του κόμβου Λ.Μεσογείων – Χαλανδρίου, με τα προγράμματα λειτουργίας για την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017 (PTV Vissim)

Name:	TP2_Thursday_09.03.2017	
	Time	Signal Program
▶	1:00:00 AM	4: SP4
	5:00:00 AM	3: SP3
	6:00:00 AM	1: SP1
	9:00:00 AM	3: SP3
	12:00:00 PM	2: SP2
	9:00:00 PM	3: SP3

Με τη βοήθεια των σχεδίων με τις οριζοντιογραφίες των κόμβων, αλλά και του Google Earth, προστέθηκαν οι γραμμές σηματοδότησης (signal heads) σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας στο ύψος της γραμμής στάσης. Για κάθε γραμμή επιλέχθηκε ο ρυθμιστής κυκλοφορίας και η ομάδα σηματοδότησης που της αντιστοιχούν. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η οριζοντιογραφία ενός κόμβου του δικτύου (εικόνα 14) και η τελική μορφή του ίδιου κόμβου στο μοντέλο, σε λειτουργία (εικόνα 15).



Εικόνα 16: Οριζοντιογραφία κόμβου (Α.Κ. 3822) Α.Μεσογείων - Χαλανδρίου (Περιφέρεια Αττικής)



Εικόνα 17: Προσομοίωση λειτουργίας του κόμβου Α.Μεσογείων - Χαλανδρίου (PTV Vissim)

5.3. Βαθμονόμηση μοντέλου

Ένα μοντέλο μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφορίας απαιτεί μια πληθώρα πληροφοριών ως δεδομένα εισόδου. Το επίπεδο αξιοπιστίας ενός μοντέλου είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με αυτά τα δεδομένα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των διατιθέμενων πληροφοριών, τόσο υψηλότερο θα είναι το επίπεδο ακρίβειας του μοντέλου. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, η συγκέντρωση όλων των απαραίτητων πληροφοριών είναι μάλλον δύσκολη είτε επειδή το κόστος της απόκτησης γίνεται εξαιρετικά υψηλό και δεν θα

αποζημιωθεί ποτέ, είτε επειδή ορισμένες πτυχές της ανθρώπινης οδηγικής συμπεριφοράς δεν μπορούν να καταγραφούν εύκολα ή να ποσοτικοποιηθούν. Ως εκ τούτου, ο σχεδιαστής του μοντέλου καλείται να το τελειοποιήσει ρυθμίζοντας ορισμένες παραμέτρους έως ότου τα εξαγόμενα δεδομένα βρεθούν εντός μιας αποδεκτής απόκλισης από τα πραγματικά δεδομένα πεδίου. Η βαθμονόμηση είναι μια επαναληπτική διαδικασία μέχρι να επιτευχθεί τελικά η επιθυμητή αντιστοιχία μεταξύ των δεδομένων πεδίου και των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Παρ' όλα αυτά, η τέλεια αντιστοίχιση είναι σχεδόν αδύνατη, καθώς ο αριθμός των επαναλήψεων προκειμένου να εξαλειφθεί ένα επαναλαμβανόμενο σφάλμα δεν μπορεί να είναι άπειρος. Οι δοκιμές πρέπει να σταματήσουν όταν επιτευχθούν ορισμένες αποκλίσεις, σύμφωνα με τα αρχικά κατώτατα όρια βαθμονόμησης που έχουν οριστεί. (Karakikes, Spangler and Margreiter, 2017).

Η εκτέλεση της προσομοίωσης ενός μη βαθμονομημένου ή κακώς βαθμονομημένου μοντέλου για τα διάφορα σενάρια της εργασίας μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα. Τυπικά το μοντέλο είτε θα δώσει παραπλανητικά αποτελέσματα, είτε θα κλειδώσει και δεν θα δώσει καθόλου αποτελέσματα. Ακόμη και αν το μη-βαθμονομημένο μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει, τα αποτελέσματά του είναι ιδιαίτερα αμφίβολα και θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη αμφιβολία. Επομένως, το μοντέλο υφιστάμενων συνθηκών πρέπει να βαθμονομείται με επιτυχία πριν ξεκινήσει η εργασία στα διάφορα σενάρια (Wisconsin Department of Transportation, 2002).

Ένα κυρίαρχο παράδειγμα κριτηρίων βαθμονόμησης παρουσιάζεται από το Υπουργείο Μεταφορών του Wisconsin (2002) για το μοντέλο προσομοίωσης αυτοκινητόδρομου Milwaukee.

Πίνακας 14: Κριτήρια βαθμονόμησης μοντέλου του Υπουργείου Μεταφορών του Wisconsin (2002) (Karakikes, Spangler and Margreiter, 2017)

Criteria and Measures	Calibration Acceptance Targets
Hourly Flows, Model Versus Observed	
Individual link flows	
Within 15%, for 700 vph < flow < 2700 vph	> 85% of cases
Within 100 vph, for flow < 700 vph	> 85% of cases
Within 400 vph, for flow > 2700 vph	> 85% of cases
Sum of all link flows	Within 5% of sum of all links counts
GEH statistic < 5 for individual link flows	> 85% of cases
GEH statistic for sum of all link flows	GEH < 4 for sum of all link counts
Travel Times, Model Versus Observed	
Journey times network within 15% (or 1 min, if higher)	> 85% of cases
Visual Audits	
Individual link speeds:	
Visually acceptable speed-flow relationship	to analyst's satisfaction
Bottlenecks:	
Visually acceptable queuing	to analyst's satisfaction

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιηθούν ως δείκτες βαθμονόμησης του μοντέλου, οι ωριαίοι φόρτοι και οι μέσες ωριαίες ταχύτητες, καθώς είναι οι μόνες τιμές αναφοράς που είναι διαθέσιμες από τα κυκλοφοριακά δεδομένα που χορηγήθηκαν.

Για ωριαίους κυκλοφοριακούς φόρτους, η φόρμουλα GEH υπολογίζεται από τον τύπο:

$$G_H = \sqrt{\frac{2(m-c)^2}{m+c}}$$

Όπου:

m: η τιμή του φόρτου από το μοντέλο (οχήματα/ώρα)

c: η πραγματική τιμή φόρτου από μέτρηση (οχήματα/ώρα)

Οι τιμές της ταχύτητας θα χρησιμοποιηθούν λόγω απουσίας δεδομένων χρόνου διαδρομής. Λόγω της σχέσης των δυο μεγεθών (ο χρόνος διαδρομής είναι συνάρτηση της ταχύτητας), θα χρησιμοποιηθεί το ίδιο κατώφλι για την απόκλιση των τιμών του μοντέλου από αυτές της πραγματικότητας (ταχύτητα μοντέλου να μην διαφέρει πάνω από 15% από την πραγματική. Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου επιλέχθηκε ένα ικανό πλήθος θέσεων συλλογής δεδομένων (data collection measurements). Πρόκειται για θέσεις εντός του δικτύου του μοντέλου, που αντιστοιχούν σε πραγματικές θέσεις σταθμών μέτρησης, από τις οποίες είναι διαθέσιμα τα κυκλοφοριακά στοιχεία, οπότε ενδείκνυνται για σύγκριση των πραγματικών τιμών και των τιμών που προκύπτουν από την προσομοίωση.

Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν δυο θέσεις επί της Λ.Κηφισίας στο ρεύμα με κατεύθυνση προς Κηφισιά (στις θέσεις που αντιστοιχούν οι σταθμοί μέτρησης 280 και 290), μια επί της Λ.Μεσογείων στο ρεύμα με κατεύθυνση προς Αγ.Παρασκευή (σταθμός 459) και μια επί της Παλαιολόγου στο ρεύμα με κατεύθυνση ανατολική (σταθμός 475). Οι θέσεις φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Η πραγματική κυκλοφορία διαφέρει σημαντικά από μέρα σε μέρα, ακόμα και από λεπτό έως λεπτό. Τα μοντέλα μικροσκοπικής προσομοίωσης προσπαθούν να μιμηθούν αυτό το φαινόμενο χρησιμοποιώντας στοχαστικές (τυχαίες) μεταβλητές για να υπολογίσουν τις διακυμάνσεις της οδηγικής συμπεριφοράς και του χρόνου αναχώρησης. Κάθε πακέτο λογισμικού παρέχει έναν μηχανισμό για την επιλογή ενός ή περισσότερων seeds που καθορίζουν μια ακολουθία τυχαίων αριθμών που ελέγχουν αυτές τις παραμέτρους κατά την εκτέλεση του μοντέλου. Υποθέτοντας ότι όλοι οι άλλοι παράγοντες παραμένουν οι ίδιοι, δύο μοντέλα που τρέχουν με την ίδια τιμή seed θα παράγουν τα ίδια αποτελέσματα. Για να ληφθεί υπόψη το φάσμα των συνθηκών κυκλοφορίας που συναντώνται στον πραγματικό κόσμο, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης, κάθε μοντέλο πρέπει να εκτελεστεί με πέντε τουλάχιστον διαφορετικές τιμές seed. Οι ίδιες πέντε τιμές θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και για την εκτέλεση των μοντέλων των διαφόρων σεναρίων της κάθε μελέτης (Wisconsin Department of Transportation, 2002).

Για τις ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκαν οι πέντε πρώτοι αριθμοί seed για τις ισάριθμες εκτελέσεις του μοντέλου.



Εικόνα 18: Θέσεις σταθμών μέτρησης που επιλέχθηκαν για συλλογή δεδομένων από μετρήσεις του μοντέλου (QGIS)

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης παρατηρήθηκαν προβλήματα συμφόρησης και ουρές σε μεγάλα τμήματα του δικτύου (από τις 10:00 ώρα προσομοίωσης έως το τέλος) κάτι το οποίο κρίθηκε ότι αποκλίνει αρκετά από την πραγματικότητα, δεδομένων των κυκλοφοριακών συνθηκών της ημέρας προσομοίωσης.



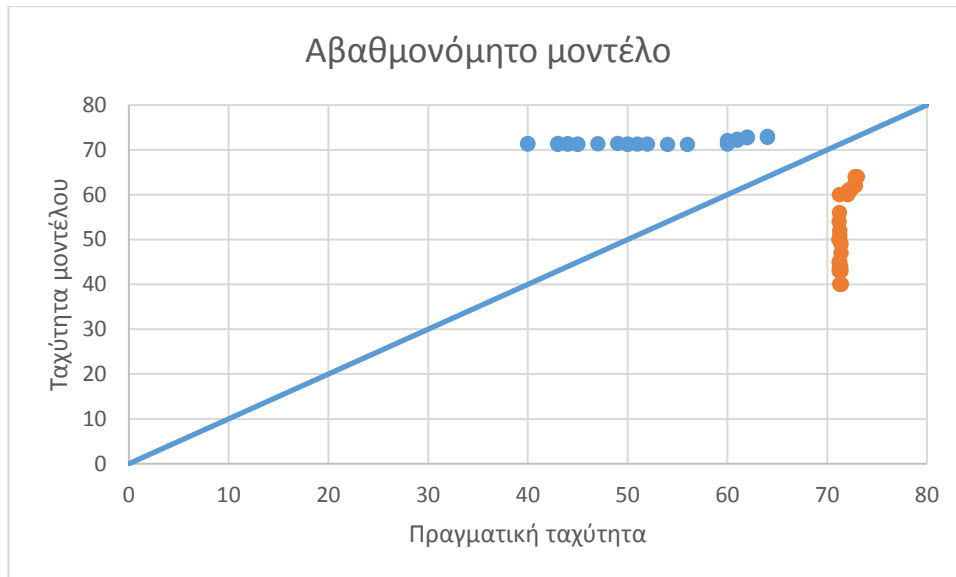
Εικόνα 19: Προβλήματα συμφόρησης κατά την προσομοίωση του αβαθμονόμητου μοντέλου, τα οποία δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (PTV Vissim)

Από τα αποτελέσματα των πέντε εκτελέσεων προέκυψαν μεγάλες αποκλίσεις, πέραν των ορίων που τέθηκαν, ανάμεσα στις τιμές του μοντέλου και στις πραγματικές τιμές. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μέσες τιμές GEH και οι μέσες τιμές απόκλισης της ταχύτητας από την πραγματικότητα, για κάθε μια από τις θέσεις συλλογής δεδομένων του μοντέλου. Ο δείκτης GEH για τους φόρτους δεν ικανοποιείται σε δυο θέσεις, ενώ οι

αποκλίσεις στις ταχύτητες είναι πολύ πάνω από το όριο του 15%. Το μοντέλο χρήζει βαθμονόμησης.

Πίνακας 15: Τιμές δεικτών αβαθμονόμητου μοντέλου (Ιδία επεξεργασία)

Θέση συλλογής δεδομένων	Σταθμός μέτρησης	Τιμή GEH	$ \Delta\% $ ταχύτητας
1	280	5,7	41
2	475	8,3	36
3	459	3,2	43
4	290	3,9	46



Εικόνα 20: Σύγκριση τιμών ταχύτητας που προέκυψαν από το αβαθμονόμητο μοντέλο (θέση συλλογής δεδομένων: 2) με αυτές που προέκυψαν από τους σταθμούς μέτρησης (σταθμός: 280)(Ιδία επεξεργασία)

Πραγματοποιήθηκαν σειρά από επεμβάσεις στις παραμέτρους του δικτύου του μοντέλου. Συγκεκριμένα, τροποποιήθηκαν:

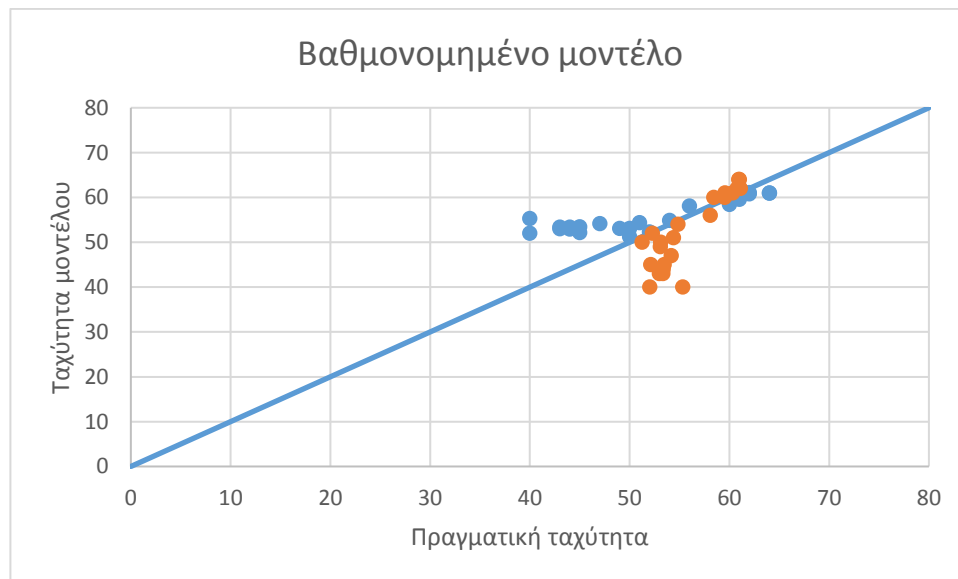
- Οι ωριαίοι φόρτοι εισόδου της Δουκίσσης Πλακεντίας. Οι τιμές του αρχικού μοντέλου λήφθηκαν κατ'εκτίμηση, λόγω έλλειψης πραγματικών δεδομένων στη θέση αυτή. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης παρατηρήθηκε συμφόρηση σε όλο το μήκος της οδού, πέρα από το αναμενόμενο για τις πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες της ημέρας προσομοίωσης. Για το λόγο αυτό, μειώθηκαν οι τιμές των ωριαίων φόρτων της εισόδου κατά 10% σε σχέση με τις τιμές του αρχικού μοντέλου.
- Τα γεωμετρικά στοιχεία των συνδέσμων των δρόμων σε θέσεις που από την προσομοίωση παρατηρήθηκε συμφόρηση πέρα από το αναμενόμενο για τις πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες της ημέρας προσομοίωσης (πχ. τα σημεία

διαχωρισμού των οδοστρωμάτων στις ράμπες εξόδου της Λ.Κηφισίας, το μήκος ορισμένων λωρίδων υποχρεωτικής στρέφουσας κίνησης, κ.ά.).

- Οι σχετικές ροές σε ορισμένες στρέφουσες κινήσεις (από τις τιμές που είχαν ληφθεί κατ'εκτίμηση), οι αποστάσεις για λήψη απόφασης αλλαγής λωρίδας και άλλες παράμετροι ώστε μετά από επαναλαμβανόμενες δοκιμές (trial&error), η απόκλιση των τιμών (πραγματικών και προσομοίωσης) να βρεθεί εντός των ορίων που θέτουν τα αναφερθέντα κριτήρια.

Πίνακας 16: Τιμές δεικτών βαθμονομημένου μοντέλου (Ιδία επεξεργασία)

Θέση συλλογής δεδομένων	Σταθμός μέτρησης	Τιμή GEH	Δ% ταχύτητας
1	280	3,6	11
2	475	5,0	28
3	459	1,8	12
4	290	4,0	15



Εικόνα 21: Σύγκριση τιμών ταχύτητας που προέκυψαν από το βαθμονομημένο μοντέλο (θέση συλλογής δεδομένων: 2) με αυτές που προέκυψαν από τους σταθμούς μέτρησης (σταθμός: 280) (Ιδία επεξεργασία)

Στον παραπάνω πίνακα αναγράφονται οι τιμές των δεικτών βαθμονόμησης που προέκυψαν μετά από τη σειρά τροποποιήσεων που πραγματοποιήθηκε στο μοντέλο. Σε μια από τις θέσεις η απόκλιση των ταχυτήτων βρέθηκε πάνω από το όριο.

Από τη σύγκριση των δυο διαγραμμάτων με τις ταχύτητες πριν και μετά τη βαθμονόμηση φαίνεται ότι οι τιμές που προκύπτουν από το βαθμονομημένο μοντέλο βρίσκονται πολύ πιο

κοντά στις πραγματικές από ότι αυτές του αβαθμονόμητου. Η γραμμή των 45 μοιρών είναι αυτή, πάνω στην οποία θα έπεφταν όλες οι παρατηρήσεις αν το μοντέλο ήταν τέλειο. Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε επανάληψη απαιτεί αρκετές ώρες για να ολοκληρωθεί (2,5 έως 5 ώρες η κάθε μια από τις πέντε εκτελέσεις, ανάλογα με την υπολογιστική ισχύ), αφού η προσομοίωση αφορά ένα ολόκληρο 24ωρο. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις τιμές των δεικτών στις υπόλοιπες θέσεις, που βρέθηκαν εντός των αποδεκτών ορίων, οδήγησαν στην απόφαση να διακοπεί η διαδικασία των επαναλήψεων και να θεωρηθεί το μοντέλο βαθμονομημένο, για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

5.4. Διαμόρφωση Σεναρίων

5.4.1. Βασικό σενάριο

Την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017 η DHL πραγματοποίησε 70 στάσεις για παράδοση δεμάτων στην περιοχή του Δήμου Χαλανδρίου. Στις παραδόσεις αυτές συμμετείχαν 5 οχήματα της εταιρείας, το καθένα από τα οποία εκτελούσε διαφορετικό δρομολόγιο. Συγκεκριμένα, 16 από τις παραπάνω στάσεις πραγματοποίησε το δρομολόγιο με κωδικό NE11, 32 το NE10, 6 το NE27, 13 το NE01 και 3 το SE21. Το κάθε όχημα εισήλθε και εξήλθε του οδικού δικτύου της περιοχής του Χαλανδρίου πάνω από μια φορά, ενώ πραγματοποίησε τις στάσεις στους χρόνους που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

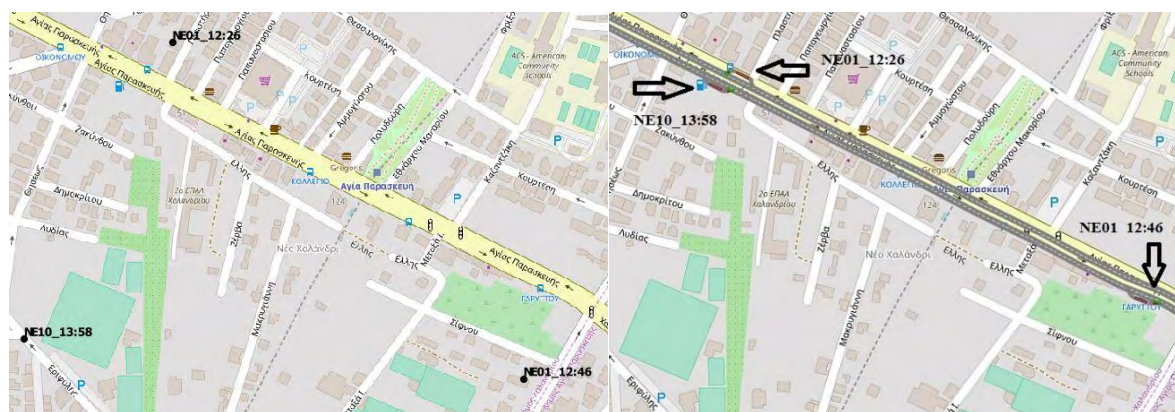
Κωδικός δρομολογίου	Α/α εισόδου στο δίκτυο	Πλήθος στάσεων	Ώρα νωρίτερης στάσης	Ώρα αργότερης στάσης	Χρονική διάρκεια	Μέση χρον. διάρκεια (από στάση σε στάση)
NE11	1	8	11:07	11:35	0:28	0:04:00
	2	8	12:41	14:25	1:44	0:14:51
NE10	1	6	11:36	12:02	0:26	0:05:12
	2	26	12:32	15:56	3:24	0:08:10
NE27	1	5	11:53	12:20	0:27	0:06:45
	2	1	12:58	12:58	Δ/Υ	Δ/Υ
NE01	1	3	12:15	12:46	0:31	0:15:30
	2	10	15:05	16:11	1:06	0:07:20
SE21	1	2	12:20	12:41	0:21	0:21:00
	2	1	15:05	15:05	Δ/Υ	Δ/Υ

Για την προσομοίωση του βασικού σεναρίου, σχεδιάστηκαν οι στάσεις που πραγματοποίησαν τα οχήματα της εταιρείας ταχυμεταφορών, επί του δικτύου του μοντέλου, για παραδόσεις δεμάτων την ημέρα της προσομοίωσης. Οι πραγματοποιηθείσες στάσεις εκτείνονται σε όλη την επιφάνεια της περιοχής μελέτης. Λόγω του περιορισμένου σε πλήθος αξόνων του δικτύου του μοντέλου, ως θέση της στάσης λήφθηκε σε αρκετές περιπτώσεις η

προβολή της πραγματικής θέσης στον κοντινότερο άξονα του δικτύου του μοντέλου. Ένα παράδειγμα της διαδικασίας φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Αριστερά φαίνονται τρεις στάσεις που πραγματοποίησαν δυο οχήματα της εταιρείας, σε δευτερεύοντες δρόμους της περιοχής που δεν προσομοιώνονται στο μοντέλο. Η ετικέτα κάθε σημείου στάσης αναγράφει τον κωδικό του δρομολογίου που πραγματοποίησε τη στάση καθώς και την ώρα που αυτή πραγματοποιήθηκε. Ο άξονας του δικτύου που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτές τις στάσεις είναι η οδός Αγ.Παρασκευής. Επί του άξονα αυτού έγινε προβολή των σημείων των στάσεων και σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχες στάσεις στο μοντέλο. Η κωδικοποίηση που ακολουθήθηκε φαίνεται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα. Κάθε στάση έλαβε όνομα του τύπου: 'κωδικός δρομολογίου_α/α εισόδου στο δίκτυο_α/α στάσης_χρ.στιγμή στάσης'. Για παράδειγμα η στάση με αριθμό καταχώρησης 14 στο μοντέλο, ήταν η έκτη κατά σειρά στάση που πραγματοποίησε το όχημα που εκτελεί το δρομολόγιο με κωδικό 'NE11', τη δεύτερη φορά που το όχημα αυτό εισήλθε στο δίκτυο, τη χρονική στιγμή 13:38.

Πίνακας 17: Κωδικοποίηση και παράμετροι στάσεων οχημάτων παράδοσης (PTV Vissim)

No	Name	Lane	Pos	Length
14	NE11_2_6_13:38	107 - 1	2.426	15.000
15	NE11_2_7_14:11	108 - 1	2.498	15.000
16	NE11_2_8_14:25	109 - 1	3.168	15.000
17	NE10_1_1_11:36	118 - 1	3.135	15.000
18	NE10_1_2_11:42	111 - 1	2.354	15.000
19	NE10_1_3_11:47	112 - 1	2.591	15.000



Εικόνα 22: Οι στάσεις στην πραγματική τους θέση (αριστερά, QGIS) και οι στάσεις όπως τοποθετήθηκαν στο μοντέλο (δεξιά, PTV Vissim)

Ακολουθώντας, δημιουργήθηκαν τα δρομολόγια των οχημάτων και ανατέθηκε στο καθένα οι στάσεις που του αντιστοιχούν. Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί ότι το λογισμικό Vissim δεν παρέχει κάποια επιλογή για δημιουργία δρομολογίου ιδιωτικού οχήματος με στάσεις. Για το λόγο αυτό τα δρομολόγια δημιουργήθηκαν ως δρομολόγια δημόσιας συγκοινωνίας (public transport lines) και οι στάσεις ως στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας (public transport stops). Ρυθμίστηκαν επιμέρους ο τύπος οχήματος (καταχωρήθηκε νέος

τύπος οχήματος, βαν, με την ονομασία '610: Vanaki' και την κλάση '70: LGV'), η επιθυμητή ταχύτητα και η χρονική στιγμή αναχώρησης (departure time). Η χρονική στιγμή αναχώρησης ταυτίζεται με τη χρονική στιγμή εισόδου του οχήματος του δρομολογίου στο δίκτυο του μοντέλου. Επειδή ο χρόνος αυτός είναι άγνωστος, έπρεπε να γίνει μια εκτίμησή του. Μόνη διαθέσιμη χρονική πληροφορία ήταν η στιγμή της πρώτης στάσης. Για την εκτίμηση του χρόνου αυτού, μετρήθηκε σε μια εκτέλεση, η χρονική διάρκεια που απαιτείται για να διανύσει το όχημα την απόσταση από την είσοδό του στο δίκτυο έως την πρώτη στάση, και η διάρκεια αυτή αφαιρέθηκε από τη στιγμή της πρώτης στάσης. Για παράδειγμα, στο πρώτο δρομολόγιο του παρακάτω πίνακα, το όχημα χρειάστηκε 300 δευτερόλεπτα για να διανύσει την απόσταση από την είσοδο στο δίκτυο έως την πρώτη στάση. Την πρώτη αυτή στάση, την πραγματοποίησε τη χρονική στιγμή 11:07, άρα το όχημα εκτιμάται ότι εισήλθε στο δίκτυο πέντε λεπτά νωρίτερα, δηλαδή στις 11:02. Στο λογισμικό ο χρόνος αυτός πρέπει να μετατραπεί σε χρόνο προσομοίωσης. Δεδομένου ότι η προσομοίωση διαρκεί 24 ώρες συν τη μισή ώρα του χρόνου προθέρμανσης του δικτύου, μεταφράζεται σε ένα σύνολο 88200 δευτερολέπτων, όπου η αρχή τοποθετείται στις 23:30 της προηγούμενης ημέρας, δηλαδή της 8^{ης} Μαρτίου 2017. Αυτό σημαίνει ότι η ώρα αναχώρησης 11:02 του δρομολογίου, αντιστοιχεί σε χρόνο προσομοίωσης:

$$1800 (\text{χρόνος προθέρμανσης}) + 3600 * 11 (\text{ώρες}) + 60 * 2 (\text{λεπτά}) = 41520 \text{ δευτερόλεπτα.}$$

Πίνακας 18: Κωδικοποίηση και παράμετροι των δρομολογίων των οχημάτων παράδοσης (PTV Vissim)

No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	VehType	DesSpeedDistr	DistinctDepTimes
1	NE11_1_11:07_11:35	92	64	3041.455	610: Vanaki	50: 50 km/h	41520.0
2	NE11_2_12:41_14:25	1	64	3051.775	610: Vanaki	50: 50 km/h	47400.0
3	NE10_1_11:36_12:02	27	64	2096.438	610: Vanaki	50: 50 km/h	41430.0
4	NE10_2_12:32_15:56	19	2	2068.591	610: Vanaki	50: 50 km/h	46840.0
5	NE27_1_11:53_12:20	4	61	4191.217	610: Vanaki	50: 50 km/h	44555.0
6	NE27_2_12:58	4	61	4187.461	610: Vanaki	50: 50 km/h	48340.0
7	NE01_1_12:15_12:46	92	14	403.286	610: Vanaki	50: 50 km/h	45800.0
8	NE01_2_15:05_16:11	92	2	2063.712	610: Vanaki	50: 50 km/h	55920.0
9	SE21_1_12:20_12:41	9	59	2242.214	610: Vanaki	50: 50 km/h	46150.0
10	SE21_2_15:05	19	59	2237.210	610: Vanaki	50: 50 km/h	56050.0

Κάθε δρομολόγιο έλαβε ονομασία του τύπου: 'κωδικός δρομολογίου_α/α εισόδου στο δίκτυο_χρ.στιγμή πρώτης στάσης_χρ.στιγμή τελευταίας στάσης'. Εξαιρέση τα δρομολόγια με αριθμό 6 και 10, τα οποία πραγματοποίησαν μόνο μια στάση. Η λίστα με τα δέκα δρομολόγια (στην πραγματικότητα είναι πέντε όπως φαίνεται και από τον κωδικό τους στον πίνακα, απλά εισέρχονται και εξέρχονται του δικτύου από δυο φορές το καθένα) φαίνεται στον παραπάνω πίνακα.



Εικόνα 23: Προσομοίωση οχήματος που πραγματοποιεί στάση για παράδοση (PTV Vissim)

Για την εκτίμηση του χρόνου διαδρομής των δρομολογίων, η απόσταση της κάθε μιας διαδρομής χωρίστηκε σε τρία τμήματα. Αυτό έγινε για να διασφαλιστεί ότι ο χρόνος που θα προκύψει θα αφορά, κάθε φορά, ένα μόνο δρομολόγιο, χωρίς να συνυπολογίζει άλλα που εισέρχονται και εξέρχονται στους ίδιους συνδέσμους του δικτύου. Το πρώτο τμήμα ξεκινά από την είσοδο του οχήματος στο δίκτυο και τελειώνει στην πρώτη στάση, το δεύτερο από την πρώτη στάση έως την τελευταία, και το τρίτο από την τελευταία στάση έως την έξοδο από το δίκτυο. Το άθροισμα των τριών χρόνων και των τριών αποστάσεων, αποτελούν το συνολικό εκτιμώμενο χρόνο διαδρομής του κάθε δρομολογίου και τη συνολική εκτιμώμενη διανυθείσα απόσταση.

Όσον αφορά τη χρονική διάρκεια κάθε στάσης (dwell time), δηλαδή τη χρονική διάρκεια που χρειάστηκε ο μεταφορέας, από τη στιγμή που στάθμευσε το όχημα, για να παραδώσει την παραγγελία στον παραλήπτη και να αναχωρήσει, λόγω απουσίας πραγματικών δεδομένων, έγινε εκτίμησή της. Συγκεκριμένα, για όλες τις στάσεις όλων των δρομολογίων, θεωρήθηκε ότι ακολουθεί τυπική κατανομή, με μέση τιμή 180 δευτερόλεπτα (τυπική απόκλιση 60 δευτερόλεπτα).

Η προσομοίωση του μοντέλου του βασικού σεναρίου πραγματοποιήθηκε με τις ίδιες ρυθμίσεις που χρησιμοποιήθηκαν και στο βαθμονομημένο μοντέλο (πέντε αριθμούς seed για τις ισάριθμες εκτελέσεις).

5.4.2. Εναλλακτικό σενάριο

Στο σενάριο αυτό διερευνήθηκε μια εναλλακτική προσέγγιση για την παράδοση των δεμάτων από την εταιρεία ταχυμεταφορών. Έγινε η υπόθεση ότι τα οχήματα της εταιρείας παραδίδουν τα δέματα στο υπάρχον δίκτυο «έξυπνων θυρίδων», αντί στις διευθύνσεις των τελικών καταναλωτών του βασικού σεναρίου, υποθέτοντας ότι η τελική συλλογή της παραγγελίας πραγματοποιείται από τους καταναλωτές. Η διαφορά στο σενάριο αυτό, είναι ότι το τελευταίο μίλι για την ολοκλήρωση της παραγγελίας πρέπει να διανυθεί από τον τελικό καταναλωτή, ο οποίος εμπλέκεται στην όλη διαδικασία της διανομής των εμπορευμάτων. Η

ιδέα πίσω από αυτήν την υπόθεση είναι η πιθανή μείωση της όχλησης, στο επίπεδο της γειτονιάς, από τα οχήματα που εισέρχονται στο δευτερεύον δίκτυο προσπαθώντας να ολοκληρώσουν τις παραδόσεις, τα οποία συχνά αναγκάζονται να σταθμεύουν επί του οδοστρώματος, εμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ομαλή κίνηση των υπόλοιπων οχημάτων του δικτύου και προκαλώντας όχληση σε όλους τους χρήστες του δικτύου. Οι «παραδοσιακές» αυτές παραδόσεις στη διεύθυνση του τελικού καταναλωτή συχνά αποτυγχάνουν (πχ. απουσία παραλήπτη κατά τη στιγμή της παράδοσης) με αποτέλεσμα την αναγκαστική επανάληψη της διαδρομής, γεγονός που αυξάνει το λειτουργικό κόστος της εταιρείας, δυσχεραίνοντας, παράλληλα, τον τελικό παραλήπτη. Η συλλογή της παραγγελίας από τις θυρίδες, στο χρόνο που βολεύει τον πελάτη, του προσφέρει ευελιξία, αυξάνοντας το επίπεδο ικανοποίησής του από την υπηρεσία της εταιρείας.

Τα δέματα που είναι προς παράδοση την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017, μεταφέρονται με οχήματα της εταιρείας στις δυο θέσεις των θυρίδων της περιοχής και αποθηκεύονται προσωρινά εκεί. Κατόπιν, οι τελικοί παραλήπτες μετακινούνται στις θυρίδες, κατά τη διάρκεια της ημέρας για την παραλαβή των δεμάτων τους. Στο σενάριο αυτό προσομοιώνονται, εκτός από τα οχήματα της εταιρείας, τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιήθηκαν από τους παραλήπτες για το δρομολόγιο προς και από τις θυρίδες (lockers scenario).

Πρώτο βήμα για τη διαμόρφωση του μοντέλου ήταν η διερεύνηση του αριθμού των οχημάτων που θα πραγματοποιούσαν τις παραδόσεις στις θυρίδες. Στην πραγματικότητα (βασικό σενάριο), πέντε οχήματα της εταιρείας, εισήλθαν και εξήλθαν του δικτύου της περιοχής του Χαλανδρίου δύο φορές στη διάρκεια της ημέρας, παραδίδοντας το καθένα ένα σύνολο δεμάτων, το βάρος των οποίων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 19: Συνολικό φορτίο και φορτίο με προορισμό το Χαλάνδρι, για τα δρομολόγια που πραγματοποίησαν παραδόσεις στην περιοχή, την Πέμπτη 9 Μαρτίου 2017 (Ιδία επεξεργασία)

Δρομολόγιο	Συνολικό φορτίο (kg)	Ικανότητα φόρτωσης (kg)	Συντελεστής φόρτωσης (%)	Φορτίο με προορισμό το Χαλάνδρι (kg)
NE01	108.28	1240	8.7	14.26
NE10	266.695	1155	23.1	88.12
NE11	104.868	1155	9.1	40.86
NE27	246.188	1155	21.3	8.11
SE21	196.492	1155	17.0	5.222
Σύνολο				156.572

Συνολικά, στις 9 Μαρτίου τα οχήματα της εταιρείας παρέδωσαν δέματα βάρους 156,6 kg στην περιοχή του Χαλανδρίου. Το φορτίο αυτό κρίνεται μικρό σε σύγκριση με τις τιμές ικανότητας φόρτωσης που συναντώνται στα οχήματα της εταιρείας (αντιστοιχεί σε ποσοστό < 15% της ικανότητας). Χωρίς να ληφθούν υπόψη ενδεχόμενοι περιορισμοί όγκου, καθώς δεν υπήρχαν δεδομένα για τις διαστάσεις των δεμάτων, το φορτίο αυτό μπορεί να το αναλάβει οποιοδήποτε από τα οχήματα των ήδη υπάρχοντων δρομολογίων. Για τις ανάγκες

του σεναρίου της εργασίας, θεωρήθηκε ότι τα 5 οχήματα της εταιρείας, του βασικού σεναρίου, αντικαθίστανται από ένα όχημα που θα παραδώσει το παραπάνω φορτίο στις θυρίδες.

Στη συνέχεια, διερευνήθηκε ο αριθμός των αυτοκινήτων (I.X.), που θα συμμετείχαν στη διαδικασία παραλαβής των δεμάτων από τις θυρίδες. Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί, ότι από όλες τις επιλογές μέσου (πεζή, αυτοκίνητο, MMM, ποδήλατο) για τη μετακίνηση των παραληπτών προς και από τις θυρίδες, για την προσομοίωση λήφθηκε υπόψη μόνο το αυτοκίνητο (I.X.). Η πεζή μετακίνηση και το ποδήλατο έχουν μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς πραγματοποιούν δρομολόγια ανεξαρτήτως της επιλογής των χρηστών να τα χρησιμοποιήσουν. Τα δρομολόγια των αυτοκινήτων που προέκυψαν, αποτέλεσαν παράγωγη κυκλοφορία στο δίκτυο, οι επιπτώσεις της οποίας διερευνήθηκαν.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Szczecin της Πολωνίας σχετικά με την προτίμηση μέσου μετακίνησης για την παραλαβή δεμάτων από «έξυπνες θυρίδες» (ref), το 51% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι πιο συχνά χρησιμοποιεί το αυτοκίνητο για πρόσβαση στις θυρίδες (Lemke, Iwan and Korczak, 2016). Θεωρώντας ότι στο ποσοστό αυτό, οι καταναλωτές του εναλλακτικού σεναρίου της εργασίας θα προτιμήσουν το αυτοκίνητο, προκύπτουν 36 νέα δρομολόγια με I.X. στο μοντέλο. Πρόκειται για το 51% από τις 70 παραδόσεις του βασικού σεναρίου.

Τα κριτήρια που θεωρήθηκαν για την επιλογή του I.X. ως μέσου για τη μετακίνηση προς και από τις θυρίδες είναι τα ακόλουθα:

- Το βάρος της παραγγελίας να υπερβαίνει τα 6 kg. Έρευνες έδειξαν ότι άτομα που μετακινούνται προς και από το χώρο εργασίας τους πεζοί, συνήθως μετέφεραν αντικείμενα (σάκους με προσωπικά αντικείμενα, ψώνια, κ.ά.) βάρους 4 έως 6 kg (Hoback, Anderson and Dutta, 2012).
- Η διανυθείσα απόσταση από το σημείο αφετηρίας του κάθε δρομολογίου έως το σταθμό θυρίδων για παραλαβή και επιστροφή στο σημείο αφετηρίας, να είναι μεγαλύτερη από 2 km. Παλιότερες έρευνες έδειξαν ότι άτομα που μετακινούνται προς και από το χώρο εργασίας τους πεζοί έως τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, περπατούν κατά μέσο όρο αποστάσεις 1,3 έως 1,6 km (Hoback, Anderson and Dutta, 2008).

Τα αποτελέσματα με την τελική επιλογή παραγγελίας και θυρίδας στην οποία θα παραληφθεί φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Από τα 70 σημεία του βασικού σεναρίου, μόνο τα 62 μπορούν να ληφθούν υπόψη στο εναλλακτικό, καθώς τα υπόλοιπα 8 βρίσκονται σε συνδέσμους, κοντά σε εξόδους του δικτύου του μοντέλου. Αυτό, καθιστά αδύνατη τη δρομολόγηση του οχήματος προς τα σημεία του δικτύου που βρίσκονται οι σταθμοί των θυρίδων.

Πίνακας 20: αποτελέσματα με την τελική επιλογή παραγγελίας και θυρίδας (Ιδία επεξεργασία)

NO	NAME	Βάρος παράδοσης (kg)	Κριτήριο: βάρος παράδοσης>6kg	Απόσταση από locker Κηφισίας (m)	Απόσταση από locker Πεντέλης (m)	Πλησιέστερο locker	Κριτήριο: απόσταση>1000m (2000m roundtrip)	Πιθανή επιλογή μέσου μετακίνησης	Μικρότερη απόσταση	Κατάταξη (min απόσταση)	Επιλογή locker (μετακίνηση με αυτοκίνητο)
										(Βάρος<6kg,	
1	NE11_1_1_11:07	0.19	OXI	2703.52	2903.19	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2703.52	27	Kifisias
2	NE11_1_2_11:12	1.3	OXI	2418.9	2618.34	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2418.90	29	-
3	NE11_1_3_11:16	9.1	NAI	1988.76	2187.25	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Kifisias
4	NE11_1_4_11:21	1.7	OXI	920.12	12054.71	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
5	NE11_1_5_11:23	0.17	OXI	837.53	11971.07	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
6	NE11_1_6_11:27	0.38	OXI	584.39	11717.18	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
7	NE11_1_7_11:30	0.26	OXI	538.51	11671.82	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
8	NE11_1_8_11:35	1.28	OXI	503.09	11635.48	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
9	NE11_2_1_12:41	1.5	OXI	3811.08	392.54	Pentelis	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
10	NE11_2_2_12:48	2.4	OXI	2252.88	10133.28	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2252.88	32	-
11	NE11_2_3_12:55	0.43	OXI	2177.84	10059.35	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2177.84	33	-
12	NE11_2_4_12:58	6.6	NAI	2087.45	1570.3	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Pentelis
13	NE11_2_5_13:27	9.37	NAI	115.58	11248.63	Kifisias	OXI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Kifisias
14	NE10_1_1_11:36	18.96	NAI	3206.1	2845.8	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Pentelis
15	NE10_1_2_11:42	0.12	OXI	1334.77	10852.11	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1334.77	37	-
16	NE10_1_3_11:47	16	NAI	686.66	11820.94	Kifisias	OXI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Kifisias
17	NE10_1_4_11:51	0.28	OXI	643.12	11775.18	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
18	NE10_1_5_12:00	2.96	OXI	600.23	11732.54	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
19	NE10_1_6_12:02	0.1	OXI	545.49	11678.16	Kifisias	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
20	NE10_2_1_12:32	0.86	OXI	1734.95	11252.03	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1734.95	34	-
21	NE10_2_2_12:41	0.16	OXI	1385.49	10902.5	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1385.49	35	-
22	NE10_2_3_12:42	0.22	OXI	1199.73	10717.72	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1199.73	38	-
23	NE10_2_4_12:47	7.3	NAI	1149.64	10666.8	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Kifisias
24	NE10_2_5_12:50	0.07	OXI	1047.22	10565.5	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1047.22	40	-
25	NE10_2_6_13:06	0.5	OXI	1007.22	10526.1	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1007.22	41	-
26	NE10_2_7_13:13	0.8	OXI	5169.86	10414.43	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	5169.86	10	Kifisias
27	NE10_2_8_13:18	0.2	OXI	4866.94	10109.74	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4866.94	11	Kifisias
28	NE10_2_9_13:22	1.82	OXI	4820.65	10064.3	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4820.65	13	Kifisias
29	NE10_2_10_13:29	0.38	OXI	4557.18	9801.11	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4557.18	14	Kifisias
30	NE10_2_11_13:36	0.5	OXI	4487.24	9731.77	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4487.24	16	Kifisias
31	NE10_2_12_13:43	0.05	OXI	4332.78	9575.93	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4332.78	17	Kifisias
32	NE10_2_13_13:46	0.09	OXI	8830.28	9358.49	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	8830.28	1	Kifisias
33	NE10_2_14_13:53	0.5	OXI	8053.63	8581.37	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	8053.63	2	Kifisias
34	NE10_2_15_13:58	0.18	OXI	7675.96	8204.01	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	7675.96	3	Kifisias
35	NE10_2_16_14:07	0.1	OXI	4856.54	5383.65	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4856.54	12	Kifisias
36	NE10_2_17_14:13	3.68	OXI	4532.71	5062.32	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4532.71	15	Kifisias
37	NE10_2_18_14:27	17.4	NAI	2954.39	3484.12	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Kifisias
38	NE10_2_19_14:30	0.21	OXI	2869.07	3397.9	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2869.07	24	Kifisias
39	NE10_2_20_14:48	2.99	OXI	4310.88	3150.03	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	3150.03	20	Pentelis
40	NE10_2_21_15:16	1.32	OXI	4147.53	2986.43	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2986.43	21	Pentelis
41	NE10_2_22_15:42	1.15	OXI	4077.03	2915.01	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2915.01	23	Pentelis
42	NE10_2_23_15:45	6.7	NAI	4027	2865.87	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	-	-	Pentelis
43	NE10_2_24_15:49	1.74	OXI	3983.82	2822.26	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2822.26	25	Pentelis
44	NE10_2_25_15:53	0.56	OXI	3776.55	2615.7	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2615.70	28	Pentelis
45	NE10_2_26_15:56	0.22	OXI	3543.41	2381.5	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2381.50	30	-
46	NE27_1_1_11:53	0.15	OXI	6548.49	6747.98	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	6548.49	6	Kifisias
47	NE27_1_2_11:58	1.74	OXI	5384.39	5582.62	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	5384.39	8	Kifisias
48	NE27_1_3_12:04	0.12	OXI	5279.71	5481.1	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	5279.71	9	Kifisias
49	NE01_1_1_12:15	4	OXI	4058.47	4257.8	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	4058.47	18	Kifisias
50	NE01_1_2_12:26	0.08	OXI	7616.97	8145.68	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	7616.97	4	Kifisias
51	NE01_1_3_12:46	0.11	OXI	7140.54	7667.35	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	7140.54	5	Kifisias
52	NE01_2_1_15:05	0.28	OXI	2798.88	2998.39	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2798.88	26	Kifisias
53	NE01_2_2_15:09	0.22	OXI	2331.44	2531.52	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2331.44	31	-
54	NE01_2_3_15:16	0.3	OXI	4425.75	898.97	Pentelis	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
55	NE01_2_4_15:22	2.56	OXI	3678.17	151.14	Pentelis	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
56	NE01_2_5_15:33	0.5	OXI	4230.97	811.87	Pentelis	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
57	NE01_2_6_15:42	3.75	OXI	4122.03	703.65	Pentelis	OXI	ΑΛΛΟ ΜΕΣΟ	-	-	-
58	NE01_2_7_15:49	0.7	OXI	4786.78	1368.68	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1368.68	36	-
59	NE01_2_8_15:59	1.64	OXI	4503.38	1083.44	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1083.44	39	-
60	SE21_1_1_12:20	0.272	OXI	6453.78	6651.37	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	6453.78	7	Kifisias
61	SE21_1_2_12:41	4.5	OXI	2956.27	3085.97	Kifisias	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	2956.27	22	Kifisias
62	SE21_2_1_15:05	0.45	OXI	3406.01	3214.07	Pentelis	NAI	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	3214.07	19	Pentelis

Σύμφωνα με τις θεωρήσεις του εναλλακτικού σεναρίου, το όχημα της DHL που παραδίδει το σύνολο των δεμάτων με προορισμό το Χαλάνδρι, εισήλθε στο δίκτυο στις 8:30 το πρωί της ημέρας προσομοίωσης και πραγματοποίησε την πρώτη του στάση στο σταθμό θυρίδων της Λ.Πεντέλης. Ακολούθως τα δρομολόγια των Ι.Χ. για παραλαβή ξεκινούν από τις 10:30. Το τελευταίο δρομολόγιο παραλαβής ξεκινά στις 23:00. Τα δρομολόγια με τις ώρες αναχώρησης, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 21: Δρομολόγια εναλλακτικού σεναρίου με την ώρα αναχώρησής τους (PTV Vissim)

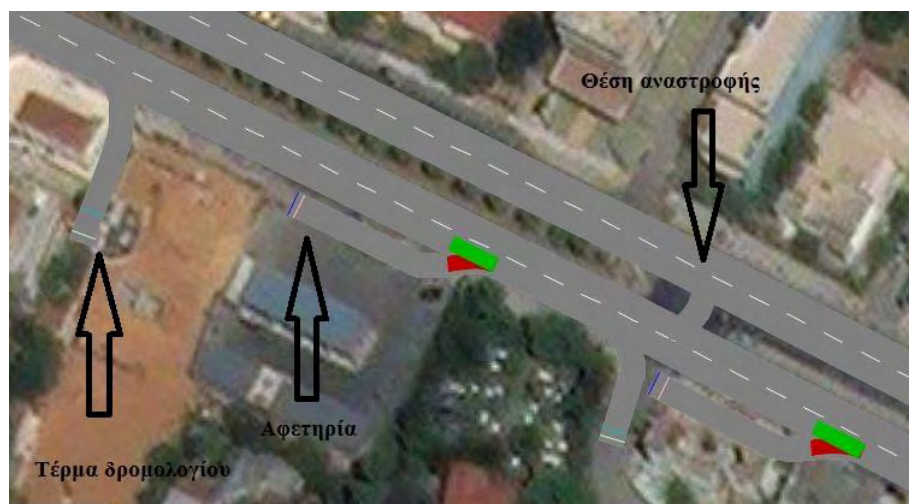
Coun	No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	EntTmOffset	VehType	DesSpeedDistr	Distinct:DepTime
1	1	NE11_11:07(10:30)	69	67	4.920	0.0	100: Car	50: 50 km/h	39600.0
2	2	NE11_11:16(10:30)	94	66	7.826	0.0	100: Car	50: 50 km/h	39600.0
3	3	NE11_12:58(11:30)	105	71	10.934	0.0	100: Car	50: 50 km/h	43200.0
4	4	NE11_13:27(12:00)	106	72	17.314	0.0	100: Car	50: 50 km/h	45000.0
5	5	NE10_11:36(12:30)	118	73	14.042	0.0	100: Car	50: 50 km/h	46800.0
6	6	NE10_11:47(13:00)	112	74	10.427	0.0	100: Car	50: 50 km/h	48600.0
7	7	NE10_12:47(13:30)	122	76	43.055	0.0	100: Car	50: 50 km/h	50400.0
8	8	NE10_13:13(14:00)	125	76	34.849	0.0	100: Car	50: 50 km/h	52200.0
9	9	NE10_13:18(14:30)	126	75	15.357	0.0	100: Car	50: 50 km/h	54000.0
10	10	NE10_13:22(14:45)	127	77	19.097	0.0	100: Car	50: 50 km/h	54900.0
11	11	NE10_13:29(15:00)	128	78	7.748	0.0	100: Car	50: 50 km/h	55800.0
12	12	NE10_13:36(15:00)	129	79	7.240	0.0	100: Car	50: 50 km/h	55800.0
13	13	NE10_13:43(15:00)	130	80	8.972	0.0	100: Car	50: 50 km/h	55800.0
14	14	NE10_13:46(15:15)	132	81	9.704	0.0	100: Car	50: 50 km/h	56700.0
15	15	NE10_13:53(15:15)	133	82	7.979	0.0	100: Car	50: 50 km/h	56700.0
16	16	NE10_13:58(15:15)	134	83	11.640	0.0	100: Car	50: 50 km/h	56700.0
17	17	NE10_14:07(15:30)	135	84	6.593	0.0	100: Car	50: 50 km/h	57600.0
18	18	NE10_14:13(15:30)	136	85	5.780	0.0	100: Car	50: 50 km/h	57600.0
19	19	NE10_14:27(16:00)	137	88	13.627	0.0	100: Car	50: 50 km/h	59400.0
20	20	NE10_14:30(16:00)	138	86	7.987	0.0	100: Car	50: 50 km/h	59400.0
21	21	NE27_11:53(16:15)	146	87	8.205	0.0	100: Car	50: 50 km/h	60300.0
22	22	NE27_11:58(16:15)	148	89	12.554	0.0	100: Car	50: 50 km/h	60300.0
23	23	NE27_12:04(16:30)	147	90	11.001	0.0	100: Car	50: 50 km/h	61200.0
24	24	NE01_12:15(16:30)	152	91	8.769	0.0	100: Car	50: 50 km/h	61200.0
25	25	NE01_12:26(17:00)	153	98	9.450	0.0	100: Car	50: 50 km/h	63000.0
26	26	NE01_12:46(17:00)	154	99	5.381	0.0	100: Car	50: 50 km/h	63000.0
27	27	NE01_15:05(17:00)	155	110	13.379	0.0	100: Car	50: 50 km/h	63000.0
28	28	SE21_12:20(17:15)	168	114	15.218	0.0	100: Car	50: 50 km/h	63900.0
29	29	SE21_12:41(17:15)	169	65	4.814	0.0	100: Car	50: 50 km/h	63900.0
30	30	SE21_15:05(17:30)	167	115	11.583	0.0	100: Car	50: 50 km/h	64800.0
31	31	NE10_14:48(17:30)	139	115	10.959	0.0	100: Car	50: 50 km/h	64800.0
32	32	NE10_15:16(18:00)	140	65	2.930	0.0	100: Car	50: 50 km/h	66600.0
33	33	NE10_15:42(18:00)	141	131	17.682	0.0	100: Car	50: 50 km/h	66600.0
34	34	NE10_15:45(20:00)	142	131	15.858	0.0	100: Car	50: 50 km/h	73800.0
35	35	NE10_15:49(21:00)	143	73	12.179	0.0	100: Car	50: 50 km/h	77400.0
36	36	NE10_15:53(23:00)	144	165	14.641	0.0	100: Car	50: 50 km/h	84600.0
► 37	37	DHL	1	64	3111.651	0.0	610: Vana	50: 50 km/h	32400.0

Έγιναν οι παραδοχές, όπως και στο μοντέλο του βασικού σεναρίου, ότι τα οχήματα των δρομολογίων, είτε κατηγορίας LGV είτε Ι.Χ., θα κινούνται με επιθυμητή ταχύτητα 50km/h,

ακόμη κι αν κινούνται σε λεωφόρο, καθώς το λογισμικό απαιτεί τον ορισμό μιας επιθυμητής ταχύτητας ανά δρομολόγιο, οπότε επιλέχθηκε η μικρότερη.

Για την επιλογή της ώρας αναχώρησης του καθενός από τα δρομολόγια των Ι.Χ., έγινε μια κατανομή των 36 οχημάτων μέσα στη διάρκεια της ημέρας, ακολουθώντας λογικές παραδοχές. Συγκεκριμένα, για 20 από τα 36 οχήματα, επιλέχθηκε ώρα αναχώρησης στο παράθυρο 14:00 έως 17:00, δηλαδή στο χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί στις απογευματινές ώρες αιχμής. Σε αυτό το διάστημα κρίθηκε ότι θα υπάρχει η μεγαλύτερη ζήτηση σε αυτά τα δρομολόγια, καθώς αντιστοιχεί στην ώρα που αρκετοί εργαζόμενοι μετακινούνται, επιστρέφοντας από το χώρο εργασίας τους, προς το σπίτι τους.

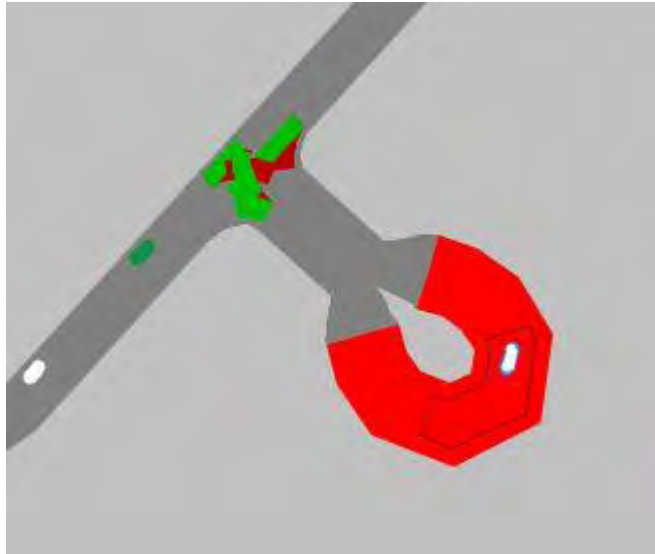
Για την προσομοίωση του εναλλακτικού σεναρίου, σε ξεχωριστό αρχείο, εισήχθησαν στο δίκτυο τα δρομολόγια οχημάτων της εταιρείας ταχυμεταφορών, που πλέον παραδίδουν στις θυρίδες, και των αυτοκινήτων, των τελικών καταναλωτών, προς και από τις θυρίδες. Κάθε αυτοκίνητο αναχωρεί από τη διεύθυνση που στο βασικό σενάριο γινόταν η παράδοση, και κατευθύνεται στη θυρίδα που «φιλοξενεί» το δέμα του καταναλωτή. Μετά την παραλαβή επιστρέφει στη διεύθυνση από όπου αναχώρησε. Τα σημεία αναχώρησης διαμορφώθηκαν όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Για το ρεαλιστικό υπολογισμό της απόστασης από το σημείο αναχώρησης έως το σταθμό των θυρίδων, προστέθηκε η δυνατότητα αναστροφής σε εύλογες θέσεις των συνδέσμων. Χωρίς αυτήν τη δυνατότητα, οι λιγοστές επιλογές δρομολόγησης του δικτύου, οδηγούσαν σε ιδιαίτερα μεγάλες αποστάσεις, καθώς το όχημα έπρεπε να διανύσει μεγάλες αποστάσεις για να προσεγγίσει το σημείο του σταθμού των θυρίδων, γεγονός που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.



Εικόνα 24: Διαμόρφωση σημείων αφετηρίας – τέρματος δρομολογίου και προσθήκη δυνατότητας αναστροφής, στο μοντέλο του εναλλακτικού σεναρίου (PTV Vissim)

Οι θέσεις των δυο lockers στο μοντέλο σχεδιάστηκαν όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Έγιναν οι παραδοχές, ότι ο χρόνος στάσης του δρομολογίου της εταιρείας σε καθένα από τα δυο lockers, ακολουθεί τυπική κατανομή με μέση τιμή 1800 δευτερόλεπτα (τυπική απόκλιση

100 δευτερόλεπτα). Οι στάσεις των Ι.Χ. για παραλαβή δεμάτων, ορίστηκε στα 180 ± 60 δευτερόλεπτα, όπως και στο μοντέλο του βασικού σεναρίου.



Εικόνα 25: Το όχημα της εταιρείας πραγματοποιεί στάση για παράδοση των δεμάτων στο σταθμό θυρίδων της Α.Πεντέλης (PTV Vissim)

Η προσομοίωση του μοντέλου του εναλλακτικού σεναρίου πραγματοποιήθηκε με τις ίδιες ρυθμίσεις που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στο βαθμονομημένο μοντέλο, όσο και στο μοντέλο του βασικού σεναρίου (πέντε αριθμούς seed για τις ισάριθμες εκτελέσεις).

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα

6.1. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του βασικού σεναρίου φαίνονται στον επόμενο πίνακα. Πρόκειται για τους χρόνους και την απόσταση ταξιδιού για καθεμία από τις μετρήσεις χρόνου ταξιδιού που καταχωρήθηκε στο μοντέλο. Όπως αναφέρθηκε στη διαμόρφωση του βασικού σεναρίου, κάθε δρομολόγιο χωρίστηκε σε τρία τμήματα για τις μετρήσεις αυτές. Αθροίζοντας τα επιμέρους τμήματα προκύπτουν οι χρόνοι ταξιδιού και οι διανυθείσες αποστάσεις για καθενα από τα δρομολόγια του μοντέλου. Οι τιμές που λήφθηκαν υπόψη στους υπολογισμούς είναι οι μέσες τιμές που υπολογίζει το λογισμικό Vissim, από τις πέντε εκτελέσεις της προσομοίωσης του μοντέλου.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα προσομοίωσης των δρομολογίων του βασικού σεναρίου (Ιδία επεξεργασία)

Βασικό σενάριο								
Τμήμα διαδρομής	Χρόνος ταξιδιού (sec)	Απόσταση ταξιδιού (m)	Δρομολόγιο	Χρόνος ταξιδιού (sec)	Απόσταση ταξιδιού (m)	Όχημα	Χρόνος ταξιδιού (sec)	Απόσταση ταξιδιού (m)
4: NE11_1_entry_11:07	194	2626	NE11_1	2153	5928	NE11	4829	11203
5: NE11_1_11:07_11:35	1847	2216						
6: NE11_1_11:35_exit	112	1086						
7: NE11_2_entry_12:41	64	867	NE11_2	2676	5274	NE10	10473	20864
8: NE11_2_12:41_14:25	2600	4289						
9: NE11_2_14:25_exit	12	119						
10: NE10_1_entry_11:36	1108	3729	NE10_1	4246	7530	NE27	1570	6225
11: NE10_1_11:36_12:02	3036	2672						
12: NE10_1_12:02_exit	101	1129						
13: NE10_2_entry_12:32	81	1102	NE10_2	6228	13334	NE01	3607	10926
14: NE10_2_12:32_15:56	5810	8882						
15: NE10_2_15:56_exit	337	3350						
16: NE27_1_entry_11:53	20	263	NE27_1	1153	3116	SE21	2606	8880
17: NE27_1_11:53_12:20	1127	2805						
18: NE27_1_12:20_exit	6	48						
19: NE27_2_entry_12:58	152	2063	NE27_2	417	3109	SE21_1	2237	7555
20: NE27_2_12:58_exit	265	1047						
21: NE01_1_entry_12:15	92	1270						
22: NE01_1_12:15_12:46	852	2156	NE01_1	1099	4418	SE21_2	369	1325
23: NE01_1_12:46_exit	155	992						
24: NE01_2_entry_15:05	185	2529						
25: NE01_2_15:05_16:11	2313	3888	NE01_2	2508	6508	SE21	2606	8880
26: NE01_2_16:11_exit	9	91						
27: SE21_1_entry_12:20	51	632						
28: SE21_1_12:20_12:41	1592	6112	SE21_1	2237	7555	SE21_2	369	1325
29: SE21_1_12:41_exit	595	810						
30: SE21_2_entry_15:05	68	623						
31: SE21_2_15:05_exit	301	703	SE21_2	369	1325	SE21	2606	8880

Η διαδικασία για το εναλλακτικό σενάριο ήταν πιο απλή, καθώς κάθε δρομολόγιο του σεναρίου αυτού περιέχει μια μόνο στάση στις θυρίδες για παραλαβή (με εξαίρεση το όχημα της εταιρείας που πραγματοποίησε από μια στάση σε κάθε σταθμό θυρίδων), οπότε η εκτίμηση του χρόνου ταξιδιού έγινε με καταχώρηση μιας μέτρησης για όλη τη διαδρομή του δρομολογίου. Παρακάτω παρατίθενται οι μέσες τιμές, από τις πέντε εκτελέσεις της προσομοίωσης του μοντέλου, του χρόνου ταξιδιού και της διανυθείσας απόστασης των 36 δρομολογίων των Ι.Χ., καθώς και του δρομολογίου του οχήματος της εταιρείας.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα προσομοίωσης των δρομολογίων του εναλλακτικού σεναρίου (Ιδία επεξεργασία)

Εναλλακτικό σενάριο		
Δρομολόγιο	Χρόνος ταξιδιού (sec)	Απόσταση ταξιδιού (m)
DHL_ 8:30	4073	5265
1: 10:30_1	718	582
2: 10:30_2	585	2196
3: 11:30_3	1291	645
4: 12:00_4	230	554
5: 12:30_5	833	2454
6: 13:00_6	289	1762
7: 13:30_7	365	2488
8: 14:00_8	416	3064
9: 14:30_9	448	519
10: 14:45_10	416	419
11: 15:00_11	543	3729
12: 15:00_12	488	3725
13: 15:00_13	507	3724
14: 15:15_14	581	1831
15: 15:15_15	639	3982
16: 15:15_16	681	3967
17: 15:30_17	984	7615
18: 15:30_18	1001	7599
19: 16:00_19	831	3772
20: 16:00_20	825	3595
21: 16:15_21	1315	8336
22: 16:15_22	1136	5999
23: 16:30_23	1065	65
24: 16:30_24	898	3361
25: 17:00_25	726	4200
26: 17:00_26	844	5069
27: 17:00_27	740	789
28: 17:15_28	1271	11049
29: 17:15_29	754	2948
30: 17:30_30	832	3181
31: 17:30_31	827	3120
32: 18:00_32	781	2836
33: 18:00_33	767	2622
34: 20:00_34	688	2573
35: 21:00_35	681	2425
36: 23:00_36	667	1944
Σύνολο	30735	124007

Τα συνολικά αποτελέσματα της προσομοίωσης των δυο σεναρίων φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 24: Συνολικά αποτελέσματα προσομοίωσης ανά σενάριο και ενδιαφερόμενο (Ιδία επεξεργασία)

Ενδιαφερόμενος: Εταιρεία ταχυμεταφορών	ΣΕΝΑΡΙΑ	
	ΒΑΣΙΚΟ	LOCKERS
Χρόνος ταξιδιού (sec)	23085	4073
Απόσταση ταξιδιού (m)	58097	5265
Οχήματα	5	1
Ενδιαφερόμενος: Τελικοί παραλήπτες (πελάτες)	ΣΕΝΑΡΙΑ	
	ΒΑΣΙΚΟ	LOCKERS
Χρόνος ταξιδιού (sec)	0	26662
Απόσταση ταξιδιού (m)	0	118742
Οχήματα	0	36

6.2. Μοντέλο για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Για την αξιολόγηση του μέτρου των «έξυπνων θυρίδων», εντοπίστηκαν ορισμένοι περιβαλλοντικοί και κυκλοφοριακοί δείκτες. Οι τιμές των παραγόμενων δεικτών που εξήχθησαν με την προσομοίωση του εναλλακτικού σεναρίου, συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές για το βασικό μοντέλο, προκειμένου να ελεγχθεί ποια κατάσταση είναι πιο αποτελεσματική.

Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Περιβάλλον: CO₂ (g / km), NO_x (g / km), σωματίδια - PM₁₀ (mg / km)
- Κυκλοφορία: Καθυστερήσεις (δευτερόλεπτα)

Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δυο σεναρίων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EnViVer. Το EnViVer βασίζεται στο μοντέλο VERSIT + εκπομπής καυσαερίων. Το EnViVer λαμβάνει δεδομένα από τις τροχιές των οχημάτων που παράγονται από το Vissim για διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων (ελαφριάς χρήσης, λεωφορεία και βαρέα φορτηγά), τύπους δρόμων (αστικούς, λεωφόρους) και τύπους καυσίμων (πετρέλαιο, ντίζελ, LPG, CNG, ηλεκτρισμός) και παρέχει ακριβείς μετρήσεις αέριων ρύπων, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές οδηγικές συμπεριφορές (δεδομένα ταχύτητας και επιτάχυνσης) και τις ιδιότητες των οχημάτων (βάρος και ισχύ). Για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων, το EnViVer λαμβάνει υπόψη πρόσθετα στοιχεία σχετικά με την ηλικιακή κατανομή των οχημάτων, ρυθμίζοντας παραμέτρους όπως το ποσοστό των οχημάτων ηλικίας κάτω από 1 έτος, τη μέση ηλικία του οχήματος και τη μέση ηλικία απόσυρσης. Ο προσδιορισμός των προαναφερόμενων παραμέτρων μαζί με τα δεδομένα της νομοθεσίας για τις εκπομπές αερίων, παράγουν την κατανομή των οχημάτων σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές νόρμες.

Πίνακας 25: Τιμές παραμέτρων που εισήχθησαν στο λογισμικό EnViVer (Karakikes, Mitropoulos and Savrasovs, 2018)

Parameters	Values
Road Type	Urban
Vehicles newer than 1 year: %	5%
Average vehicle age: (years)	13.5
Average exit age (years)	27
Euro legislation introduction:	Euro 1 -1993
	Euro 2 - 1996
	Euro 3 - 2000
	Euro 4 - 2005
	Euro 5- 2009
	Euro 6 - 2014

Και για τα δυο σενάρια λήφθηκε η παρακάτω ποσόστωση των οχημάτων ως προς τον τύπο καυσίμου, για τους δυο τύπους οχήματος (εντατικής και απλής χρήσης). Να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες της εργασίας τα οχήματα της εταιρείας κατηγοριοποιήθηκαν ως εντατικής χρήσης.

- Vehicle type: Heavy-Duty:
 - Petrol: 0%
 - Diesel: 100%
 - CNG: 0%
 - Electric: 0%
- Vehicle Type: Light-duty:
 - Petrol: 92.53%
 - Diesel: 6.41%
 - CNG: 1.05%
 - Electric: 0.01%

Στα μοντέλα των δυο σεναρίων εκτελέστηκε προσομοίωση, με ρύθμιση για καταγραφή οχημάτων, της μεσημεριανής ώρας αιχμής (14:00 έως 15:00). Το λογισμικό Vissim, κατέγραψε τις τροχιές των οχημάτων και άλλες παραμέτρους της προσομοίωσης, και δημιούργησε ένα αρχείο για κάθε μοντέλο, με τα αποτελέσματα αυτών των εκτελέσεων. Τα αρχεία αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό EnViVer, μαζί με τις προαναφερθείσες παραμέτρους, για την εκτίμηση των τιμών των περιβαλλοντικών δεικτών, των δυο σεναρίων. Τα αποτελέσματα, ανά δείκτη και σενάριο, φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 26: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δυο σεναρίων (EnViVer)

Σενάριο	Ρύποι		
	CO2 (g/km)	NOx (g/km)	PM10 (mg/km)
Βασικό (do nothing)	271121	1393	101326
Εναλλακτικό (lockers)	270377	1387	101040

6.3. Υπολογισμός δείκτη βιωσιμότητας σεναρίων

Ο δείκτης βιωσιμότητας (Logistics Sustainability Index, LSI) απεικονίζει την ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ του LSI του βασικού μοντέλου και του LSI του εναλλακτικού. Για τον υπολογισμό του LSI, και οι τρεις περιβαλλοντικοί δείκτες σταθμίστηκαν εξίσου (0.166), ενώ για τον δείκτη καθυστέρησης κυκλοφορίας αποδόθηκε βάρος 0.5 για να αξιολογηθούν εξίσου οι τομείς των επιπτώσεων στις μεταφορές και στο περιβάλλον (Karakikes, Mitropoulos and Savrasovs, 2018). Για τον υπολογισμό των δεικτών των δυο σεναρίων,

χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο αξιολόγησης μέτρων logistics Evalog, που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Novelog, από το Εργαστήριο Κυκλοφορίας, Μεταφορών και Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Novelog, 2016). Παρακάτω φαίνονται οι μεταβολές στους δείκτες, λόγω της μεταβολής του δείκτη βιωσιμότητας LSI.

Πίνακας 27: Μεταβολές στις τιμές των δεικτών για το εναλλακτικό σενάριο βάσει της μεταβολής του δείκτη LSI (Ιδία επεξεργασία)

Σενάριο	CO2	NOx	PM10	Καθυστερήσεις	Μεταβολή LSI
Εναλλακτικό (lockers)	-0.3%	-0.4%	-0.3%	-2.0%	1.1%

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Συζήτηση

Τα συνολικά αποτελέσματα του Πίνακα 24, καταδεικνύουν μεγάλα οφέλη για τον πάροχο των υπηρεσιών logistics. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των παραδόσεων στα lockers (εναλλακτικό σενάριο), προκύπτει μείωση του χρόνου διαδρομής για το στόλο των διανομέων κατά 82,4% σε σύγκριση με την περίπτωση των παραδόσεων στο σπίτι (βασικό σενάριο), ενώ τα διανυθέντα χιλιόμετρα μειώνονται κατά 90,9 %. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη μείωση σε πόρους (τα οχήματα μειώθηκαν κατά 80%), προϋδεάζουν για μεγάλη μείωση του λειτουργικού κόστους για την εταιρεία. Παράλληλα, η βιωσιμότητα των παραδόσεων, στο σενάριο των παραδόσεων στα lockers, φαίνεται να αυξάνεται, έστω και σε μικρό ποσοστό, όπως φαίνεται στον Πίνακα 27. Συγκεκριμένα, και οι τέσσερις δείκτες εμφάνισαν μείωση, δηλώνοντας μια βελτίωση των συνθηκών του δικτύου.

Επιπλέον, με την εφαρμογή ενός μέτρου, όπως οι «Εξυπνες θυρίδες» του εναλλακτικού σεναρίου, αναμένονται οφέλη, συνέπεια των παραπάνω, όπως:

- Περιορισμός του φαινομένου των αποτυχημένων παραδόσεων (not-at-home deliveries), λόγω απουσίας του παραλήπτη, που οδηγούν σε διπλές και τριπλές παραδόσεις με όλες τις συσχετιζόμενες επιβαρύνσεις.
- Όφελος για τον πάροχο αφού κάνει λιγότερα οχηματοχιλιόμετρα, γεγονός που έμμεσα οδηγεί στη μείωση της τιμής της παρεχόμενης υπηρεσίας.
- Αποφυγή παράνομων στάσεων των οχημάτων του παρόχου πάνω στο οδικό δίκτυο, δεδομένης της άναρχης στάθμευσης των άλλων αυτοκινήτων και της έλλειψης χώρου για φόρτωση/εκφόρτωση.
- Δυνατότητα συνδυασμού ταξιδιού παραλαβής του δέματος με άλλες υποχρεώσεις.

- Οι «Έξυπνες θυρίδες» βρίσκονται σε περιοχές που εξυπηρετούνται από αστική συγκοινωνία οπότε ένα μέρος των ταξιδιών παράδοσης/παραλαβής δεν επιβαρύνουν καθόλου το οδικό δίκτυο και το περιβάλλον.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αναγνωρίστηκαν οι παρακάτω μελλοντικοί στόχοι:

- Η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής της παρούσας μεθοδολογίας σε διαφορετικής κλίμακας περιοχή.
- Η εξέταση άλλων μέτρων για τη βελτίωση των city logistics στην περιοχή.
- Η διαμόρφωση ερωτηματολογίου για τον καθορισμό του επιπέδου εξυπηρέτησης αλλά και του μέσου που θα χρησιμοποιηθεί από τους καταναλωτές για να προσεγγίσουν τις «Έξυπνες θυρίδες».
- Η αξιολόγηση του μέτρου όχι μόνο με βάση κοινωνιακά και περιβαλλοντικά κριτήρια, αλλά και κριτήρια οικονομίας και κοινωνικά κριτήρια.

Βιβλιογραφία

- Allen, J. and 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. and Browne, M. (2007) *Good practice guide on urban freight transport, Bestufts consortium*. Available at: www.bestufts.net.
- Augereau, V., Dablanc, L. and Curien, R. (2008) 'Les relais-livraison dans la logistique du e-commerce, l'émergence de deux modèles', *Cahiers Scientifiques du Transport*, 2007, pp. 1–25. Available at: <http://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00290161/>.
- Bilik, J. (2014) 'Parcel machines - green solution for green cities', in *Presentation at 1st International Conference 'Green Logistics for Greener Cities'*. Szczecin.
- Button, K. J. and Pearman, A. D. (1981) *The Economics of Urban Freight Transport*. Macmillan.
- Cárdenas, I., Beckers, J. and Vanelslender, T. (2017) 'E-commerce last-mile in Belgium : Developing an external cost delivery index', *Research in Transportation Business & Management*. Elsevier, 24(January), pp. 123–129. doi: 10.1016/j.rtbm.2017.07.006.
- Comi, A. and Nuzzolo, A. (2016) 'Exploring the relationships between e-shopping attitudes and urban freight transport'. Elsevier B.V., 12(June 2015), pp. 399–412. doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.075.
- Dell'Amico, M. and Hadjidimitriou, S. (2012) 'Innovative Logistics Model and Containers Solution for Efficient Last Mile Delivery', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, pp. 1505–1514. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1126.
- DHL (2017) *H DHL σε συνεργασία με τα πρατήρια SHELL*. Available at: http://www.dhl.gr/el/important_information/011717.html (Accessed: 15 April 2017).
- DHL Express (2016) *Swip-Box (Unmanned service points)*.
- Ding, Z. (2014) 'Evaluating Different Last Mile Logistics Solutions: A case study of SF Express', *Faculty of Engineering and Sustainable Development*. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:763544>.
- Ehmke, J. F. (2012) 'Integration of Information and Optimization Models for Routing in City Logistics', 177, pp. 9–23. doi: 10.1007/978-1-4614-3628-7.
- European Commission (2007) *Green Paper - Towards a new culture for urban mobility*. Brussels. Available at: http://ec.europa.eu/transport/urban/urban_mobility/green_paper/green_paper_en.htm.
- European Commission (2011) *Impact Assessment: White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, Comission 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 (2013) *A roadmap for completing the single market for parcel delivery build trust in delivery services and encourage online sales*. 886 final. Brussels.

Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0886>.

Faugere, L. and Montreuil, B. (2016) 'Hyperconnected City Logistics : Smart Lockers Terminals & Last Mile Delivery Networks', in, pp. 0–14.

Folkert, S. and Eichhorn, C. (2007) *Innovative approaches in city logistics: Alternatives solution for home delivery., Niches Policy notes*. Available at: https://www.polisnetwork.eu/uploads/Modules/PublicDocuments/14684_pn8_home_delivery_ok_low.pdf.

geodata.gov.gr (2017) *Θέματα / Όρια*. Available at: <http://geodata.gov.gr/group/boundaries> (Accessed: 1 August 2017).

Grazia Speranza, M. (2018) 'Trends in transportation and logistics', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 264(3), pp. 830–836. doi: 10.1016/j.ejor.2016.08.032.

Hoback, A., Anderson, S. and Dutta, U. (2008) 'True walking distance to transit', *Transportation Planning and Technology*, 31(6), pp. 681–692. doi: 10.1080/03081060802492785.

Hoback, A., Anderson, S. and Dutta, U. (2012) 'Health effects of walking to transit', pp. 1–11. Available at: http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/207081/2/2012_34_Health_Effects_Walking_Transit.pdf.

Iwan, S., Kijewska, K. and Lemke, J. (2016) 'Analysis of Parcel Lockers' Efficiency as the Last Mile Delivery Solution - The Results of the Research in Poland', *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 12(June 2015), pp. 644–655. doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.018.

Karakikes, I., Mitropoulos, L. and Savrasovs, M. (2018) 'Evaluating Smart Urban Freight Solutions Using Microsimulation', in Kabashkin, I., Yatskiv, I., and Prentkovskis, O. (eds) *Reliability and Statistics in Transportation and Communication. RelStat 2017. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 36*. Cham: Springer.

Karakikes, I., Spangler, M. and Margreiter, M. (2017) 'Designing a Vissim-Model for a motorway network with systematic calibration on the basis of travel time measurements', *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 24, pp. 171–179. doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.086.

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.

Lemke, J., Iwan, S. and Korczak, J. (2016) 'Usability of the Parcel Lockers from the Customer Perspective - The Research in Polish Cities', *Transportation Research Procedia*, 16(March), pp. 272–287. doi: 10.1016/j.trpro.2016.11.027.

Lowe, R. and Rigby, M. (2014) *Barclays: The last mile. Exploring the online purchasing and delivery journey*. Available at: <https://www.home.barclays/content/dam/barclayspublic/docs/BarclaysNews/2014/September/the-last-mile-report.pdf>.

- McAfee, A. and Brynjolfsson, E. (2012) 'Big Data.Harvard Business Review', (October), pp. 60–68.
- Mokhtarian, P. L. (2004) 'A conceptual analysis of the transportation impacts of B2C e-commerce', *Transportation*, 31(3).
- Morganti, E., Dablanc, L. and Fortin, F. (2014) 'Final deliveries for online shopping: The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas', *Research in Transportation Business and Management*. Elsevier Ltd, 11(February 2012), pp. 23–31. doi: 10.1016/j.rtbm.2014.03.002.
- Novelog (2016). Available at: <http://evalog.civ.uth.gr/Default.aspx> (Accessed: 15 January 2018).
- 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. (1977) 'An analysis of urban commodity flow', *Transportation Planning and Technology*, 4(1), pp. 1–9. doi: 10.1080/03081067708717114.
- Ogden, K. W. (1992) *Urban goods movement : a guide to policy and planning / K.W. Ogden*. Ashgate Aldershot, England.
- OptiMap (2017) *Fastest Roundtrip Solver*. Available at: <https://gebweb.net/optimap/> (Accessed: 1 August 2017).
- Papoutsis, K. and 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.
- Quak, H., Balm, S. and Posthumus, B. (2014) 'Evaluation of City Logistics Solutions with Business Model Analysis', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., 125, pp. 111–124. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1460.
- Quak, H. J. (2012) 'Improving Urban Freight Transport Sustainability by Carriers – Best Practices from The Netherlands and the EU Project CityLog', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, pp. 158–171. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.098.
- 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. and Kakimoto, Y. (2004) 'Modelling effects of e-commerce on urban freight transport', in *Logistics Systems for Sustainable Cities*. Emerald Group Publishing Limited, pp. 135–146. doi: 10.1108/9780080473222-010.
- Taniguchi, E., Thompson, R. G. and 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.
- UPS Inc. (2018) *UPS Access Point Locker Program Expanded to Help Online Retailers Increase Sales*. Available at: <https://www.pressroom.ups.com/pressroom/ContentDetailsViewer.page?ConceptType=Pre>

ssReleases&id=1467118440426-723 (Accessed: 5 January 2018).

Visser, J., Nemoto, T. and 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. and 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.

Wisconsin Department of Transportation (2002) *Microsimulation Guidelines - Model Calibration*. Available at: http://www.wisdot.info/microsimulation/index.php?title=Model_Calibration#The_GEH_Formula (Accessed: 17 January 2018).

Xu, J., Jiang, L. and Wang, S. (2012) 'Construction of pick-up points in China', in *Proceedings of the 2012 international conference on cybernetics and informatic*, pp. 749–756.

Zunder, T. H., Aditjandra, P. T. and 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.