



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης

Διερεύνηση Παραμέτρων Κατανάλωσης Φορτηγών Οχημάτων

Διπλωματική Εργασία

Μπαλλής Χρήστος

Επιβλέπων: Κεπαπτσόγλου Κωνσταντίνος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα
Οκτώβριος 2015

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Κ. Κεπαπτσόγλου για την καθοδήγησή του, την ενθάρρυνση και την υποστήριξη κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Αντωνίου για τις υποδείξεις του κατά την αρχική φάση της διατύπωσης του αντικειμένου της εργασίας.

Οι μετρήσεις και τα στοιχεία από το σύστημα διαχείρισης στόλου οχημάτων δεν θα μπορούσαν να είχαν συλλεγεί χωρίς την έγκριση και τις εντολές του κ. Ν. Χαρτσά ιδιοκτήτη της ομώνυμης εταιρίας εθνικών και διεθνών μεταφορών τον οποίο και ευχαριστώ.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου για την υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Οδικές μεταφορές.....	7
1.2 Αντικείμενο – Στόχος της εργασίας	13
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	13
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
2.1 Παράμετροι κατανάλωσης καυσίμου φορτηγών οχημάτων	15
2.1.1 Χαρακτηριστικά συμβατικών οχημάτων.....	16
2.1.2 Χαρακτηριστικά οχημάτων νέων τεχνολογιών	26
2.1.3 Χαρακτηριστικά οδού.....	29
2.1.4 Οδηγική συμπεριφορά.....	31
2.2 Μοντέλα κατανάλωσης φορτηγών οχημάτων.....	32
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	52
3.1 Επιλογή του κατάλληλου μαθηματικού υποβάθρου	52
3.2 Ανάπτυξη μοντέλου – Εκτίμηση κατανάλωσης.....	55
3.3 Έλεγχος εγκυρότητας Μοντέλου	59
3.4 Ανάπτυξη εφαρμογών - Περιοχές εφαρμογής του μοντέλου	60
4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	61
4.1 Συλλογή δεδομένων μέσω μετρήσεων πεδίου	61
4.1.1 Εξοπλισμός GPS επί του οχήματος.....	64
4.1.2 Περιγραφή του συστήματος διαχείρισης στόλου οχημάτων.....	65
4.1.3 Καταγραφή διαδρομών με GPS επί του οχήματος – μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου	69
4.2 Καταγραφή διαδρομών μέσω του συστήματος διαχείρισης στόλου – μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου	75
4.3 Λήψη στοιχείων από το ιστορικό αρχείο του συστήματος διαχείρισης στόλου .	75
4.4 Επεξεργασία μετρήσεων	76
4.4.1 Μετρήσεις συσκευής GPS	76
4.4.2 Στοιχεία συστήματος διαχείρισης στόλου.....	77
5. ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	79

5.1 Έλεγχος εγκυρότητας μέσω βιβλιογραφικών αναφορών	79
5.2 Έλεγχος εγκυρότητας μέσω μετρήσεων πεδίου	84
6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	88
6.1 Δυνατότητα εκτίμησης κατανάλωσης μέσω του συστήματος διαχείρισης στόλου	88
6.2 Ανάλυση παραμέτρων κατανάλωσης καυσίμου	98
6.2.1 Ταχύτητα και μεταφερόμενο φορτίο	98
6.2.2 Κλίση οδού	101
6.2.3 Κυκλοφοριακές συνθήκες	103
6.3 Διερεύνηση των επιπτώσεων σε κόστος και χρόνο από την χρήση της Αττικής Οδού	114
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	122
8. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	124
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δαπάνη για τα καύσιμα αποτελεί την κύρια συνιστώσα του λειτουργικού κόστους των φορτηγών οχημάτων. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών για θέματα που σχετίζονται με τις παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου καθώς επίσης και εργασιών που αφορούσαν σε μοντέλα υπολογισμού αυτής. Αναπτύχθηκε ένα μοντέλο εκτίμησης κατανάλωσης καυσίμου φορτηγών οχημάτων βασισμένο στη μέθοδο του Large Scale Duty Cycle του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α, ο έλεγχος εγκυρότητας του οποίου πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους: (α) μέσω σύγκρισης με αποτελέσματα άλλων ερευνητικών εργασιών και (β) με καταγραφές οδικών διαδρομών που έγιναν με συσκευή GPS τοποθετημένη σε φορτηγά οχήματα σε συνδυασμό με μετρήσεις κατανάλωσης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν με χρήση του μοντέλου αυτού τρεις εφαρμογές.

- 1) Διερεύνηση της δυνατότητας εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου μέσω στοιχείων που καταγράφονται σε σύστημα διαχείρισης στόλου μεταφορικής εταιρείας, όπου ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων των συντεταγμένων της θέσης του οχήματος είναι της τάξεως του ενός λεπτού. Προσδιορίστηκε ένας διορθωτικός συντελεστής και έγινε έλεγχος εγκυρότητας της μεθοδολογικής αυτής προσέγγισης με νέο δείγμα οδικών διαδρομών και αντίστοιχης κατανάλωσης.
- 2) Ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενός φορτηγού οχήματος (σχέσεις κατανάλωσης - ταχύτητας, κατανάλωσης - μεταφερόμενου φορτίου, κατανάλωσης - κλίσης οδού, επιπτώσεις των κυκλοφοριακών συνθηκών στην κατανάλωση, παρατηρήσεις σε σχέση με τον Ευρωπαϊκό κύκλο οδήγησης φορτηγών οχημάτων κλπ).
- 3) Διερεύνηση των επιπτώσεων σε κόστος και χρόνο από την χρήση της Αττικής Οδού σε οδικές διαδρομές φορτηγών οχημάτων στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών. Συγκεκριμένα, με αφετηρία την περιοχή Ασπροπύργου προσδιορίστηκαν διαδρομές μέσω της Αττικής Οδού για τις οποίες η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου του φορτηγού (λόγω των καλύτερων κυκλοφοριακών

συνθηκών σε σχέση με εναλλακτικές οδούς) αντισταθμίζει το κόστος των διοδίων.

ABSTRACT

The cost of fuel is the main component of operating cost of heavy-duty vehicles. In the context of this thesis, a literature review was conducted regarding issues related to the parameters that influence fuel consumption as well as works related to fuel consumption models. Next, a fuel consumption model was developed based on the method of Large Scale Duty Cycle of the Ministry of Energy of the USA, the validation of which took place in two ways: (a) by comparing model results with findings from other relevant research works and (b) by recording (coordinates, velocity pattern) a number of road trips (using a GPS device installed on truck) in combination with actual fuel consumption measurements. Then, using this model three case studies were performed in order to investigate:

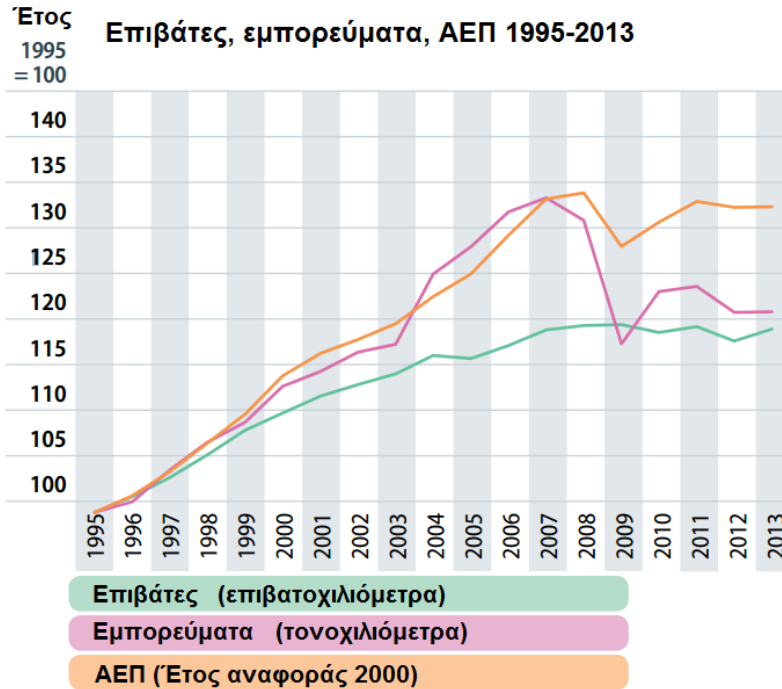
- 1) The model ability to estimate truck fuel consumption using data recorded by a fleet management system, where the time duration between successive measurements (position and velocity of the vehicle) is about one minute. The outcome of the above analysis was a correction factor. A new validation was performed to check the validity of this factor.
- 2) The effects of parameters that influence the consumption of a truck (relationship between consumption and velocity, consumption and load carried by the truck, consumption and road gradient as well as the effect of traffic conditions on fuel consumption etc.).
- 3) The economic benefits from the use of the Attiki Odos. Specifically, starting from a site located in the area of Aspropyrgos, alternative routes were identified (a) via roads without tolls and (b) via Attiki Odos where the lower truck fuel consumption (due to better traffic conditions) offsets the cost of the tolls.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Οδικές μεταφορές

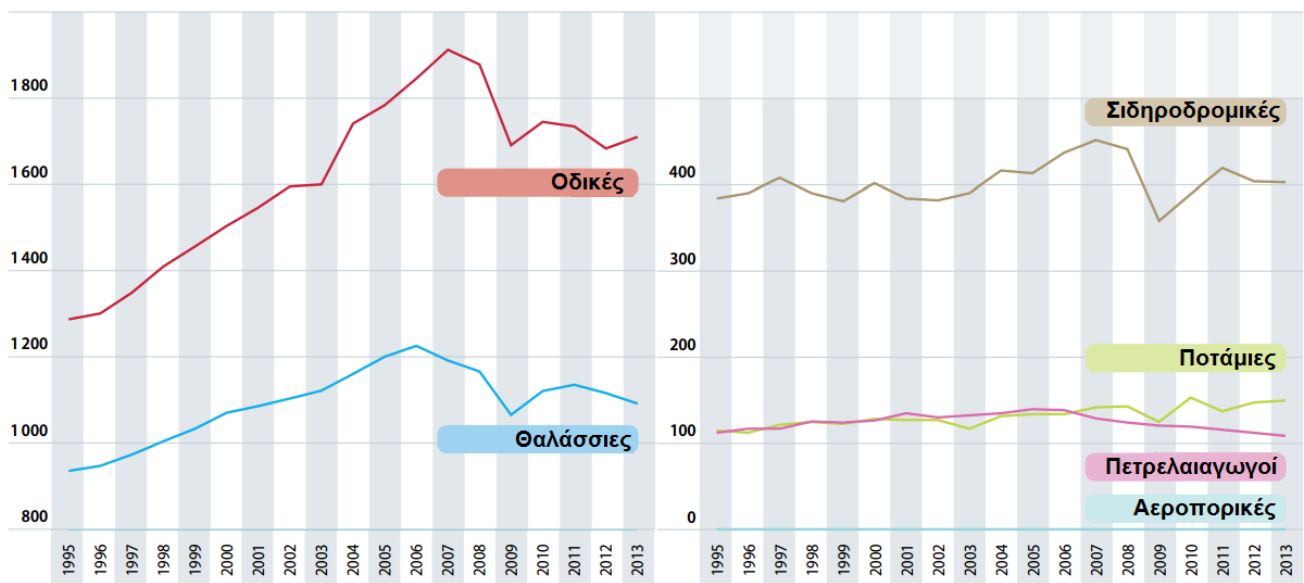
Ως εμπορευματικές μεταφορές νοούνται οι διενεργούμενες μεταφορές εμπορευμάτων και κινητών εν γένει πραγμάτων με φορτηγά οχήματα δημόσιας χρήσης και με την καταβολή κομίστρου. Οι εμπορευματικές μεταφορές διακρίνονται σε διεθνείς, εθνικές, νομαρχιακές και ειδικές ανάλογα με το είδος της μεταφοράς [1]. Ο κλάδος των εμπορευματικών μεταφορών επηρεάζει καθοριστικά την ομαλή λειτουργία των υπολοίπων κλάδων της οικονομίας, όπως της βιομηχανίας, του εμπορίου, της γεωργίας κτλ. Ένα αποτελεσματικό σύστημα μεταφορών συμβάλει θετικά στην αποτελεσματική λειτουργία και την ανταγωνιστικότητα μίας επιχείρησης ή ενός βιομηχανικού κλάδου. Επιπλέον στον κλάδο αυτό δραστηριοποιείται ένα σημαντικό αριθμός επιχειρήσεων που προσφέρουν πολλές θέσεις εργασίας. Το 2013, οι συνολικές μεταφορές εμπορευμάτων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 28 υπολογίζεται σε 3.481 δισεκατομμύρια τόνο-χιλιόμετρα (tkm)¹. Από αυτά, το 49,4% αντιπροσώπευαν οι οδικές μεταφορές, με τις θαλάσσιες μεταφορές να ακολουθούν με ποσοστό 31,3%. Επίσης, ο τομέας των μεταφορών (εμπορευματικών και επιβατικών) απασχολεί περίπου 11 εκατομμύρια εργαζόμενους δηλαδή το 5,1% του συνολικού εργατικού δυναμικού της Ευρώπης. Το 2012, ο αριθμός των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στις οδικές μεταφορές εμπορευμάτων στην Ελλάδα ανέρχεται στις 20.432 καθώς περίπου 30 χιλιάδες άτομα απασχολούνται στον τομέα αυτό [2]. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και του παραγόμενου μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 28 από το 1995 έως το 2013.

¹ tkm (τονο-χιλιόμετρο): μονάδα μέτρησης που ισοδυναμεί με τη μεταφορά 1000 kg για μία απόσταση ενός χιλιομέτρου.



Σχήμα 1: Σχέση μεταξύ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και του παραγόμενου μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 28 από το 1995 έως το 2013

Για την ίδια χρονική περίοδο, στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται και η εξέλιξη των εμπορευματικών μεταφορών στην Ευρώπη των 28 με βάση το είδος της μεταφοράς.



Σχήμα 2: Ευρωπαϊκές εμπορευματικές μεταφορές ανά μέσο μεταφοράς (1995-2013)

Σε παγκόσμιο επίπεδο τα μερίδια των οδικών μεταφορών εμφανίζονται επίσης να είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με τα τονοχιλιόμετρα που διανύθηκαν για τις εμπορευματικές μεταφορές σε Ευρώπη, Ρωσία, ΗΠΑ, Ιαπωνία και Κίνα.

	Ε.Ε. (28)		Η.Π.Α.	Ιαπωνία	Κίνα	Ρωσία
	2013	2012	2013	2013	2013	2013
Οδικές	1719.4	3886.0	210.6	5573.8	250.0	
Σιδηροδρομικές	406.3	2536.2 ⁽⁴⁾	20.5	2917.4	2196.0	
Ποτάμιες	152.7	470.4		3073.1	80.0	
Πετρελαιαγωγοί	111.8	1367.8		349.6 ⁽⁵⁾	2513.0	
Θαλάσσιες (εγχώριες)	1088.6	263.1 ⁽⁶⁾	184.9	4870.5	39.0	

(4) Η.Π.Α.: Σιδηρόδρομος κατηγορίας I

(5) Κίνα: Αγωγοί πετρελαίου και αερίου

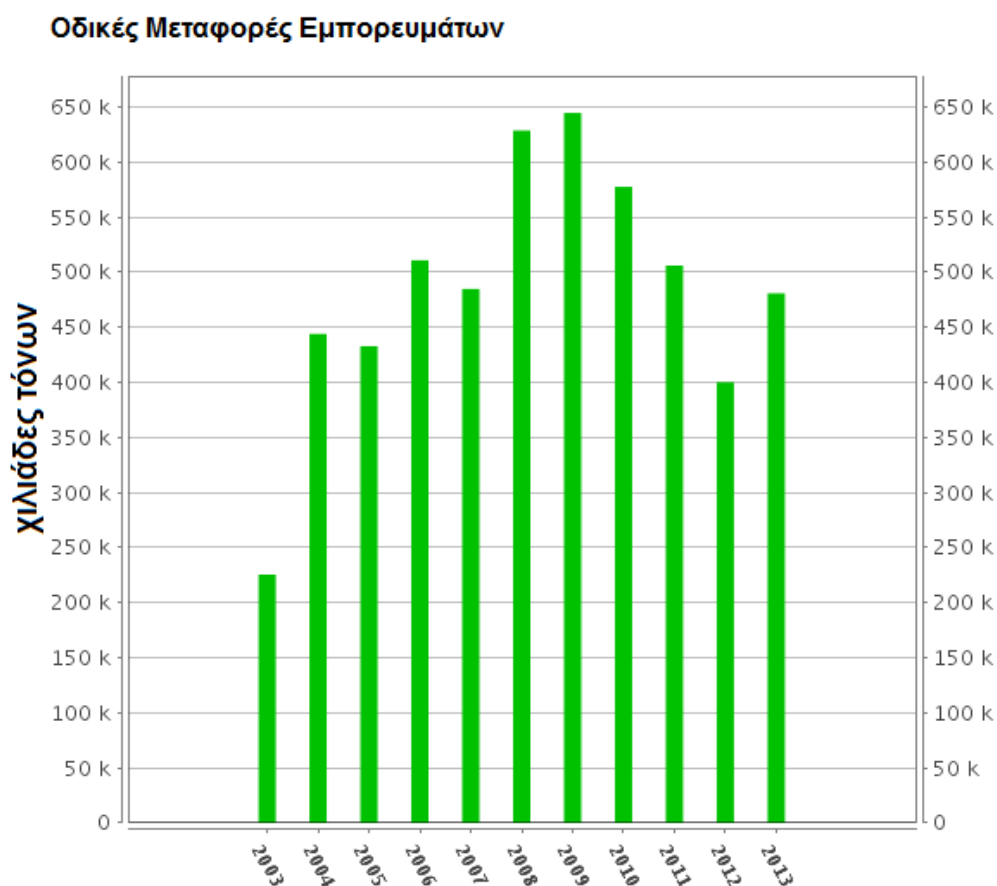
(6) Η.Π.Α.: αναφέρεται σε στοιχεία του 2011

Σχήμα 3: Εμπορευματικές μεταφορές – Σύγκριση Ε.Ε. (28) με τον υπόλοιπο κόσμο

Σε εθνικό επίπεδο, οι οδικές μεταφορές αποτελούν κλάδο ζωτικής σημασίας για την ελληνική οικονομία και αντιπροσωπεύουν σε εθνικό επίπεδο το 7% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος και το 7% των θέσεων απασχόλησης [3]. Κατά την τελευταία εικοσαετία οι ρυθμοί ανάπτυξης της αγοράς, καθώς και οι μεταβολές που σημειώθηκαν στα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης συνέβαλαν στη σημαντική αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες μεταφορών και κυρίως για τις ενδοκοινοτικές (2,3% ετησίως στις εμπορευματικές μεταφορές και 3,1 % στις επιβατικές).

Συγχρόνως όμως παρά τη ζωτική σημασία του κλάδου, συνιστούν ταυτοχρόνως έναν ιδιαίτερα ευαίσθητο τομέα, καθώς η αύξηση του όγκου των οδικών μεταφορών συνεπάγεται σοβαρές επιπτώσεις σε αγαθά ιδιαίτερης σημασίας, όπως η προστασία του περιβάλλοντος και η οδική ασφάλεια

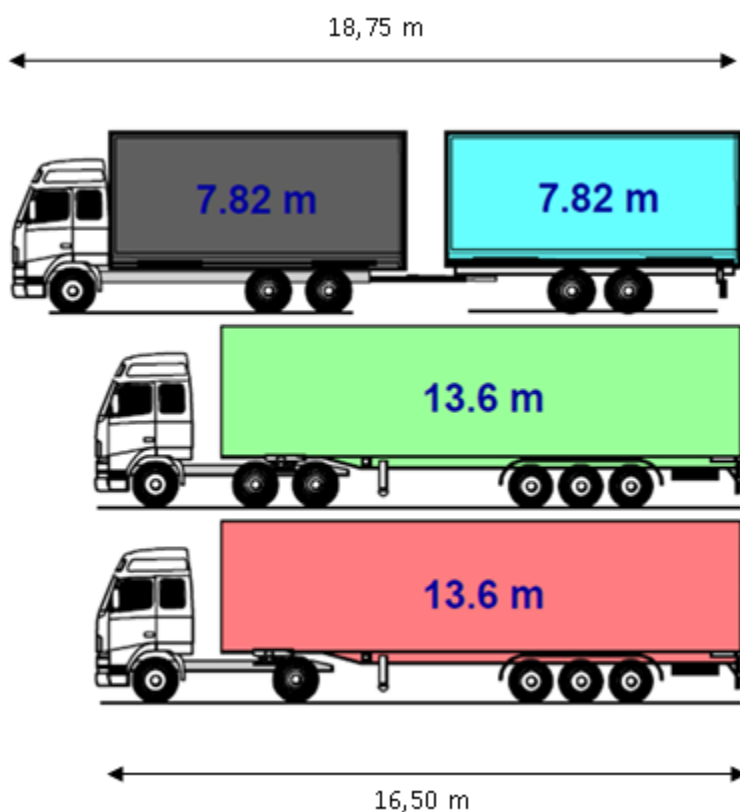
Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το μεταφορικό έργο των οδικών μεταφορών στην χρονική περίοδο 2003-2013.



Σχήμα 4: Οδικές Μεταφορές Εμπορευμάτων στην Ελλάδα 2003-2013 [4]

Οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές γενικού φορτίου στην Ελλάδα πραγματοποιούνται κυρίως με μεσαία και βαρέα φορτηγά οχήματα (μέγιστο μεικτό φορτίο 42 ή 44 τόνων στη περίπτωση μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων). Ο όρος «φορτηγό» αντιστοιχεί σε φορτηγό όχημα ενός όγκου που μπορεί να είναι φορτηγό-καρότσα, φορτηγό κλειστού τύπου (γενικού φορτίου), φορτηγό-κουρτίνα (φορτηγό με αμάξωμα που περιβάλλεται από μουσαμά κουρτίνα), βυτίο υγρών καυσίμων, βυτίο υγρών τροφίμων, φορτηγό-ψυγείο (μεταφοράς κρεάτων, φρούτων κλπ). Το τυπικό όχημα της κατηγορίας αυτής είναι 2 αξονικό ή 3 αξονικό. Ένας δεύτερος τύπος οδικού οχήματος (οδικός συρμός) αφορά σε φορτηγό όχημα που έλκει και ένα μη αυτοκινούμενο όχημα (trailer) κλειστού τύπου ή τύπου κουρτίνας. Υπάρχει ακόμη ο συνδυασμός ελκυστήρα-

ημιρυμουλκούμενου: ο όρος ημιρυμουλκούμενο αφορά σε μη αυτοκινούμενο όχημα που προορίζεται να είναι ζευγμένο σε όχημα με κινητήρα με τρόπο ώστε ένα μέρος του ρυμουλκούμενου αυτού να στηρίζεται στο όχημα με κινητήρα μεταφέροντας έτσι σε αυτό και ένα σημαντικό μέρος του βάρους του και του βάρους του φορτίου του. Σύμφωνα με την Οδηγία 96/53/ΕΚ του Συμβουλίου της 25ης Ιουλίου 1996 για τα οδικά οχήματα που κυκλοφορούν στην Κοινότητα, οι μέγιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις των τύπων αυτών ορίζονται όπως φαίνονται στο Σχήμα 5 [5].



Σχήμα 5: Τύποι και αντίστοιχες μέγιστες διαστάσεις οδικών οχημάτων σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 96/53/ΕΚ

Οι ίδιοι τύποι οχημάτων χρησιμοποιούνται και για την μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων. Καθώς το εμπορευματοκιβώτιο έχει ισχυρή κατασκευή που αποτελεί και προστασία του φορτίου του, η δομή του οχήματος περιλαμβάνει ένα απλό πλαίσιο-βάση (συνήθως δυο χαλύβδινες δοκούς με διαδοκίδες) όπου υπάρχουν οι ειδικοί πύροι στερέωσης/εξασφάλισης του εμπορευματοκιβωτίου (βλέπε Σχήμα 6). Ο τύπος «οδικός συρμός»

χρησιμοποιείται για να μεταφέρει 2 εμπορευματοκιβώτια των 20 ποδών και ο τύπος «ελκυστήρας με ημιρυμουλκούμενο» για την μεταφορά ενός εμπορευματοκιβώτιου των 40 ή των 45 ποδών.



Σχήμα 6: Τροχοφόρα βάση για την οδική μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων

1.2 Αντικείμενο – Στόχος της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανάλωση των φορτηγών οχημάτων. Η διερεύνηση αφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος, στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού καθώς επίσης και στις επιπτώσεις στην κατανάλωση από τις συνθήκες της οδικής κυκλοφορίας.

Στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου κατανάλωσης καυσίμου που να λαμβάνει υπόψη του την ταχύτητα και την επιτάχυνση του οχήματος, το μεταφερόμενο φορτίο, την κλίση της οδού κ.α. και να δίνει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση καυσίμου για κάθε επιμέρους τμήμα της διαδρομής του οχήματος. Το μοντέλο αυτό προορίζεται να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανάλωση φορτηγού οχήματος καθώς και για εφαρμογές που αφορούν σε εκτίμηση και εξοικονόμηση κόστους καυσίμου (εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω στοιχείων που καταγράφονται στο σύστημα διαχείρισης στόλου μεταφορικής εταιρείας, όφελος για τα φορτηγά από την χρήση της Αττικής Οδού).

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία είναι διαρθρωμένη σε έξι κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την εισαγωγή στο διερευνώμενο θέμα, το αντικείμενο/στόχο της εργασίας και το παρών υποκεφάλαιο διάρθρωσης της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο (Βιβλιογραφική Ανασκόπηση) εξετάζονται θέματα που αφορούν στη διερεύνηση παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος καθώς και εργασίες που αφορούν στην ανάπτυξη μοντέλων υπολογισμού της κατανάλωσης φορτηγών.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, η δομή και οι περιοχές εφαρμογής του μοντέλου.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά στην συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Περιγράφονται οι μέθοδοι συλλογής των δεδομένων, μέσω μετρήσεων πεδίου, μετρήσεων κατανάλωσης καυσίμου και λήψης στοιχείων από σύστημα

διαχείρισης στόλου φορτηγών οχημάτων (Σ.Δ.Σ.). Ο έλεγχος εγκυρότητας του μοντέλου αυτού περιλαμβάνεται στο πέμπτο κεφάλαιο.

Στο έκτο κεφάλαιο της εργασίας, παρατίθενται τρεις εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν με χρήση του ανωτέρω μοντέλου.

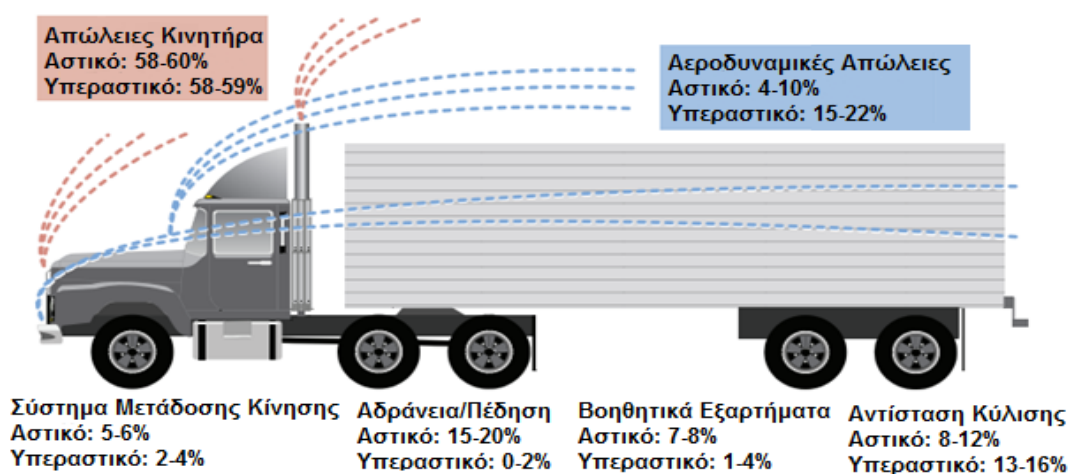
Τέλος, στο έβδομο και όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται αντίστοιχα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διπλωματική εργασία καθώς και οι εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η ανάγκη για την διερεύνηση των θεμάτων που σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμου στα φορτηγά οχήματα έχει απασχολήσει από νωρίς τον κλάδο των μεταφορών καθώς το κόστος του καυσίμου αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες διαμόρφωσης της τιμολογιακής πολιτικής μία μεταφορικής εταιρείας. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται αποτελέσματα/συμπεράσματα εργασιών που αφορούν στη διερεύνηση παραμέτρων κατανάλωσης καυσίμου (υποκεφάλαιο 2.1) καθώς και εργασιών που αφορούν στην ανάπτυξη σχετικών μοντέλων υπολογισμού (υποκεφάλαιο 2.2).

2.1 Παράμετροι κατανάλωσης καυσίμου φορτηγών οχημάτων

Η κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων οι οποίοι συμμετέχουν με διαφορετικό βάρος στο τελικό αποτέλεσμα. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν στα μηχανολογικά χαρακτηριστικά του οχήματος (βαθμός απόδοσης κινητήρα, αριθμός αξόνων, αριθμός και τύπος ελαστικών, σύστημα πέδησης κ.α.), την αεροδυναμική του ελκυστήρα και του ρυμουλκούμενου τρέιλερ, την οδηγική συμπεριφορά καθώς επίσης και παράγοντες που αφορούν στη υψομετρική διαμόρφωση της οδού στην οποία κινείται το όχημα, στις κυκλοφοριακές συνθήκες, σε κανονισμούς που ορίζουν όρια ταχύτητας για το όχημα και την οδό και λοιπά.



Σχήμα 7: Ενεργειακές απώλειες φορτηγού οχήματος όπως προκύπτουν από κύκλο οδήγησης σε οδό με μηδενική κλίση [6]

2.1.1 Χαρακτηριστικά συμβατικών οχημάτων

Τα χαρακτηριστικά ενός φορτηγού οχήματος διακρίνονται σε εσωτερικά που αφορούν στα μηχανολογικά μέρη του οχήματος (κινητήρας, σύστημα μετάδοσης κίνησης κ.α.) και εξωτερικά, δηλαδή τα μέρη του φορτηγού που είναι ορατά με γυμνό μάτι και επιδρούν με το εξωτερικό περιβάλλον.

Κινητήρας

Ο κινητήρας αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα ενός φορτηγού οχήματος καθώς η λειτουργία του αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την κίνηση του. Στους κινητήρες εσωτερικής καύσης συμβατικής τεχνολογίας, τα δύο βασικά στοιχεία που επιδρούν στη κατανάλωση καυσίμου είναι ο τύπος του καυσίμου και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης (κιβώτιο ταχυτήτων).

Τύπος καυσίμου

Ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται από τις συμβατικές μηχανές των φορτηγών οχημάτων είναι το ντίζελ και η βενζίνη. Στους κινητήρες που καταναλώνουν καύσιμο ντίζελ η ανάφλεξη του καυσίμου πραγματοποιείται λόγω της συμπίεσης του εισερχόμενου αέριου μείγματος, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης μηχανισμού δημιουργίας σπινθήρα (όπως στα βενζινοκίνητα οχήματα). Το ντίζελ παράγεται μέσω κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου μεταξύ 200°C και 350°C υπό ατμοσφαιρική πίεση [7]. Η συντριπτική πλειοψηφία των βαρέων φορτηγών εφοδιάζεται με μηχανές ντίζελ. Σύμφωνα με το Diesel Technology Forum [8] το ποσοστό αυτό ξεπερνάει το 90%.

Σύστημα μετάδοσης κίνησης

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης μεταφέρει ενέργεια από τη μηχανή στους τροχούς του οχήματος. Περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, άξονες μετάδοσης κίνησης και διαφορικό για την κατανομή της ισχύος στους τροχούς. Η τυπική απόδοση του κυμαίνεται στο επίπεδο του 90%. Η επιλογή του κατάλληλου κιβωτίου ταχυτήτων ανάλογα με τις ανάγκες και τη χρήση του φορτηγού έχει σοβαρό αντίκτυπο στην οικονομία καυσίμου. Οι τύποι κιβωτίων ταχυτήτων που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων: Αποτελεί τον επικρατέστερο τύπο κιβωτίου ταχυτήτων στα βαρέα φορτηγά [9]. Τυπικά τα κιβώτια αποτελούνται από δέκα, δεκατρείς ή και δεκαοχτώ ταχύτητες, είναι αξιόπιστα και χρησιμοποιούνται για δεκαετίες από τη βιομηχανία φορτηγών λόγω της οικονομικότητας τους αλλά και της υψηλής αποδοτικότητας τους. Το βασικό μειονέκτημα τους έγκειται στη διακοπή της μετάδοσης της ροπής στους τροχούς κατά την αλλαγή ταχυτήτων. Το μειονέκτημα αυτό έχει πολύ περιορισμένες επιπτώσεις στις υπεραστικές και διεθνείς διαδρομές στις οποίες δεν απαιτείται συχνή αλλαγή ταχυτήτων, όμως μπορεί να επιβαρύνει την κατανάλωση καυσίμου όταν οι διαδρομές πραγματοποιούνται σε αστικές περιοχές όπου η αλλαγή ταχυτήτων μπορεί να είναι ιδιαίτερα συχνή.
- Αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων με προσαρμογή ροπής: Σε αντίθεση με το χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, το αυτόματο κιβώτιο ακολουθεί μία τελείως διαφορετική δομή λειτουργίας. Αποτελείται συνήθως από πέντε έως επτά ταχύτητες οι οποίες εναλλάσσονται αυτόματα χωρίς τη παρέμβαση του οδηγού ενώ η ροπή του οχήματος προσαρμόζεται κατάλληλα. Παρόλη τη χαμηλότερη απόδοση τους σε σχέση με τα χειροκίνητα κιβώτια και το υψηλότερο κόστος συντήρησής τους, τα αυτόματα κιβώτια είναι αποδοτικότερα σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των στάσεων του οχήματος είναι πολύ μεγάλος (π.χ. στα αστικά λεωφορεία) και επομένως απαιτείται συνεχής αλλαγή ταχυτήτων.
- Ημιαυτόματο Κιβώτιο Ταχυτήτων: Πρόκειται για ένα κιβώτιο ταχυτήτων του οποίου ο σχεδιασμός βασίζεται στο χειροκίνητο κιβώτιο, ωστόσο η αλλαγή μεταξύ των ταχυτήτων δεν γίνεται χειροκίνητα αλλά ελέγχεται μέσω ενός ηλεκτρονικού συστήματος. Η οικονομία καυσίμου στο σύστημα αυτό μπορεί να ανέλθει σε 5-10% [9]. Γενικά είναι λιγότερο αξιόπιστα και ακριβότερα από τα χειροκίνητα κιβώτια, ωστόσο λόγω των πλεονεκτημάτων τους διεκδικούν ένα μερίδιο της αγοράς.

Ελαστικά

Η αντίσταση κύλισης και κατά συνέπεια τα ελαστικά του οχήματος αποτελούν ένα επίσης σημαντικό παράγοντα στη κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος. Η αντίσταση κύλισης αποτελεί τη δύναμη που απαιτείται προκειμένου να διατηρηθεί η κίνηση του οχήματος σε ευθεία γραμμή, με σταθερή ταχύτητα. Η συμμετοχή των αντιστάσεων αυτών στις συνολικές απώλειες ενός οχήματος κυμαίνεται μεταξύ 8-12% για αστικές μετακινήσεις και μεταξύ 13-16% για μετακινήσεις σε υπεραστικές οδούς [10]. Σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας του Καναδά (National Research Council of Canada) η αντίσταση κύλισης οφείλεται σε:

- Ελαστική παραμόρφωση (80-95%)
- Οι τριβές μεταξύ οδοστρώματος και ελαστικού τροχού (0-15%)
- Αεροδυναμικές απώλειες λόγω της κυκλοφορίας του αέρα μέσα και γύρω από το ελαστικό (0-5%)

Οι απώλειες ενέργειας λόγω παραμόρφωσης του υλικού οφείλονται στην εσωτερική τριβή καθώς το ελαστικό παραμορφώνεται προκειμένου να διατηρήσει την επαφή του με το οδόστρωμα. Η δύναμη τριβής ανάμεσα στο ελαστικό και το οδόστρωμα είναι αυτή που επιτρέπει τη κίνηση, την επιτάχυνση, το φρενάρισμα και την αλλαγή πορείας του οχήματος.

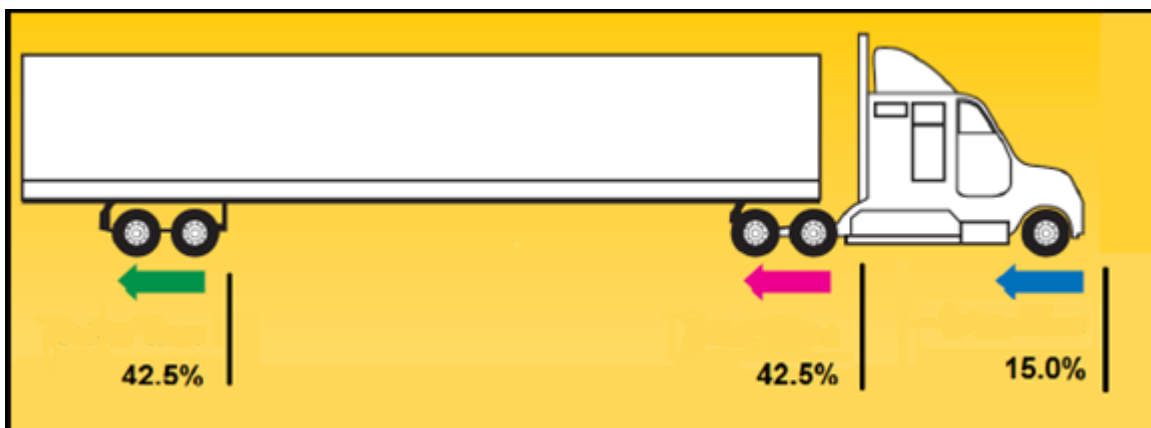
Τεχνικές παράμετροι του ελαστικού που επηρεάζουν την αντίσταση κύλισης είναι: [11]

- Ο τρόπος κατασκευής και η διάταξη του οπλισμού του ελαστικού. Η μετάβαση από τα διαγώνια ελαστικά σε ακτινωτά αποτελεί μία από τις σημαντικότερες βελτιώσεις στην τεχνολογία των ελαστικών, καθώς προσφέρει 30-40% μείωση στην αντίσταση κύλισης καθώς και 10% οικονομία καυσίμου.
- Το πέλμα του ελαστικού. Υπολογίζεται πως 30-50% της αντίστασης κύλισης προέρχεται από το πέλμα. Επομένως, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη χημική σύσταση του πέλματος έτσι ώστε να είναι πολύ ανθεκτικό στη τριβή, να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και καλή συμπεριφορά σε υγρό οδόστρωμα.

- Το πάχος του πέλματος επιδρά σημαντικά στην οικονομία καυσίμου. Παρατηρείται πως όσο περισσότερο φθείρεται το πέλμα ενός ελαστικού τόσο μειώνεται και η κατανάλωση καυσίμου.
- Το σχέδιο του πέλματος συνδέεται με την οικονομία καυσίμου καθώς τα πιο "ρηχά" πέλματα είναι περισσότερο οικονομικά από τα "βαθύτερα". Επίσης σχέδια με νευρώσεις τείνουν να είναι αποδοτικότερα από σχέδια με προεξοχές.
- Οι εξωτερικές στρώσεις του ελαστικού συνεισφέρουν σε ποσοστό 50-65% στη αντίσταση κύλισης του ελαστικού.
- Η πίεση του ελαστικού έχει σαφή επίδραση στην οικονομία καυσίμου. Η διατήρηση της κατάλληλης πίεσης στα ελαστικά βελτιστοποιεί το βαθμό κάμψης του ελαστικού, το βαθμό ευστάθειας του και την απορρόφηση των κραδασμών.

Για τον υπολογισμό της αντίστασης κύλισης χρησιμοποιείται η σταθερά αντίστασης κύλισης C_{RR} , που αποτελεί το λόγο της αντίστασης κύλισης προς το φορτίο του ελαστικού. Η σταθερά είναι αδιάστατη και για διάφορους τύπους φορτηγών οχημάτων βαριάς χρήσης κυμαίνεται από 0.004 μέχρι 0.009.

Η αντίσταση κύλισης που δέχεται κάθε ελαστικό εξαρτάται και από τη θέση στην οποία είναι τοποθετημένο στον ελκυστήρα ή στο ρυμουλκούμενο όχημα. Σύμφωνα με τα Αμερικανικά πρότυπα τα ποσοστά αντίστασης κύλισης που δέχονται οι τροχοί φαίνεται στο Σχήμα 8:



Σχήμα 8: Ποσοστά αντίστασης κύλισης που δέχονται οι τροχοί ενός Αμερικανικού φορτηγού οχήματος ανάλογα της θέσης τους [10]

Τέλος, αξιοσημείωτη είναι πρόοδος στο τομέα των ελαστικών των φορτηγών οχημάτων που επήλθε με την χρήση των ελαστικών ενιαίας ευρείας βάσης (New-Generation Wide-Base Single) όπου τα παραδοσιακά διπλά ελαστικά αντικαθίστανται από ένα φαρδύτερου πέλματος. Σύμφωνα με έρευνες, η οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνεται κυμαίνεται από 5-10% [10].

Αεροδυναμική αντίσταση

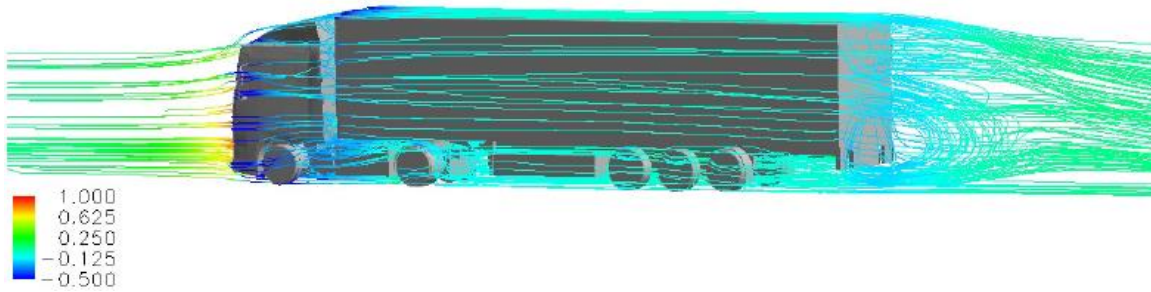
Η αεροδυναμική αντίσταση είναι η δύναμη που αντιστέκεται στη κίνηση ενός σώματος εντός του ατμοσφαιρικού αέρα. Η τιμή της αποτελεί συνάρτηση του τετραγώνου της σχετικής ταχύτητας ανάμεσα στο σώμα και τον περιβάλλοντα αέρα. Σε κατάσταση νηνεμίας η αεροδυναμική αντίσταση υπολογίζεται ως εξής:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho u^2 C_D A \quad (2.1)$$

όπου:

- F_D : η αντίσταση του αέρα (N)
- ρ : η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)
- u : η ταχύτητα του οχήματος (m/s)
- C_D : ο αεροδυναμικός συντελεστής
- A : η πρόσοψη του οχήματος (m^2)

Η εξάρτηση της αεροδυναμικής αντίστασης από το τετράγωνο της ταχύτητας με την οποία κινείται το όχημα έχει ως συνέπεια η αύξηση της να οδηγεί σε εκθετική αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης. Σε κατάσταση νηνεμίας, ένα όχημα που διπλασιάζει την ταχύτητα του, τετραπλασιάζει την αεροδυναμική αντίσταση που υφίσταται. Επομένως η συμμετοχή της στη κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος είναι σαφώς μεγαλύτερη για μεγαλύτερες ταχύτητες, δηλαδή στις μετακινήσεις στο εθνικό δίκτυο παρά στις ενδοαστικές. Συγκεκριμένα, για ένα πλήρως φορτωμένο φορτηγό όχημα 40 τόνων, οι αεροδυναμικές απώλειες ανέρχονται στο 10-25% για κινήσεις μέσα στη πόλη, ενώ αγγίζουν το 35-55% για υπεραστικές μετακινήσεις. [9]



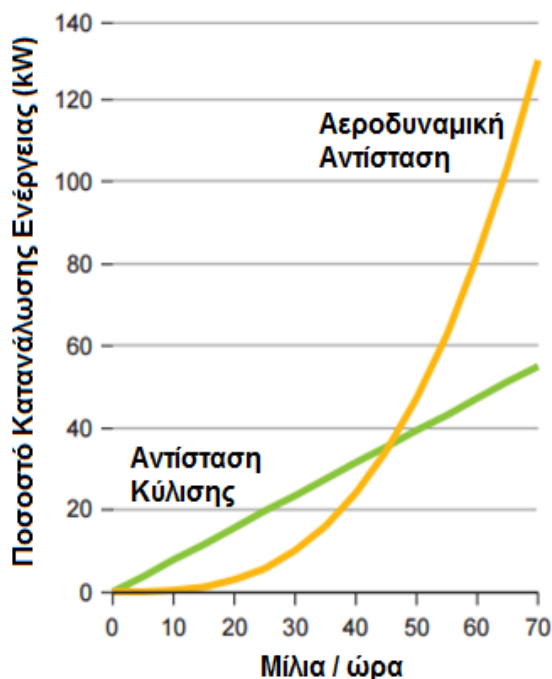
Σχήμα 9: Ροή του αέρα γύρω από ένα τυπικό Ευρωπαϊκό φορτηγό όχημα [12]

Καθώς η αεροδυναμική αντίσταση ενός οχήματος εξαρτάται από το τετράγωνο της ταχύτητας του, η ποσοστιαία συμμετοχή των απωλειών λόγω της αεροδυναμικής αντίστασης μεταβάλλεται σημαντικά με την αύξηση της ταχύτητας. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει την σχέση αυτή σύμφωνα με σχετική μελέτη του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας του Καναδά.

Πίνακας 1: Συμμετοχή Αεροδυναμικής Αντίστασης στις συνολικές απώλειες συναρτήσει της ταχύτητας [13]

Ταχύτητα Οχήματος (χλμ/ώρα)	Αεροδυναμική Αντίσταση (%)
32	28
53	33
64	36
80	50
96	62
105	67
113	70

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας ενός φορτηγού οχήματος για τις αεροδυναμικές αντιστάσεις και αντιστάσεις κύλισης σε συνάρτηση με την ταχύτητα:



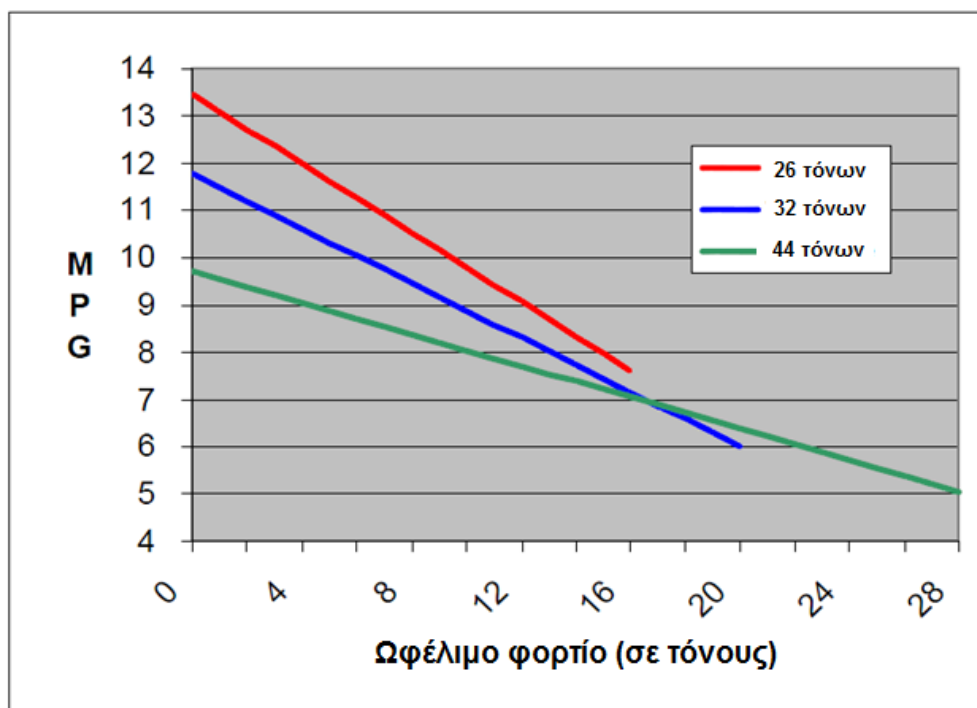
Σχήμα 10: Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας της αεροδυναμικής αντίστασης και της αντίστασης κύλισης σε συνάρτηση της ταχύτητας, Υποθέσεις: $C_{RR}=0.005$, $C_D=0.65$, $A=10m^2$, Βάρος= 36000kg [9]

Βάρος οχήματος

Το βάρος ενός φορτηγού οχήματος αποτελεί ένα ακόμα καθοριστικό παράγοντα στην κατανάλωση καυσίμου. Η ενέργεια που απαιτείται για την επιτάχυνση και τη διατήρηση της ταχύτητας ενός οχήματος εξαρτάται και από το μεικτό βάρος (μεταφερόμενο φορτίο και απόβαρο ελκυστήρα και οχήματος). Επιπλέον, το βάρος επιδρά και στην απόδοση του συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Η επίδραση αυτή εντείνεται σημαντικά με τις συνεχείς αλλαγές ταχύτητας, μία κατάσταση που είναι συνήθης στα φορτηγά οχήματα που εκτελούν δρομολόγια εντός αστικών κέντρων.

Η οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνεται σε ένα ελαφρύτερο φορτηγό όχημα μεγάλων αποστάσεων υπολογίζεται σε 0.4 έως 1% ανά 450 kg μείωσης του βάρους του

οχήματος για κίνηση σε ομαλό έδαφος και 1.5 έως 2% για κίνηση σε ανηφορικό έδαφος [9]. Σύμφωνα με την εταιρία ελαστικών Bridgestone το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο παράγοντα κατανάλωσης καυσίμου καθώς μία μείωση φορτίου κατά 4500 kg οδηγεί σε οικονομία καυσίμου 3.9%. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η σχέση ανάμεσα στο ωφέλιμο μεταφερόμενο φορτίο και την κατανάλωση του φορτηγού οχήματος σε μίλια ανά γαλόνι (MPG) για φορτηγά οχήματα των 26, των 32 και των 44 τόνων. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως για ένα φορτηγό όχημα των 44 τόνων, η τιμή του MPG (αντίστοιχη του χλμ/λίτρο, και όχι λίτρα/χλμ όπως συνηθίζεται στην Ευρώπη) μειώνεται όσο αυξάνεται το ωφέλιμο φορτίο (δηλαδή με ένα λίτρο καυσίμου πραγματοποιούνται λιγότερα χιλιόμετρα). Προκύπτει ότι για την ίδια ποσότητα καυσίμου, ένα φορτηγό που κινείται χωρίς ωφέλιμο φορτίο διανύει σχεδόν τη διπλάσια απόσταση από ότι ένα φορτηγό που μεταφέρει ωφέλιμο φορτίο 29 τόνων.

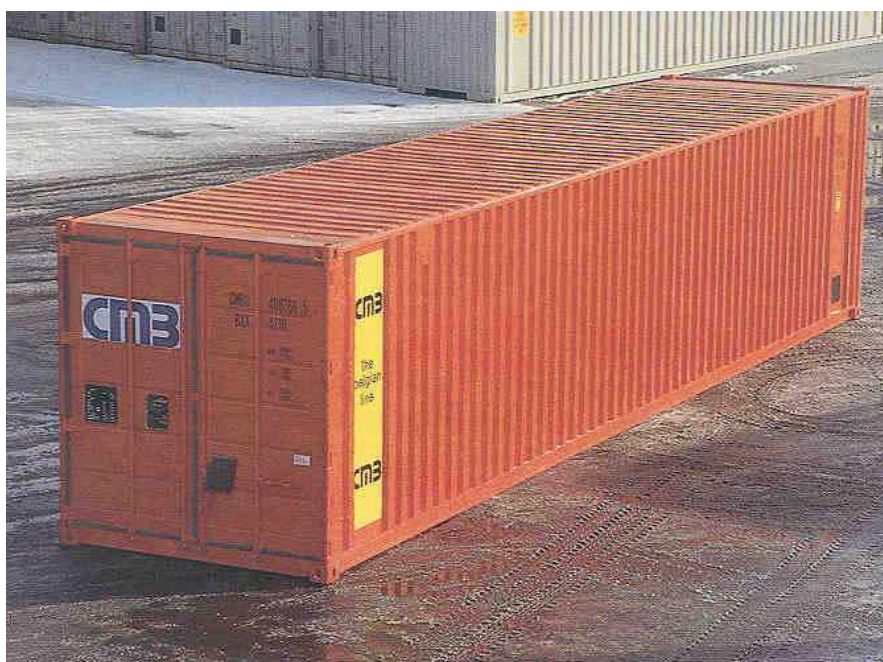


Σχήμα 11: Διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο για φορτηγά οχήματα [14]

Το συνολικό βάρος ενός φορτηγού οχήματος που μεταφέρει εμπορευματοκιβώτια προκύπτει ως το άθροισμα των βαρών του ελκυστήρα, του τρέιλερ, του απόβαρου του εμπορευματοκιβωτίου και του ωφέλιμου φορτίου. Η χρήση των εμπορευματοκιβωτίων έχει επιτρέψει τη ραγδαία ανάπτυξη των συνδυασμένων μεταφορών τα τελευταία χρόνια. Ανάλογα με το είδος του μεταφερόμενου φορτίου, χρησιμοποιείται και το κατάλληλο εμπορευματοκιβώτιο [15]. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ορισμένων από τους συνήθεις τύπους εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιούνται στις συνδυασμένες μεταφορές [16,17].

Πίνακας 2: Τυπικές διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων κατά ISO [18]

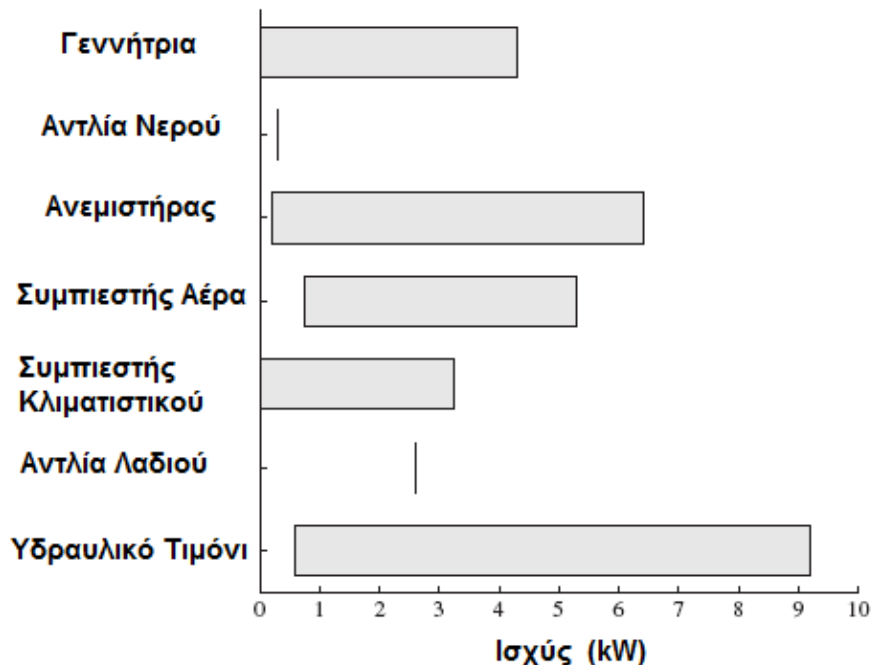
		20'	40'	40' (High Cube)	45' (High Cube)
Μήκος	(m)	6.058	12.192	12.192	13.176
Πλάτος	(m)	2.438	2.438	2.438	2.438
Ύψος	(m)	2.591	2.591	2.896	2.896
Μεικτό Βάρος (max)	(kg)	30.400	30.400	30.400	30.400
Απόβαρο	(kg)	2.200	3.800	3.900	4.800
Ωφέλιμο Φορτίο	(kg)	28.200	26.600	26.580	25.600



Σχήμα 12: Εμπορευματοκιβώτιο 40' γενικής χρήσης [42]

Λοιπές συσκευές οχήματος

Ένα φορτηγό όχημα είναι εξοπλισμένο με μία σειρά υποστηρικτικών συσκευών (auxiliary units) η λειτουργία των οποίων επιβαρύνει τη κατανάλωση καυσίμου. Πρόκειται για συσκευές εντός της καμπίνας, όπως το σύστημα κλιματισμού-θέρμανσης, ο ανεμιστήρας, το ψυγείο καθώς και εξαρτήματα εκτός αυτής, όπως οι αντλίες νερού και λαδιού. Η συμμετοχή των συσκευών αυτών στην κατανάλωση είναι μικρότερη σε σύγκριση με των υπολοίπων παραμέτρων αλλά δεν μπορεί να αμεληθεί. Στο Σχήμα 13 εμφανίζεται η κατανάλωση ισχύος (ελάχιστη και μέγιστη) για ένα φορτηγό όχημα της εταιρίας Scania που ο κινητήρας του λειτουργεί στις 1400 στροφές ανά λεπτό.



Σχήμα 13: Ελάχιστη – Μέγιστη Ισχύς που απαιτείται για εξαρτήματα, Scania (1400 σ.α.λ.) [19]

Ορισμένες από τις συσκευές αυτές εξακολουθούν να λειτουργούν και να λαμβάνουν ενέργεια από τον κινητήρα, ακόμα και όταν το όχημα δεν κινείται αλλά βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Πρόκειται, για περιόδους στις οποίες το όχημα δεν κινείται όμως ο κινητήρας του λειτουργεί σε κατάσταση “ρελαντί” (στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως idling), δηλαδή ο ρυθμός λειτουργίας του βρίσκεται στις χαμηλότερες στροφές ανά λεπτό. Στη κατάσταση αυτή, ο κινητήρας παρέχει ενέργεια για μία σειρά από λειτουργίες

όπως η λειτουργία του συστήματος κλιματισμού ή θέρμανσης καθώς και η λειτουργία της γεννήτριας για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε συσκευές στο εσωτερικό της καμπίνας (λαμπτήρες φωτισμού, ραδιόφωνο κ.α.). Επιπλέον, με την λειτουργία της μηχανής σε κατάσταση ρελαντί επιτυγχάνεται η διατήρηση της θερμοκρασίας της μηχανής, κάτι που είναι απαραίτητο σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς πολύωρη παραμονή ενός σβηστού κινητήρα σε περιβάλλον με τιμές θερμοκρασίας υπό του μηδενός δύναται να καταστήσει αδύνατη την επανεκκίνηση του. Λόγω των ανωτέρω, η μηχανή ενός φορτηγού μπορεί να λειτουργεί ακόμη και αρκετές ώρες την ημέρα σε κατάσταση ρελαντί για να τροφοδοτήσει τις βοηθητικές αυτές συσκευές (π.χ. ένα φορτηγό που αναμένει για μεγάλο διάστημα σε λιμάνι για παραλαβή ενός εμπορευματοκιβωτίου, διατηρώντας το κλιματιστικό του σε λειτουργία λόγω της παραμονής του οδηγού εντός της καμπίνας).

Όταν το όχημα βρίσκεται εν κινήσει, η συμμετοχή των βοηθητικών συσκευών στη συνολική κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται στο 7-8% για φορτηγά που κινούνται σε αστικές οδούς και στο 1-5% για φορτηγά που κινούνται σε υπεραστικό δίκτυο [6]. Η κατασκευάστρια εταιρία κινητήρων Cummins προσδιορίζει τη συμμετοχή των λειτουργιών αυτών στο 2.5% της συνολικής κατανάλωσης [20].

2.1.2 Χαρακτηριστικά οχημάτων νέων τεχνολογιών

Η ραγδαία εξέλιξη σε διάφορους τεχνολογικούς τομείς που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια έχει επηρεάσει καθοριστικά και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα οδικά οχήματα. Λόγω της ανάγκης για την επίτευξη οικονομίας στην κατανάλωση καυσίμου των φορτηγών οχημάτων πολλές από αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις υιοθετήθηκαν πρόθυμα από την βιομηχανία κατασκευής φορτηγών οχημάτων. Μεταξύ των καινοτομιών αυτών περιλαμβάνονται:

Νέοι τύποι καυσίμων

- Βιοντίζελ (Biodiesel): Το βιοντίζελ πρόκειται συνήθως για ένα μίγμα με βάση το συμβατικό diesel. Τα συνηθέστερα μίγματα βιοντίζελ που βρίσκονται στην αγορά είναι το B20, με περιεκτικότητα 20% σε βιοντίζελ και 80% σε συμβατικό ντίζελ, και το B5, με περιεκτικότητα 5% σε βιοντίζελ και 95% σε απλό ντίζελ. Σε γενικές

γραμμές, τα δύο αυτά μίγματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους περισσότερους κινητήρες diesel χωρίς να απαιτείται κάποιου είδους μετατροπή τους. Το βιοντίζελ παράγεται από μία μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών βιομάζας και οργανικής ύλης που περιλαμβάνει γεωργικά έλαια, ανακυκλωμένο λάδι μαγειρικής και λίπη ζώων [21].

- Φυσικό αέριο: Πρόκειται για ένα μίγμα υδρογονανθράκων καθαρής καύσης, κυρίως μεθανίου, που παράγει σημαντικά λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, αιωρούμενα σωματίδια και υποξείδιο του αζώτου σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Οι συνηθέστερες μορφές του είναι το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) και το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) με το δεύτερο να αποτελεί μία καλή λύση για οχήματα μεγάλων αποστάσεων. Τα CNG και LNG θεωρούνται ως εναλλακτικά καύσιμα από το 1992. Η ιπποδύναμη, η επιτάχυνση καθώς και η ταχύτητα πορείας ενός οχήματος που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο είναι συγκρίσιμη με αυτές των αντίστοιχων συμβατικών οχημάτων βενζίνης και ντίζελ, ενώ στα πλεονεκτήματα του βρίσκεται και η χαμηλή του τιμή. Αντίθετα, η αυτονομία που παρέχει το φυσικό αέριο, σε γενικές γραμμές, είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή των συμβατικών καυσίμων λόγω της χαμηλότερης ενεργειακής πυκνότητας του φυσικού αερίου.

Οι κατηγορίες των οχημάτων που κινούνται με φυσικό αέριο είναι: (α) οχήματα σχεδιασμένα να κινούνται μόνο με φυσικό αέριο (β) οχήματα που διαθέτουν δύο ξεχωριστά συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου τόσο φυσικού αερίου όσο και βενζίνης και (γ) διπλού καυσίμου: πρόκειται κυρίως για φορτηγά βαρέας χρήσης που χρησιμοποιούν συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου φυσικού αερίου και χρησιμοποιούν ντίζελ για την ανάφλεξη. Τα φορτηγά μεγάλων αποστάσεων χρησιμοποιούν είτε τη μέθοδο διπλού καυσίμου, είτε κινούνται μόνο με φυσικό αέριο, ενώ το LNG, αν και ακριβότερη εκ των δύο επιλογών, προτιμάται από τα φορτηγά μεγάλων αποστάσεων, καθώς λόγω της υγρής του μορφής επιτρέπει την αποθήκευση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, κάτι που μεταφράζεται σε μεγαλύτερη αυτονομία [22].

- Diesel electric Hybrid: Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) τροφοδοτούνται από ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης συμβατικού ή εναλλακτικού καυσίμου καθώς και ένα ηλεκτρικό κινητήρα που τροφοδοτείται από μία μπαταρία. Τα HEV συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα υψηλής οικονομίας καυσίμου και χαμηλών εκπομπών μαζί με την ισχύ και την αυτονομία των συμβατικών οχημάτων. Συγκεκριμένα, τα υβριδικά ηλεκτρικά-ντίζελ τροφοδοτούνται παράλληλα από ένα κινητήρα ντίζελ και έναν ηλεκτροκινητήρα. Ο κινητήρας ντίζελ δίνει ισχύ στο όχημα και παράγει ηλεκτρική ενέργεια για τον ηλεκτροκινητήρα, η ισχύς του οποίου προέρχεται από μία γεννήτρια συνδεδεμένη με μία μπαταρία ή άλλη συσκευή συσσώρευσης ενέργειας. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα επωφελής για βαρέα οχήματα που πραγματοποιούν συχνές στάσεις καθώς το ηλεκτρικό μοτέρ τροφοδοτείται από την ενέργεια που συλλέγεται κατά τη διάρκεια της πέδησης [23].

Κιβώτιο ταχυτήτων

Οι ανερχόμενες τεχνολογίες σχετικά με το κιβώτιο ταχυτήτων των φορτηγών οχημάτων είναι οι εξής:

- Κιβώτιο Ταχυτήτων Διπλού Συμπλέκτη (Dual-clutch transmission)
Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιδιώκει να παρέχει τα πλεονεκτήματα του ημιαυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων εξαλείφοντας παράλληλα τις διακοπές ροπής που σχετίζονται με την δομή του χειροκίνητου. Και σε αυτή τη περίπτωση η εναλλαγή των ταχυτήτων γίνεται αυτοματοποιημένα, ενώ αν και η τεχνολογία έχει εισαχθεί σε οχήματα ελαφριάς χρήσης βρίσκεται ακόμα σε εξελικτικό στάδιο σε ό,τι αφορά τα φορτηγά [9].
- Κιβώτιο Συνεχώς Μεταβαλλόμενης Μετάδοσης (Continuously Variable Transmission)
Πρόκειται για ένα απολύτως αυτοματοποιημένο κιβώτιο το οποίο αποτελείται από ένα χαλύβδινο ιμάντα που συνδέει δύο τροχαλίες μεταβαλλόμενης διαμέτρου. Η μία τροχαλία είναι συνδεδεμένη με την έξοδο ισχύος του κινητήρα και η άλλη με τον άξονα μετάδοσης της κίνησης. Η κάθε τροχαλία αποτελείται από δύο δίσκους

που αποκλίνουν ή συγκλίνουν με τη βοήθεια ενός υδραυλικού μηχανισμού, αυξομειώνοντας το πλάτος έδρασης του ιμάντα. Έτσι, μεταβάλλεται η ακτίνα περιστροφής και κατ' επέκταση η σχέση μετάδοσης, η οποία ισούται με το λόγο των δύο διαμέτρων. Το αποτέλεσμα είναι το αυτοκίνητο να αυξάνει ταχύτητα, ενώ οι στροφές του κινητήρα διατηρούνται σταθερές, συνήθως κοντά στη μέγιστη απόδοση, σε αντίθεση με τα συμβατικά κιβώτια όπου απαιτείται η συνεχής αλλαγή σχέσεων ώστε ο κινητήρας να φτάσει σε ιδανικούς ρυθμούς περιστροφής. Ωστόσο, και σε αυτή τη περίπτωση η εφαρμογή ενός τέτοιου κιβωτίου σε βαρέα οχήματα βρίσκεται ακόμα σε στάδιο εξέλιξης [24].

2.1.3 Χαρακτηριστικά οδού

Οδόστρωμα

Οδόστρωμα είναι η ανώτερη στρώση της διατομής της οδού, επί της οποίας κυκλοφορούν τα οδικά οχήματα. Οι παράγοντες που καθορίζουν ποιος τύπος οδοστρώματος θα κατασκευαστεί είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος και η σύνθεση του, το αρχικό κόστος κατασκευής, το κόστος συντήρησης και η δυνατότητα εξεύρεσης υλικών. Καλό θεωρείται το οδόστρωμα που προσφέρει άνεση και ασφάλεια στα οχήματα που το χρησιμοποιούν και συγχρόνως δεν υφίσταται εύκολη φθορά. Επίσης, το πλάτος ενός οδοστρώματος πρέπει να καλύπτει τις σημερινές αλλά και μελλοντικές ανάγκες από άποψη κυκλοφορίας, να λαμβάνει υπόψη τις αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων και της εσωτερικής οριογραμμής των ερεισμάτων και την απόσταση ασφαλείας που πρέπει να υπάρχει ανάμεσα σε δύο οχήματα που κινούνται σε ένα σημείο την ίδια χρονική στιγμή [25].

Η υφή του οδοστρώματος ή η ομαλότητα (smoothness) του επηρεάζει την αντίσταση κύλισης επιδρώντας στην απώλεια ενέργειας εξαιτίας της τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Μία λεπτομερής εργασία επί του θέματος πραγματοποιήθηκε από το Federal Highway Administration (FHWA) κατά τη μελέτη WestTrack [26]. Τα αποτελέσματα από αυτή υποδήλωσαν πως η κίνηση των φορτηγών σε ελαφρώς ομαλότερα οδοστρώματα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου κατά 4,5%. Επίσης, τα ομαλά οδοστρώματα μπορούν να μειώσουν τα λειτουργικά κόστη των οχημάτων καθώς και την κόπωση των οδηγών ελαχιστοποιώντας την αναπήδηση των

ελαστικών και τις επιπτώσεις του φορτίου. Στοιχεία από τα υπουργεία Μεταφορών του Oregon και της Washington δείχνουν καθαρά πως τα ασφάλτινα οδοστρώματα είναι πιο λεία από ότι τα τσιμεντένια. Εν κατακλείδι, προκύπτει πως όσο πιο λείο είναι το οδοστρώμα τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομία καυσίμου για το όχημα [27].

Κλίση

Η κλίση μίας επιφάνειας αντιστοιχεί στη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ δύο επιπέδων, εκφράζεται σε ποσοστό και μετριέται σε μοίρες ή βαθμούς. Το ένα επίπεδο είναι το κεκλιμένο και το δεύτερο είναι το οριζόντιο. Επίσης, διακρίνεται σε κατά μήκος και σε εγκάρσια (επίκλιση). Η κατά μήκος αποτελεί τη κλίση κατά μήκος του άξονα του δρόμου ενώ για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας, λειτουργικού κόστους, εξοικονόμησης ενέργειας, μειωμένης ρύπανσης και κυκλοφοριακής ποιότητας θα πρέπει να διατηρούνται κατά το δυνατόν μικρές. Επιπλέον, προκειμένου να προστατευθούν το περιβάλλον και οι οικιστικές περιοχές, καθώς και να μειωθεί το κόστος κατασκευής, οι κλίσεις της οδού θα πρέπει να προσαρμόζονται κατά το δυνατό και στο ανάγλυφο του εδάφους [28]. Η κατά μήκος κλίση της οδού αποτελεί ένα από τους βασικότερους παράγοντες στο μοντέλο κατανάλωσης καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος καθώς η ελκτική ισχύς που απαιτείται από τον κινητήρα για την κίνηση σε ανωφέρεια αυξάνει σημαντικά τη κατανάλωση του. Επομένως αποτελεί αναμφισβήτητα, μία παράμετρο που πρέπει να ληφθεί υπόψη προκειμένου το μοντέλο κατανάλωσης να ανταποκρίνεται στη πραγματικότητα. Στον αντίποδα, η επίκλιση της οδού αποτελεί ένα στοιχείο της χάραξης της οδού που εξυπηρετεί σε λόγους ασφάλειας αλλά και οδηγικής άνεσης του οδικού τμήματος.

Οριζοντιογραφικές καμπύλες

Η οδός, όπως και κάθε τεχνικό έργο, είναι έργο τρισδιάστατο. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η απεικόνιση του σε μία δισδιάστατη επιφάνεια χρησιμοποιούνται οι προβολές της οδού σε τρία επιμέρους επίπεδα. Η οριζοντιογραφία αφορά τη κατακόρυφη προβολή της οδού στο οριζόντιο επίπεδο, η οποία αποτελείται από μία αλληλουχία ευθύγραμμων και καμπύλων τμημάτων. Η καμπυλότητα αυτή, στο οριζόντιο επίπεδο, δημιουργεί μία αντίσταση στη κίνηση του οχήματος κατά μήκος του δρόμου καθώς το φορτηγό αναγκάζεται να αλλάζει τη πορεία του με το στρίψιμο των τροχών

του. Ωστόσο, το ποσοστό συμμετοχής της αντίστασης αυτής στη συνολική αντίσταση που δέχεται ένα φορτηγό όχημα το οποίο κινείται σε μία οδό υψηλών ταχυτήτων είναι αμελητέα, χάρη στον ευνοϊκό γεωμετρικό σχεδιασμό αυτών [29].

2.1.4 Οδηγική συμπεριφορά

Η κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να θεωρηθεί ανεξάρτητη του τρόπου οδήγησης του. Στη περίπτωση των φορτηγών μεγάλων αποστάσεων δε, η οικονομία καυσίμου επηρεάζεται σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό από το προφίλ οδήγησης που ακολουθείται από τους εκάστοτε επαγγελματίες οδηγούς. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά οδήγησης που έχουν αντίκτυπο στη κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος βαριάς χρήσης είναι τα εξής:

- η επιτάχυνση: ο αριθμός, η συχνότητα καθώς και η δριμύτητα των γρήγορων εκκινήσεων καθώς και των απότομων επιταχύνσεων στη διάρκεια της διαδρομής.
- η πέδηση: τα απότομα φρεναρίσματα καθώς και η διάρκεια αυτών.
- οι υψηλές ταχύτητες: διατήρηση ταχυτήτων σε υψηλά επίπεδα για μεγάλες χρονικές περιόδους. Σύμφωνα με την εταιρία Bridgestone [30] η ταχύτητα ενός φορτηγού οχήματος αποτελεί το υπ' αριθμό ένα παράγοντα στη κατανάλωση καυσίμου καθώς συνδέεται άρρηκτα με τις βασικές αντιστάσεις του αέρα και των ελαστικών. Μελέτη της συμπεραίνει πως η μείωση της μέσης ταχύτητας από τα 120 χλμ/ώρα στα 90 χλμ/ώρα οδηγεί σε μία μείωση της κατανάλωσης κατά 39%, ενώ παράλληλα η αποδοτικότητα της οικονομίας καυσίμου από τα ελαστικά μειώνεται κατά 27%.
- ο χρόνος στον οποίο ο κινητήρας βρίσκεται σε "ρελαντ": ο χρόνος για τον οποίο ο οδηγός διατηρεί τη μηχανή του φορτηγού σε αυτή τη κατάσταση, προκειμένου να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια για διάφορες χρήσεις εντός αυτού.
- οι απότομες αλλαγές πορείας του φορτηγού: η ύπαρξη και η συχνότητα των επιπτώσεων όπου απαιτείται απότομη αλλαγή πορείας από τον οδηγό.

Τα χαρακτηριστικά αυτά καθώς και το ποσοστό συμμετοχής τους στη τελική κατανάλωση ενός φορτηγού οχήματος μελετήθηκαν από την εταιρία SmartDrive στην εργασία με τίτλο: "Fuel Efficiency Study: Commercial Transportation" [31]. Αποτέλεσμα

αυτής της μελέτης είναι πως το 80% της σπατάλης καυσίμου που οφείλεται σε μη οικονομική οδήγηση είναι σε θέση να βελτιωθεί βάσει ενός ηπιότερου τρόπου οδήγησης. Στο Σχήμα 14 διακρίνεται η δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου καθενός από τα παραπάνω χαρακτηριστικά οδήγησης:



Σχήμα 14: Δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου με κατάλληλη οδηγική συμπεριφορά [31]

2.2 Μοντέλα κατανάλωσης φορτηγών οχημάτων

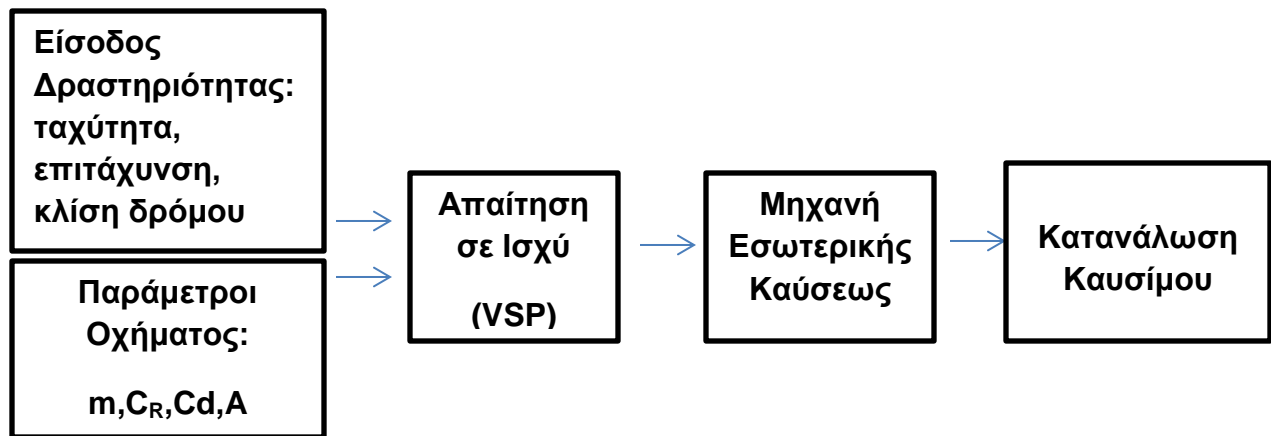
Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάσθηκαν μεθοδολογίες-μοντέλα, οι οποίες περιλαμβάνουν υπολογιστικά εργαλεία ή και βάσεις δεδομένων για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου ενός οχήματος. Στη συνέχεια, ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση για κάθε μία από τις προαναφερθείσες μεθοδολογίες καθώς και πίνακες που παρουσιάζουν συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε μεθοδολογίας.

Το Μοντέλο PERE της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α

Το μοντέλο PERE(Physical Emission Rate Estimator) [32] σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει το μοντέλο καταγραφής ενέργειας και εκπομπών MOVES (Motor Vehicle Emissions Simulator) της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α (EPA). Το MOVES αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα πρόβλεψης και εκτίμησης των εκπομπών ρύπων που εκλύονται από τα οχήματα ενώ παράλληλα ορίζει τα επιτρεπτά επίπεδα για συγκεκριμένους ρύπους, αέρια του θερμοκηπίου και τοξικά αέρια. Αποτελεί ένα αυτόνομο υπολογιστικό φύλλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε ενημερωμένο χρήστη, καθώς υπολογίζει τιμές κατανάλωσης καυσίμου από την αντλία του οχήματος ως τον τροχό (Pump-to-Wheel), ουσιαστικά δηλαδή την κατανάλωση του οχήματος που εξετάζεται. Το μοντέλο χρησιμοποιεί αρχές φυσικής και κινηματικής προκειμένου να μοντελοποιήσει το σύστημα προώθησης του οχήματος, ενώ βασίζεται σε ένα συμπαγές αλλά ταυτόχρονα απλό μοντέλο για τη μηχανή εσωτερικής καύσης. Το PERE δέχεται ως είσοδο παραμέτρους του οχήματος, στη συνέχεια υποβάλλει το όχημα σε κύκλους οδήγησης που ορίζονται από το χρήστη και υπολογίζει τιμές κατανάλωσης καυσίμου ανά δευτερόλεπτο.

Το μοντέλο αναπτύχθηκε για τη μελέτη οχημάτων βαριάς και ελαφριάς χρήσης τόσο των συμβατικών τεχνολογιών, όπως η βενζίνη και το ντίζελ, όσο και για προηγμένες τεχνολογίες όπως η ενισχυμένη βενζίνη/ντίζελ, υβριδικούς, ηλεκτρικούς και άλλους κινητήρες. Επιπλέον, στοχεύει σε μία συνολική εφαρμογή και για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε για να μοντελοποιήσει χαρακτηριστικούς τεχνολογικούς τύπους οχημάτων παρά συγκεκριμένα οχήματα. Επομένως, εξαιτίας των προσεγγίσεων που έχουν πραγματοποιηθεί η ακρίβεια υπολογισμού της κατανάλωσης σε συγκεκριμένα οχήματα δεν αναμένεται να είναι καλύτερη του 10%.

Το μοντέλο είναι κατά βάση ένα μοντέλο “αντίστροφης κατεύθυνσης” (backwards-looking) καθώς δέχεται ένα κύκλο οδήγησης (στιγμιαία ταχύτητα σε συνάρτηση με το χρόνο) και καταλήγει στη κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για τη πραγματοποίηση αυτού. Οι απαιτήσεις ισχύος προκύπτουν λόγω υπερνίκησης της αδράνειας, της κλίσης του δρόμου, της τριβής των ελαστικών και των αεροδυναμικών απωλειών. Η συνάρτηση των απαιτήσεων ενέργειας φαίνονται στο Σχήμα 15:



Σχήμα 15: Μοντέλο Ροής Συμβατικού Κινητήρα Εσωτερικής Καύσεως [32]

Η απαίτηση ισχύος (Watts) αποτελεί την ελκτική ισχύ:

$$P_b = VSP * m = mv[(a(1 + \varepsilon) + g * \text{grade} + gC_R] + 0.5\rho C_D A_f v^3 \quad (3.1)$$

όπου:

v : η ταχύτητα του οχήματος (υποθέτοντας μη ύπαρξη αντίθετου ανέμου) (m/s)

a : η επιτάχυνση του οχήματος (m/s²)

ε : παράγοντας που αντιπροσωπεύει τις περιστρεφόμενες μάζες

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.8 m/s²)

grade : η κλίση του δρόμου

C_R : η αντίσταση κύλισης

ρ : η πυκνότητα του αέρα (kg/m³)

C_D : ο συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης

A_f : η πρόσωση του οχήματος (m²)

m : η μάζα του οχήματος σε τόνους

VSP^2 : απαίτηση σε ισχύ για το όχημα

Στη συνέχεια, με βάση την ελκτική ισχύ, όπως αυτή υπολογίζεται από τη σχέση 3.1 η στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται ως εξής:

² Vehicle Specific Power (VSP): αποτελεί όρο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των εκπομπών που εκλύονται από οχήματα. Η χρήση του όρου έγινε για πρώτη φορά από τον J. L. Jimenez στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης. (Jiménez, J. L. (1998), *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote-Sensing* (Ph.D. thesis), Cambridge, Massachusetts.)

$$FR = \varphi [kNV + (P_b/\eta_t + P_{acc})/\eta]/LHV \quad (3.2)$$

όπου:

φ : λόγος ισοδυναμίας αέρα καυσίμου (περίπου 1 για την βενζίνη)

k : η τριβή του κινητήρα

N : οι στροφές του κινητήρα

V : η χωρητικότητα του κινητήρα

η_t : η αποδοτικότητα του συστήματος μετάδοσης

η : η αποδοτικότητα του κινητήρα

P_{acc} : η απαιτούμενη ισχύς για εξαρτήματα του οχήματος όπως το σύστημα κλιματισμού

LHV : η χαμηλότερη θερμογόνος τιμή του καυσίμου

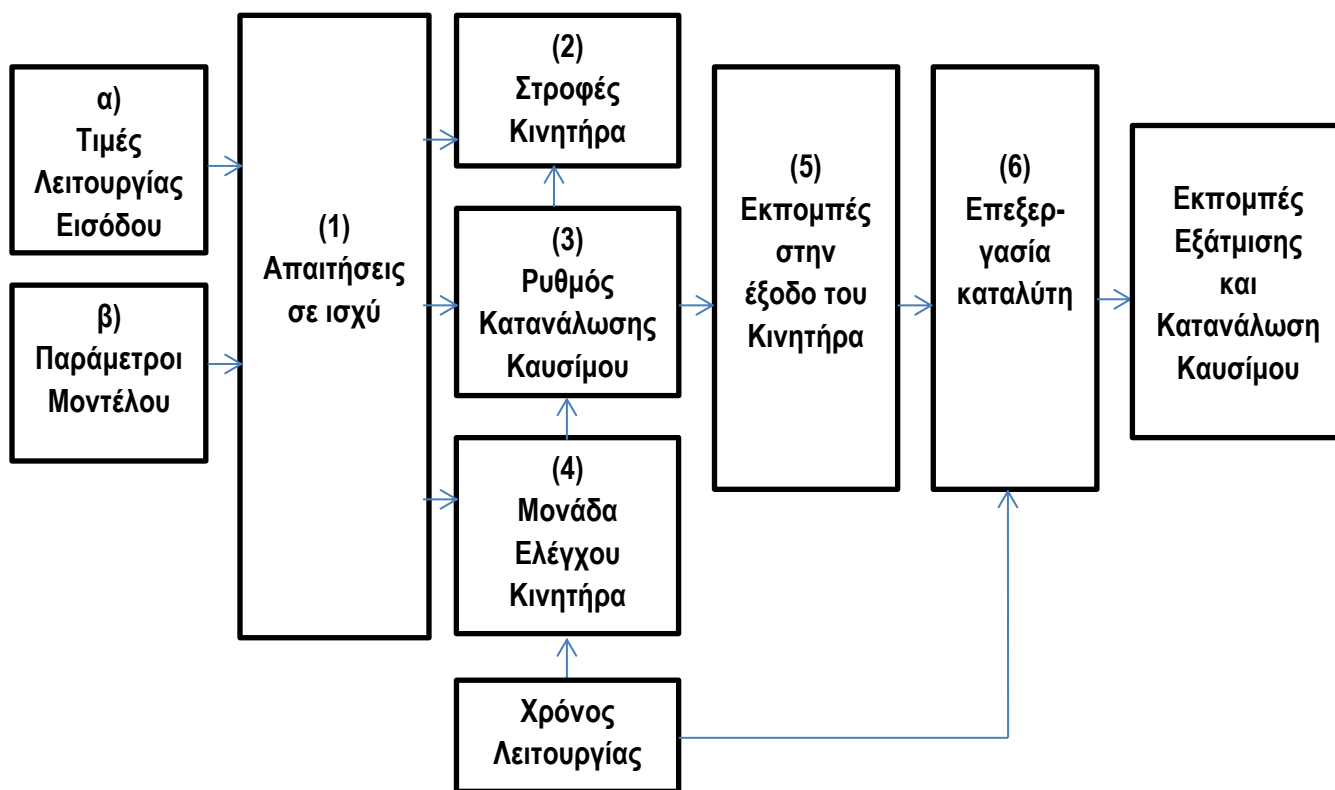
To Μοντέλο του Ινστιτούτου Μεταφορών του Πανεπιστημίου Berkeley

Η εργασία με τίτλο “*Development of a Heavy-Duty Diesel Modal Emissions and Fuel Consumption Model*” πραγματοποιήθηκε ως μέρος το προγράμματος *California PATH* του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια σε συνεργασία με άλλα τμήματα μεταφορών της Πολιτείας της Καλιφόρνια καθώς και των Ηνωμένων Πολιτειών από τους Matthew Barth, Theodore Younglove και George Scora (September 2004) [33]. Η έκθεση αυτή περιγράφει ένα μοντέλο βαρέων φορτηγών το οποίο αποτελεί τμήμα ενός ολοκληρωμένου μοντέλου εκπομπών, πρόγραμμα το οποίο αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια (University of California, Riverside). Στα πλαίσια του προγράμματος, αναπτύχθηκαν διάφορα υπό-μοντέλα κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών για βαρέα φορτηγά, ξεχωριστά για κάθε κατηγορία οχήματος/τεχνολογίας. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν μια παραμετροποιημένη φυσική προσέγγιση όπου η συνολική διαδικασία εκπομπών αναλύεται σε διαφορετικές συνιστώσες φυσικών φαινομένων που συνδέονται με τη λειτουργία του οχήματος και τη παραγωγή εκπομπών.

Ως μέρος ενός παράλληλου ερευνητικού προγράμματος, το πανεπιστήμιο ανέπτυξε ένα Κινητό Εργαστήριο Έρευνας Εκπομπών (Mobile Emissions Research Laboratory) το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί σε βαρέα φορτηγά και να μετράει στιγμιαία εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη χρήση αυτού σε συνδυασμό με άλλες πηγές χρησιμοποιήθηκαν για τη προσαρμογή του μοντέλου.

Το μοντέλο εκπομπών βαρέων φορτηγών αποτελείται από έξι βήματα: 1) τις απαιτήσεις ενέργειας του κινητήρα 2) τις στροφές του κινητήρα 3) το ρυθμό κατανάλωσης καυσίμου (fuel rate) 4) τη μονάδα ελέγχου του κινητήρα (καταγράφει σε πραγματικό χρόνο στοιχεία της λειτουργίας του κινητήρα) και 5) τις εκπομπές στην έξοδο του κινητήρα και 6) την επεξεργασία του καταλύτη. Η εισαγωγή δεδομένων που απαιτείται αφορά δύο κατηγορίες: α) τιμές λειτουργίας εισόδου και β) τις παραμέτρους του μοντέλου. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι οι εκπομπές ρύπων από την εξάτμιση και η κατανάλωση καυσίμου.

Ο ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου, που συνιστά και το πυρήνα του αλγορίθμου, αποτελεί συνάρτηση των απαιτήσεων ενέργειας και των στροφών του κινητήρα. Οι στροφές του κινητήρα καθορίζονται βάσει της ταχύτητας του οχήματος, του προγράμματος αλλαγής ταχυτήτων και των απαιτήσεων ενέργειας



Σχήμα 16: Διάγραμμα Ροής Μοντέλου Πανεπιστημίου Berkeley [33]

Η ελκτική ισχύς P_{tract} (σε KW) που ασκείται στο φορτηγό (στους τροχούς του) υπολογίζεται:

$$P_{tract} = (m * a + m * g * \sin\theta + 0.5C_D * A_f * \rho * v + m * g * C_R * \cos\theta) * \frac{v^2}{1000} \quad (3.3)$$

όπου:

- u : η ταχύτητα του οχήματος (m/s)
- a : η επιτάχυνση του οχήματος (m/s²)
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.8 m/s²)
- C_R : η αντίσταση κύλισης
- ρ : η πυκνότητα του αέρα (kg/m³)
- C_D : ο συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης
- A_f : η πρόσωση του οχήματος (m²)
- m : η μάζα του οχήματος (kg)

Η τελική απαιτούμενη ισχύς προκύπτει ως:

$$P = \frac{P_{tract}}{\eta_t} + P_{acc} \quad (3.4)$$

όπου:

- η_t : η αποδοτικότητα συστήματος μετάδοσης κίνησης
- P_{acc} : η απαιτούμενη ισχύς για εξαρτήματα του οχήματος

Οι σχέσεις για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου δίνονται ως εξής:

$$FR = (k * N * V + P/\eta) \frac{1}{43.2} * (1 + b_1 * (N - N_0)^2) \quad (3.5)$$

$$K = K_0 * (1 + C * (N - N_0)) \quad (3.6)$$

$$N_0 = 30 * \sqrt{\frac{3.0}{V}} \quad (3.7)$$

όπου:

FR: στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου (g/sec)

k: η τριβή του κινητήρα

N: στροφές του κινητήρα (στροφές το δευτερόλεπτο)

V: η χωρητικότητα του κινητήρα (L)

η: η αποδοτικότητα του κινητήρα

Δίνονται οι σταθερές $b_1 = 10^{-4}$ και $C = 0.00125$, ενώ $43,2 \text{ KJ/g}$ είναι η χαμηλότερη θερμογόνοσ τιμή για μία τυπική μηχανή ντίζελ

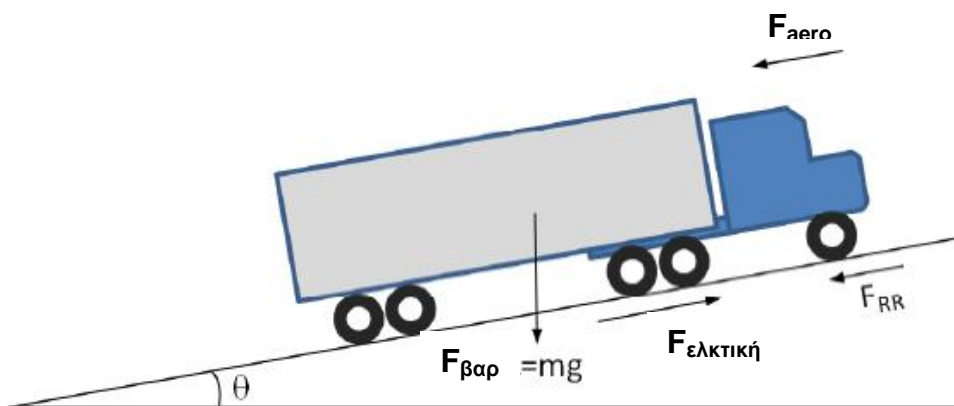
Το Μοντέλο του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α.

Το πρόγραμμα “*Large Scale Duty Cycle*” [34] ξεκίνησε ως μία ερευνητική προσπάθεια του Εθνικού Εργαστηρίου του Oak Ridge με στόχο την κατανόηση και ανάλυση της χρήσης των φορτηγών μεσαίας και βαριάς χρήσης σε όλες τις Η.Π.Α. μέσω της συλλογής βασικών στοιχείων όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και το υψόμετρο για τη περίοδο ενός έτους. Σκοπός της εργασίας ήταν τα μετρούμενα στοιχεία που προέκυψαν να αναλυθούν για να αναπτυχθεί μία ευρεία αντίληψη της οικονομίας καυσίμου και των εκπομπών ρύπων των φορτηγών σε καθημερινή χρήση. Παράλληλα έγινε προσπάθεια να εντοπιστούν προηγμένες και αποδοτικότερες τεχνολογίες που θα προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες για περαιτέρω βελτίωση της οικονομίας των φορτηγών οχημάτων. Η δραστηριότητα αυτή χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. (Department of Energy).

Στα πλαίσια της εργασίας είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί μία απλή μέθοδος εκτίμησης της εξοικονόμησης καυσίμου μέσα από μία σειρά αναπτυγμένων και αποδοτικότερων τεχνολογιών. Σε γενική βάση, η οικονομία καυσίμου ενός οχήματος επιτυγχάνεται μειώνοντας ενεργειακές απώλειες που σχετίζονται με την αεροδυναμική αντίσταση, την αντίσταση τριβής, το σύστημα πέδησης, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης κ.α. Επομένως, η ανάλυση της ελκτικής ενέργειας που απαιτείται προκειμένου να υπερνικηθούν όλες αυτές οι αντιστάσεις αποτελεί πυλώνα για την εξέταση αποδοτικότερων τεχνολογιών. Η δύναμη που ασκείται κατά την επαφή οχήματος και εδάφους, μέσω της οδήγησης και του φρεναρίσματος, αναφέρεται ως ελκτική δύναμη

(tractive force) και είναι εκείνη που επιτρέπει στο όχημα να επιταχύνει, να επιβραδύνει, να υπερνικήσει τις εξωτερικές αντιστάσεις και στη περίπτωση ανωφέρειας να καταστεί δυνατή η ανάβασή της. Όταν ένα όχημα βρίσκεται σε κίνηση και ο κινητήρας χρειάζεται για να τροφοδοτήσει με ισχύ τους τροχούς του, τότε η ελκτική δύναμη είναι θετική, ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε περιόδους φρεναρίσματος. Η μηχανική ενέργεια που σχετίζεται με την ύπαρξη της ελκτικής δύναμης ονομάζεται ελκτική ενέργεια (tractive energy), ενώ η αντίστοιχη στιγμιαία ισχύς που απαιτείται ονομάζεται ελκτική ισχύς (tractive power).

Στο Σχήμα 17 φαίνονται οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα φορτηγό όχημα κατά τη κίνηση του σε ανωφέρεια κλίσης θ :



Σχήμα 17: Διάγραμμα δυνάμεων που ασκούνται σε φορτηγό κινούμενο σε ανωφέρεια, F_{aero} : αεροδυναμική αντίσταση, F_{RR} : αντίσταση κύλισης, $F_{βαρ}$: Βαρυτική έλξη, $F_{ελκτική}$: Ελκτική δύναμη, [34]

Συγκεκριμένα ισχύουν τα παρακάτω:

$$F_{ελκτική} = m \frac{dv}{dt} + mg\sin\theta + F_{aero} + F_{RR} \quad (3.8)$$

όπου η ελκτική δύναμη:

- θα είναι θετική (προωθητική) όταν

$$dv/dt \geq -g\sin\theta - \frac{F_{aero} + F_{RR}}{m} \quad (3.9)$$

- και αρνητική (πέδησης) όταν

$$dv/dt < -g\sin\theta - \frac{F_{aero} + F_{RR}}{m} \quad (3.10)$$

Η αεροδυναμική αντίσταση και η αντίσταση κύλισης είναι πάντοτε θετικές, ενώ η βαρυτική δύναμη είναι θετική στις ανωφέρειες και αρνητική στις κατωφέρειες. Εάν στη παραπάνω σχέση πολλαπλασιασθεί η ταχύτητα κίνησης του οχήματος τότε το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι το εξής:

$$P_{ελκτική} = mv \frac{dv}{dt} + mg\sin\theta + P_{aero} + P_{RR} \quad (3.11)$$

Για τα συμβατικά φορτηγά οχήματα είναι ξεκάθαρο πως οι απαιτήσεις σε ενέργεια καυσίμου είναι υπαρκτές μόνο κατά τα διαστήματα όπου η ελκτική δύναμη είναι θετική. Επομένως η κατανάλωση καυσίμου που θα υπολογιστεί αναφέρεται στις περιόδους αυτές, ενώ παράλληλα διακρίνουμε την συνολική ελκτική ενέργεια σε:

$$E_{ελκτική,οδήγηση} = \int_{t_{οδήγησης}} P_{ελκτική} dt \quad (3.12)$$

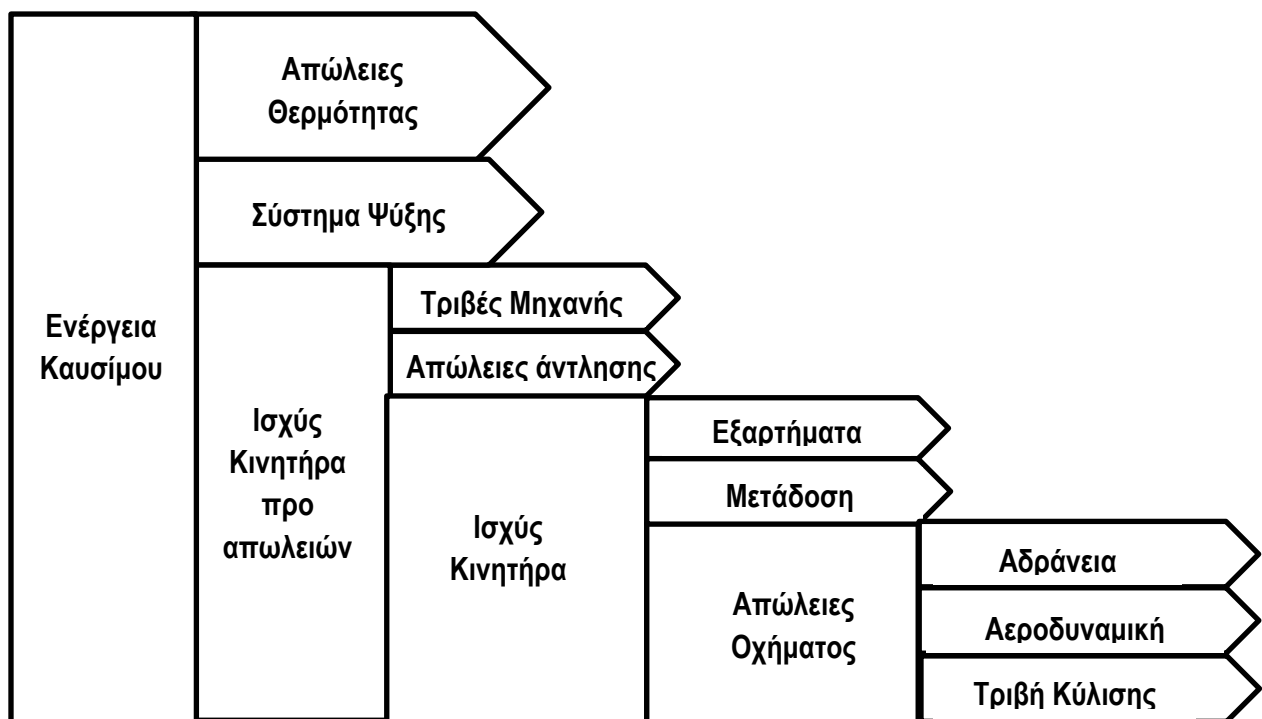
Η ενέργεια έλξης που απαιτείται για τη διάνυση μίας απόστασης στο χρονικό αυτό διάστημα είναι :

$$\Delta E_{ελκτική} = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) + mg(h_2 - h_1) + \Delta E_{αερο} + \Delta E_{ρρ} \quad (3.13)$$

Αντίθετα, η ενέργεια που διοχετεύεται κατά τις περιόδους φρεναρίσματος περιγράφεται από την εξίσωση:

$$E_{\text{ελακτική,πέδηση}} = - \int_{t \text{ πέδησης}} P_{\text{ελακτική}} dt \quad (3.14)$$

Ωστόσο, η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μοντέλου κατανάλωσης απαιτεί τη κατανόηση και τη μελέτη των ενεργειακών απωλειών στο εσωτερικό του οχήματος, δηλαδή τις απώλειες που αφορούν τον κινητήρα αλλά και το υπόλοιπο σύστημα μετάδοσης ενέργειας. Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται η τυπική κατανομή ενέργειας του καυσίμου σε ένα όχημα που κινείται σε επίπεδο δρόμο:



Σχήμα 18: Τυπική κατανομή ενέργειας καυσίμου σε όχημα που κινείται σε επίπεδο δρόμο [34]

Το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργειακών απωλειών λαμβάνει χώρα κατά τη μετατροπή της (θερμογενούς) ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική. Το λειτουργικό φορτίο του κινητήρα σε συνδυασμό με τον αριθμό των στροφών του, επηρεάζουν σε ένα βαθμό τη διαδικασία της μετατροπής ενέργειας, ωστόσο τα περιθώρια για αύξηση ή μείωση της

αποδοτικότητας είναι περιορισμένα, ιδίως για συνθήκες τυπικής καθημερινής οδήγησης. Η ανάλυση της ελκτικής ενέργειας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η συνολική κατανάλωση καυσίμου αποτελεί συνάρτηση της μηχανικής ενέργειας που απαιτείται κατά τις περιόδους όπου η ελκτική δύναμη είναι θετική. Επομένως, είναι δυνατό να γίνει η παραδοχή πως η αποδοτικότητα του κινητήρα παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της οδήγησης, παρά το γεγονός πως ο κινητήρας βρίσκεται σε εναλλασσόμενες καταστάσεις λειτουργίας. Η θεώρηση αυτή εκφράζεται από την επόμενη σχέση:

$$W_{\text{ελκτική,οδήγησης}} = \eta_{\text{κινητήρα}} * E_{\text{καυσίμου,οδήγησης}} \quad (3.15)$$

Ο όρος $W_{\text{ελκτική,οδήγησης}}$ αποτελεί τη συνολική μηχανική ενέργεια που αποδίδεται από τον κινητήρα σε όλες τις περιόδους θετικής ελκτικής δύναμης κατά το κύκλο οδήγησης, $E_{\text{καυσίμου,οδήγησης}}$ είναι η αντίστοιχη ενέργεια καυσίμου κατά τις ίδιες περιόδους, ενώ $\eta_{\text{κινητήρα}}$ είναι η θερμική απόδοση του κινητήρα, για την οποία έγινε η θεώρηση πως παραμένει σταθερή (μία τυπική τιμή της $\eta_{\text{κινητήρα}}$ είναι 0,42). Είναι γεγονός πως αυτή η παραδοχή δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής, ωστόσο θεωρείται επαρκής για τις απαιτήσεις μίας μελέτης εκτίμησης ελκτικής ενέργειας. Επιπλέον, επιτρέπει την ανάλυση της κατανάλωσης χωρίς να απαιτούνται λεπτομερή στοιχεία και χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου μοντέλου φορτηγού, ικανοποιώντας παράλληλα και τον αρχικό σκοπό της εργασίας.

Ανεξάρτητα των απωλειών ενέργειας που οφείλονται στη λειτουργία του κινητήρα, η μηχανική ενέργεια που καταλήγει στους τροχούς του οχήματος ελαττώνεται περαιτέρω εξαιτίας και άλλων παραγόντων. Ο κινητήρας παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια και για άλλες λειτουργίες του φορτηγού όπως το σύστημα κλιματισμού ενώ υπάρχουν και απώλειες τριβής κατά τη μετάδοση μηχανικής ισχύος από τη μηχανή στους τροχούς. Η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία των εξαρτημάτων διαφέρει ανά περιόδους, ωστόσο η χρήση μίας μέσης τιμής αποδεικνύεται ιδιαίτερα ικανοποιητική για την εκτίμηση της τελικής κατανάλωσης. Η απώλεια ενέργειας κατά τη μετάδοση της κίνησης, εξαιτίας των τριβών ανάμεσα στις ταχύτητες, το διαφορικό και άλλα, είναι ανάλογη της ισχύος που μεταδίδεται από το κιβώτιο ενώ περίπου το 90% της ενέργειας καταλήγει στους τροχούς. Η σχέση που εκφράζει τα παραπάνω είναι η εξής:

$$E_{\text{ελκτικι,οδηγησης}} = \eta_{\text{μεταδοσης}} * (\eta_{\text{κινητηρα}} * E_{\text{καυσιμου}} - E_{\text{εξαρτηματα,οδηγησης}}) \quad (3.16)$$

όπου, $\eta_{\text{μεταδοσης}}$ είναι η αποδοτικότητα του συστήματος μετάδοσης της κίνησης και $E_{\text{εξαρτηματα,οδηγησης}}$ είναι η ενέργεια που καταναλώνεται από τα εξαρτήματα κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Δεδομένης της μεθοδολογίας αλλά και των παραδοχών που περιγράφηκαν παραπάνω η σχέση που καταλήγει στη στιγμιαία κατανάλωση ενός φορτηγού οχήματος είναι η εξής:

$$F_{c,\text{φορτηγού}} = \frac{E_{\text{καυσιμου}}}{LHV} = \frac{1}{\eta_{\text{κινητηρα}} LHV} \left(\frac{E_{\text{ελκτικι,οδηγησης}}}{\eta_{\text{μεταδοσης}}} + E_{\text{εξαρτηματα,οδηγησης}} \right) \quad (3.17)$$

Μοντέλο του Γερμανικού Συνδέσμου Διαμεταφορέων

Πρόκειται για τη μέθοδο που περιγράφεται στον οδηγό της DSLV (Γερμανικός Σύνδεσμος Διαμεταφορέων) με τίτλο “*Calculating GHG Emissions for freight forwarders and logistic services*” [35]. Αποτελεί ένα πρακτικό εργαλείο σχεδιασμένο για εταιρίες παροχής υπηρεσιών logistics που επιθυμούν να εναρμονιστούν με τα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN) προκειμένου να προσδιορίσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και να το ελαττώσουν. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθεί το πρότυπο EN 16258 που δημοσιεύτηκε με τίτλο “*Methodology for Calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers)*”. Το εν λόγω πρότυπο καθιερώνει μία μεθοδολογία υπολογισμού και καταγραφής της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με οποιαδήποτε μεταφορά, επιβατική ή εμπορευματική. Περιλαμβάνει γενικές αρχές, ορισμούς, μεθόδους υπολογισμού, κανόνες επιμερισμού και προτεινόμενα δεδομένα με σκοπό να προωθήσει τυποποιημένους, ακριβείς, αξιόπιστους και επαληθεύσιμους υπολογισμούς καταναλώσεων και εκπομπών. Μέχρι τη δημοσίευσή του στα τέλη του 2012, δεν υπήρχε κανένα αντίστοιχο πρότυπο, γεγονός που περιέπλεκε σημαντικά την διαδικασία υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα των μεταφορών. Ωστόσο, το πρότυπο περιλαμβάνοντας σχετικά απλές, τυποποιημένες

διαδικασίες επιτρέπει τον υπολογισμό των εκπομπών με μόνο δεδομένο την κατανάλωση καυσίμων, χωρίς να υστερεί από άποψη πολυπλοκότητας και θεωρητικού υποβάθρου. [36]

Οι μεταβλητές εισόδου του μοντέλου είναι οι εξής:

- η απόσταση της οδικής μεταφοράς
- ένας χαρακτηρισμός του εδάφους (λοφώδες / επίπεδο) που αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής ώστε να γίνει διόρθωση της κατανάλωσης ανάλογα με την κλίση
- το ποσοστό της διαδρομής εντός αστικού δικτύου (P) που είναι ο λόγος του μήκους της διαδρομής εντός του αστικού δικτύου προς τη συνολική διαδρομή της μεταφοράς ώστε να γίνει διόρθωση της κατανάλωσης που είναι αυξημένη κατά 40% για κίνηση σε αστικούς δρόμους σε σχέση με τους αυτοκινητόδρομους.

Η μέθοδος αναφέρει ότι παρόλο που οι ρύποι από τις οδικές μεταφορές έχουν μειωθεί δραστικά τα τελευταία χρόνια, η μέση κατανάλωση καυσίμου έχει παραμείνει σταθερή μετά την εισαγωγή του προτύπου EURO III. Γι' αυτό το λόγο, οι τιμές της κατανάλωσης ανά τονοχιλιόμετρο δεν διαφοροποιούνται, επί του παρόντος, ανάλογα με το πρότυπο, του οποίου τα όρια το όχημα πληροί, ή με την ηλικία του οχήματος. Μόνο πολύ παλιά φορτηγά οχήματα έχουν υψηλότερες τιμές κατανάλωσης από αυτές που προκύπτουν από τη μέθοδο.

Βάσει των παραπάνω, υπολογίζεται η κατανάλωση του φορτηγού οχήματος για κάθε ομάδα εμπορευματοκιβωτίων ανάλογα με την κλίση και το ωφέλιμο φορτίο τους, χρησιμοποιώντας τις τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 19.

$$E [l/100km] = A [l/100km] + B [l/100km] * (N [t]) / (C [t]) \quad (3.18)$$

όπου:

- E:* η κατανάλωση καυσίμου φορτηγού σε l/100km ανάλογα με την κλίση και το μεταφερόμενο ωφέλιμο φορτίο
- A:* η κατανάλωση κενού οχήματος σε l/100km (Σχήμα 19)
- B:* η διαφορά στη κατανάλωση μεταξύ πλήρους έμφορτου και κενού οχήματος σε l/100km (Σχήμα 19)
- N:* το ωφέλιμο φορτίο της ομάδας εμπορευματοκιβωτίων που εξετάζεται σε τόνους
- C:* το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο του φορτηγού (26 τόννοι)

	Λοφώδες έδαφος		Επίπεδο έδαφος		Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο
	Κατανάλωση κενού οχήματος	Διαφορά στην κατανάλωση μεταξύ πλήρως έμφορτου και κενού οχήματος	Κατανάλωση κενού οχήματος	Διαφορά στην κατανάλωση μεταξύ πλήρως έμφορτου και κενού οχήματος	
	l/100km	l/100km	l/100km	l/100km	
Φορτηγό μικτού βάρους 24-40t	22,7	14,4	21,5	8,2	26

Σχήμα 19: Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο φορτηγού, μέσες τιμές κατανάλωσης κενού οχήματος και διαφορές κατανάλωσης κενού και πλήρως έμφορτου οχήματος για διαφορετικές κατηγορίες κλίσης εδάφους [35]

Αφού υπολογιστεί η παραπάνω κατανάλωση, διορθώνεται ανάλογα με το ποσοστό της συνολικής διαδρομής που λαμβάνει χώρα σε αστικό δίκτυο, όπου η κατανάλωση θεωρείται αυξημένη κατά 40 %. Η διόρθωση αυτή γίνεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$F [l] = D [km] * \frac{(100 - P)}{100} * \frac{E [l/100km]}{100} + D [km] * \frac{P}{100} * CF * \frac{E [l/100km]}{100} \quad (3.19)$$

όπου:

- F:* η τελική κατανάλωση καυσίμου του φορτηγού σε $l/100km$ για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης μεταφοράς
- D:* η απόσταση της μεταφοράς σε km
- P:* το ποσοστό της διαδρομής στο σύνολό της που πραγματοποιείται σε αστικές οδούς
- E:* η κατανάλωση καυσίμου του φορτηγού σε $l/100km$ ανάλογα με την κλίση και το μεταφερόμενο ωφέλιμο φορτίο, που υπολογίστηκε από το προηγούμενο βήμα
- CF:* ο συντελεστής διόρθωσης της κατανάλωσης για κυκλοφορία αστικού δικτύου (Για φορτηγό όχημα μικτού βάρους 24-40 τόνων, ο συντελεστής διόρθωσης της κατανάλωσης που χρησιμοποιείται για χρήση αστικού δικτύου είναι 1,4)

Στο επόμενο, και τελικό, βήμα της μεθοδολογίας γίνεται χρήση ειδικών συντελεστών εκπομπών που έχουν προκαθοριστεί από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16258 και οδηγούν στον υπολογισμό των τελικών αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, το βήμα αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας και επομένως παραλείπεται.

Μοντέλο HDM-4 της Παγκόσμια Ένωσης Οδικών Μεταφορών (PIARC)

Το 1998, ανατέθηκε στη Παγκόσμια Ένωση Οδικών Μεταφορών (PIARC) από τους βασικούς επενδυτές της Παγκόσμιας Μελέτης για την Ανάπτυξη και τη Διαχείριση των Αυτοκινητοδρόμων (ISOHDM) η δημιουργία του λογισμικού HDM-4 [37]. Το HDM-4 αποτελεί ένα κλειστό λογισμικό πακέτο το οποίο εξυπηρετεί ως πρωταρχικό εργαλείο για την ανάλυση, τη διαχείριση και την αξιολόγηση θεμάτων που αφορούν τη συντήρηση και την βελτίωση οδικών αρτηριών καθώς και τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων. Χρησιμοποιείται από σύμβουλους, οργανισμούς και τμήματα αυτοδιοίκησης για τη διερεύνηση των οικονομικών επιπτώσεων από επενδύσεις σε οδικές υποδομές. Μερικά χρόνια μετά τη κυκλοφορία του, και συγκεκριμένα το 2003, κυκλοφόρησε και η δεύτερη έκδοση του λογισμικού με τίτλο HDM-4 v.2.

Το HDM-4 εστιάζει στον προσδιορισμό των λειτουργικών εξόδων ενός οχήματος (Vehicle Operating Costs) και ενσωματώνει σχέσεις που προβλέπουν την επίδραση των

χαρακτηριστικών του δρόμου σε αυτά. Για το λόγο αυτό ενσωματώνει μία ιδιαίτερα λεπτομερή μεθοδολογία για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου. Στις σχέσεις που ακολουθούν παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού της στιγμιαίας κατανάλωσης καυσίμου:

$$IFC = f * (P_{\text{ελεκτική}}, P_{\text{accs}} + P_{\text{κινητήρα}}) = \frac{1000}{v} * (\max(\alpha, \xi * P_{\text{ολική}} * (1 + d_{\text{καυσίμου}})) \quad (3.20)$$

$$\xi = \xi_b * (1 + ehp * \frac{P_{\text{ολικό}} - P_{\text{κινητήρα}}}{P_{\text{max}}}) \quad (3.21)$$

όπου:

IFC: η στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου (mL/km)

v: ταχύτητα του οχήματος (m/s)

P_{ελεκτική}: η ισχύς που απαιτείται για την υπερνίκηση των δυνάμεων έλξης (kW)

P_{accs}: η ισχύς που απαιτείται για τα εξαρτήματα του κινητήρα (kW)

P_{κινητήρα}: η ισχύς που απαιτείται λόγω εσωτερικών τριβών του κινητήρα (kW)

α: η κατανάλωση καυσίμου σε κατάσταση ρελαντί (mL/s)

ξ: ο συντελεστής απόδοσης καυσίμου προς ισχύ (mL/kW/s)

d_{καυσίμου}: περίσσεια σύλληψη καυσίμου λόγω συμφόρησης

ξ_b: ο βασικός συντελεστής απόδοσης καυσίμου προς ισχύ (εξαρτάται από τη τεχνολογία καυσίμου)

P_{max}: η ονομαστική ισχύς του κινητήρα (kW)

ehp: αναλογική μείωση της αποδοτικότητας σε υψηλή ισχύ εξόδου

P_{ολική}: η ολική ισχύς (kW)

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στη συνέχεια αφορά τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν στις σχέσεις (3.20) και (3.21).

Η ολική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση ενός οχήματος υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{\text{ολική}} = \frac{P_{\text{ελεκτική}}}{\eta_t} + P_{\text{accs}} + P_{\text{κινητήρα}} \quad \text{όταν } P_{\text{ελεκτική}} \geq 0, \text{ ανωφέρεια/επίπεδο} \quad (3.22)$$

$$P_{ολικη} = \frac{P_{ελκτικη}}{\eta_t} + P_{accs} + P_{κινητήρα} \text{ όταν } P_{ελκτικη} \leq 0, \text{ κατωφέρεια} \quad (3.23)$$

όπου:

η_t : βαθμός απόδοσης του συστήματος μετάδοσης

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η ισχύς που απαιτείται λόγω εσωτερικών τριβών του κινητήρα καθώς και των εξαρτημάτων αυτού ($P_{κιν-accs} = P_{κινητήρα} + P_{accs}$):

$$P_{κιν-accs} = KPea * P_{max} * (P_{accsa1} + (P_{accsa0} - P_{accsa1}) * \frac{Rpm - Rpm_{idle}}{Rpm_{100} - Rpm_{idle}}) \quad (3.24)$$

$$P_{accsa1} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.25)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a = \xi_b * ehp * KPea^2 * P_{max} * \frac{100 - P_{ct}P_{κινητήρα}}{100} \end{array} \right. \quad (3.26)$$

$$b = \xi_b * KPea * P_{max} \quad (3.27)$$

$$c = -a \quad (3.28)$$

όπου:

$KPea$: συντελεστής βαθμονόμησης

RPM : οι στροφές του κινητήρα ανά λεπτό

P_{accsa0} : απαίτηση ισχύος λόγω κινητήρα και εξαρτημάτων (100 χλμ/ώρα)

$P_{ct}P_{κινητήρα}$: ποσοστό ισχύος κινητήρα και εξαρτημάτων που χρησιμοποιείται από τη μηχανή

a_0, a_1, a_2 : παράμετροι του μοντέλου

RPM_{100} : οι στροφές του κινητήρα στα 100km/h

Rpm_{idle} : οι στροφές του κινητήρα σε κατάσταση ρελαντί

Η ελκτική ισχύς υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{\text{ελκτική}} = v * (F_{\alpha} + F_g + F_c + F_r + F_i) / 1000 \quad (3.29)$$

όπου:

- F_{α} : η αεροδυναμική αντίσταση (N)
- F_g : οι βαρυτικές δυνάμεις (N)
- F_c : οι δυνάμεις λόγω καμπυλότητας (N)
- F_r : οι αντιστάσεις κύλισης (N)
- F_i : οι αδρανειακές δυνάμεις (N)
- v : η ταχύτητα του οχήματος (m/s)

Για κάθε μία από τις παραπάνω δυνάμεις που επενεργούν ισχύουν οι εξισώσεις που ακολουθούν:

$$F_{\alpha} = 0.5 * \rho * CD_{mult} * CD * AF * v^2 \quad (3.30)$$

όπου:

- CD : συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης (αδιάστατος)
- CD_{mult} : πολλαπλασιαστής CD (αδιάστατος)
- AF : πρόσωση οχήματος (m^2)
- ρ : πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)

$$F_g = m * GR * g \quad (3.31)$$

όπου:

- m : η μάζα του οχήματος (kg)
- GR : η κλίση του δρόμου (ακτίνια)
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

$$F_c = \max\left(0, \frac{\left(\frac{m * v^2}{R} - m * g * e\right)^2}{N_w * C_s} * 10^{-3}\right) \quad (3.32)$$

$$e = \max(0, 0.45 - 0.68 * \ln(R)) \quad (3.33)$$

$$C_s = KCS * (a_0 + a_1 * \frac{m}{N_w} + a_2 * (\frac{m}{N_w})^2) \quad (3.34)$$

όπου:

R: ακτίνα καμπυλότητας

e: επίκλιση (m/m)

N_w: ο αριθμός των τροχών

C_s: η ακαμψία του ελαστικού

KCS: συντελεστής βαθμονόμησης

a₀, a₁, a₂: παράμετροι του μοντέλου

$$F_r = CR2 * FCLIM * (b_{11} + N_w + CR1 * (b_{12} * m + b_{13} * v^2)) \quad (3.35)$$

$$b_{11} = 37 * D_w \quad (3.36)$$

$$b_{12} = 0.067/D_w \text{ , για παλιά ελαστικά} \quad (3.37)$$

$$b_{12} = 0.064/D_w \text{ , για νεώτερα ελαστικά} \quad (3.38)$$

$$b_{13} = 0.012 * N_w / D_w^2 \quad (3.39)$$

$$CR2 = K_{cr2} * (\alpha_0 * \alpha_1 * Tdsp + \alpha_2 * IRI + \alpha_3 * DEF) \quad (3.40)$$

$$FCLIM = 1 + 0.003 * PCYDS + 0.002 * PCTDW \quad (3.41)$$

όπου:

CR1: συντελεστής αντίστασης κύλισης των ελαστικών

K_{cr2}: συντελεστής βαθμονόμησης

b₁₁, b₁₂, b₁₃: παράμετροι αντίστασης κύλισης

CR2: συντελεστής επιφάνειας αντίστασης κύλισης
 a_0, a_1, a_2, a_3 : παράμετροι του μοντέλου
Tdsp: το βάθος της υφής του ελαστικού
IRI: ο διεθνής δείκτης ομαλότητας οδοστρώματος
DEF: η ανάκαμψη της ακτίνας κάμψης του ελαστικού
FCLIM: κλιματικός παράγοντας
PCTDS: ποσοστό οδήγησης σε χιόνι
PCTDW: ποσοστό οδήγησης σε υγρή επιφάνεια

$$F_i = m * \left(\alpha_0 + \alpha_1 * \arctan \left(\frac{\alpha_2}{v^3} \right) \right) * \alpha \quad (3.42)$$

όπου:

a_0, a_1, a_2, a_3 : παράμετροι του μοντέλου

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Επιλογή του κατάλληλου μαθηματικού υπόβαθρου

Στο κεφάλαιο της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης που προηγήθηκε, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση ενός αριθμού μαθηματικών μοντέλων που επιτρέπουν την εκτίμηση της κατανάλωσης ενός φορτηγού οχήματος. Η επιλογή του καταλληλότερου μαθηματικού μοντέλου εξ' αυτών για την επίτευξη των στόχων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε με συνεκτίμηση πληθώρας κριτηρίων, κυριότερο των οποίων ήταν η δυνατότητα συλλογής των δεδομένων εισόδου που απαιτούνται από τον αλγόριθμο υπολογισμού. Συνεπώς, δεν μπορεί να επιλεγεί ένα μοντέλο που δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα κατανάλωσης καυσίμου αλλά ταυτόχρονα απαιτεί δεδομένα εισόδου που δεν είναι δυνατό να συλλεγούν με τον διαθέσιμο εξοπλισμό στη Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ή απαιτούν επεμβάσεις σε διατάξεις του φορτηγού οχήματος. Άλλο βασικό κριτήριο ήταν η πληρότητα των δημοσιευμένων στοιχείων, δηλαδή να δίνονται μαθηματικές σχέσεις, να υπάρχουν τιμές ή έστω εύρος τιμών για παραμέτρους που υπεισέρχονται (π.χ. για το συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης ή για το συντελεστή απωλειών λόγω κύλισης).

Στον Πίνακα 3 εμφανίζονται οι απαιτούμενες μεταβλητές εισόδου για κάθε ένα από τα υπό μελέτη μοντέλα:

Πίνακας 3: Μεταβλητές εισόδου για διάφορα μοντέλα υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου

Μοντέλα Παράμετροι	Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Η.Π.Α. (PERE)	Πανεπιστημίου Berkeley	Υπουργείου Ενέργειας Η.Π.Α. (LSDC)	Παγκόσμια Ένωση Οδικών Μεταφορών (HDM-4)	Γερμανικού Συνδέσμου Διαμεταφορέων (DSLIV)
Μάζα	✓	✓	✓	✓	-
Ταχύτητα	✓	✓	✓	✓	-
Κλίση	✓	✓	✓	✓	Λοφώδες/ Επίπεδο
Αεροδυναμική αντίσταση	✓	✓	✓	✓	-
Αντίσταση κύλισης	✓	✓	✓	✓	-
Αντίσταση καμπυλότητας	-	-	-	✓	-
Περιστρεφόμενες μάζες	✓	-	-	-	-
Στοιχεία κινητήρα (τριβή, χωρητικότητα, στροφές κ.α.)	✓	✓	-	✓	-
Αποδοτικότητα κινητήρα	✓	✓	✓	✓	-
Αποδοτικότητα συστήματος μετάδοσης	✓	✓	✓	✓	-
Χαμηλότερη θερμογόνος τιμή καυσίμου	✓	✓	✓	-	-
Ισχύς υποστηρικτικών συσκευών	✓	✓	✓	✓	-
Ωφέλιμο φορτίο	-	-	-	-	✓
Διόρθωση για κυκλοφορία σε αστικές οδούς	-	-	-	-	✓
Διαφορά κατανάλωσης μεταξύ πλήρως έμφορτου και κενού οχήματος	-	-	-	-	✓
Πληρότητα των δημοσιευμένων στοιχείων	Μέτρια	Μέτρια	Καλή	Κακή	Καλή

Από την επισκόπηση των στοιχείων του Πίνακα 3 προκύπτει ότι όλα τα μοντέλα απαιτούν δεδομένα εισόδου για την μάζα, την ταχύτητα, την αεροδυναμική αντίσταση κλπ. Εξαίρεση αποτελεί το μοντέλο DSLV, που χρησιμοποιεί ένα πολύ μικρό αριθμό μεταβλητών, απλοποιημένες σχέσεις και διορθωτικούς συντελεστές για να εκτιμήσει την κατανάλωση καυσίμου που στη συνέχεια μετασχηματίζει σε εκπομπές αέριων ρύπων. Λόγω των ανωτέρω, το μοντέλο DSLV δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες της εργασίας και απορρίπτεται. Τα μοντέλα PERE και Berkeley έχουν κατά περίπτωση, ίδιους ή παρόμοιους αλγόριθμους υπολογισμού των διαφόρων συνιστωσών της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου. Βασικό μειονέκτημα και των δύο προσεγγίσεων είναι ότι απαιτούν ως δεδομένα εισόδου λεπτομερή τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα του φορτηγού οχήματος. Η συλλογή των στοιχείων αυτών απαιτεί ειδικό (μη διαθέσιμο) εξοπλισμό καταγραφής, επομένως, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν. Το ίδιο ισχύει και για το μοντέλο HDM-4, το οποίο έχει ακόμη μεγαλύτερες απαιτήσεις δεδομένων εισόδου. Αντίθετα, το μοντέλο LSDC του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α. απαιτεί δεδομένα εισόδου που είναι δυνατόν είτε να ζητηθούν (μεταφερόμενο φορτίο) είτε να συλλεγούν με πρόσθετη συσκευή GPS επί του οχήματος (ταχύτητα, υψόμετρο οδού) ενώ δίνονται όλες οι τιμές των σταθερών συντελεστών που υπεισέρχονται στους αλγορίθμους υπολογισμού των απωλειών κύλισης και αεροδυναμικής αντίστασης. Για τους λόγους αυτούς το μαθηματικό υπόβαθρο του μοντέλου LSDC αποτέλεσε τη βάση του μοντέλου που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

3.2 Ανάπτυξη μοντέλου – Εκτίμηση κατανάλωσης

Το μαθηματικό υπόβαθρο του μοντέλου LSDC παρουσιάζεται αναλυτικά στη δημοσίευση Large Scale Duty Cycle. Με βάση τις υπολογιστικές σχέσεις και το σκεπτικό που παρουσιάζονται στη δημοσίευση αυτή αναπτύχθηκε σε προγραμματιστικό περιβάλλον του λογιστικού φύλλου Microsoft Excel (μακροεντολές Visual Basic) ένας κώδικας προγράμματος ο οποίος επιτρέπει τον υπολογισμό απαιτούμενων μεταβλητών εισόδου (ταχύτητα οχήματος, επιτάχυνση, κλίση οδού) από σειρά μετρήσεων συσκευής GPS. Συγκεκριμένα, η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής: οι μετρήσεις της συσκευής GPS εξάγονται ως προτάσεις NMEA { φ_i , λ_i , H_i , V_i } σε μορφή κειμένου (.txt) οι οποίες ύστερα από επεξεργασία στην διαδικτυακή εφαρμογή GPSVisualizer [38] (μετατροπή των συντεταγμένων (φ, λ) που αναφέρονται στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS 84', μετατροπή της ταχύτητας σε χλμ/ώρα, υπολογισμός ενδιάμεσης απόστασης μεταξύ δύο θέσεων) εισάγονται στο λογιστικό φύλλο. Επειδή η υψομετρική ακρίβεια H_i της συσκευής GPS σε πολλές των περιπτώσεων δεν είναι ικανοποιητική, γίνεται διόρθωση (μέσω της ανωτέρα εφαρμογής GPSVisualizer) η οποία για κάθε εισαγόμενο ζεύγος συντεταγμένων (φ_i, λ_i) επιστρέφει τη τιμή του υψομέτρου H_i^* αξιοποιώντας την σχετική πληροφορία των χαρτών Google Maps. Οι διορθωμένες συντεταγμένες $\varphi_i, \lambda_i, H_i^*$ εισάγονται σε καρτέλα του λογιστικού φύλλου, η οποία μέσω διαδοχικών συντεταγμένων $\varphi_i, \varphi_i, H_i^*$ και $\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1}, H_{i+1}^*$ υπολογίζει την επιτάχυνση, την ταχύτητα και τη διανυθείσα απόσταση μεταξύ των χρονικών στιγμών i και $(i+1)$. Οι λοιπές μεταβλητές εισόδου (μάζα οχήματος) εισάγονται σε συγκεκριμένο κελί στη καρτέλα “Μεταβλητές Εισόδου” και από εκεί μεταφέρονται αυτόματα σε όλους τους αλγορίθμους που υπεισέρχονται.

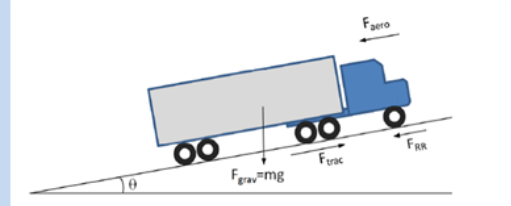
Μοντέλο Εκτίμησης Κατανάλωσης Φορτηγών Οχημάτων

Παράμετροι Εισόδου

Μάζα οχήματος (kg)	40000
Δεδομένα θέσης και ταχύτητας	Εισαγωγή αρχείου (φ,λ,Η,Υ)

Σταθερές

Απόδοση κινητήρα	0.42
Συντελεστής απόδοσης συστήματος μετάδοσης	0.9
Χαμηλότερη θερμογόνος τιμή καυσίμου (MJ/L)	35.8
Συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης	0.62
Πρόσοψη οχήματος	10
Συντελεστής αντίστασης κύλισης	0.007
Επιτάχυνση Βαρύτητας g (N)	9.81
Πυκνότητα Αέρα (kg/m ³)	1.2



Σχήμα 20: Παράμετροι εισόδου στο μοντέλο εκτίμησης κατανάλωσης

Οι σταθερές τιμές του μοντέλου είναι ο αεροδυναμικός συντελεστής του οχήματος, ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα, η χαμηλότερη θερμογόνος τιμή του καυσίμου κ.α. (βλέπε Πίνακα 4). Οι τιμές αυτές λαμβάνονται από το μοντέλο LSDC, εισάγονται σε συγκεκριμένα κελιά της καρτέλας “Σταθερές” του λογιστικού φύλλου από όπου και μεταφέρονται αυτόματα στους αλγόριθμους που υπεισέρχονται.

Πίνακας 4: Σταθερές παράμετροι εισόδου

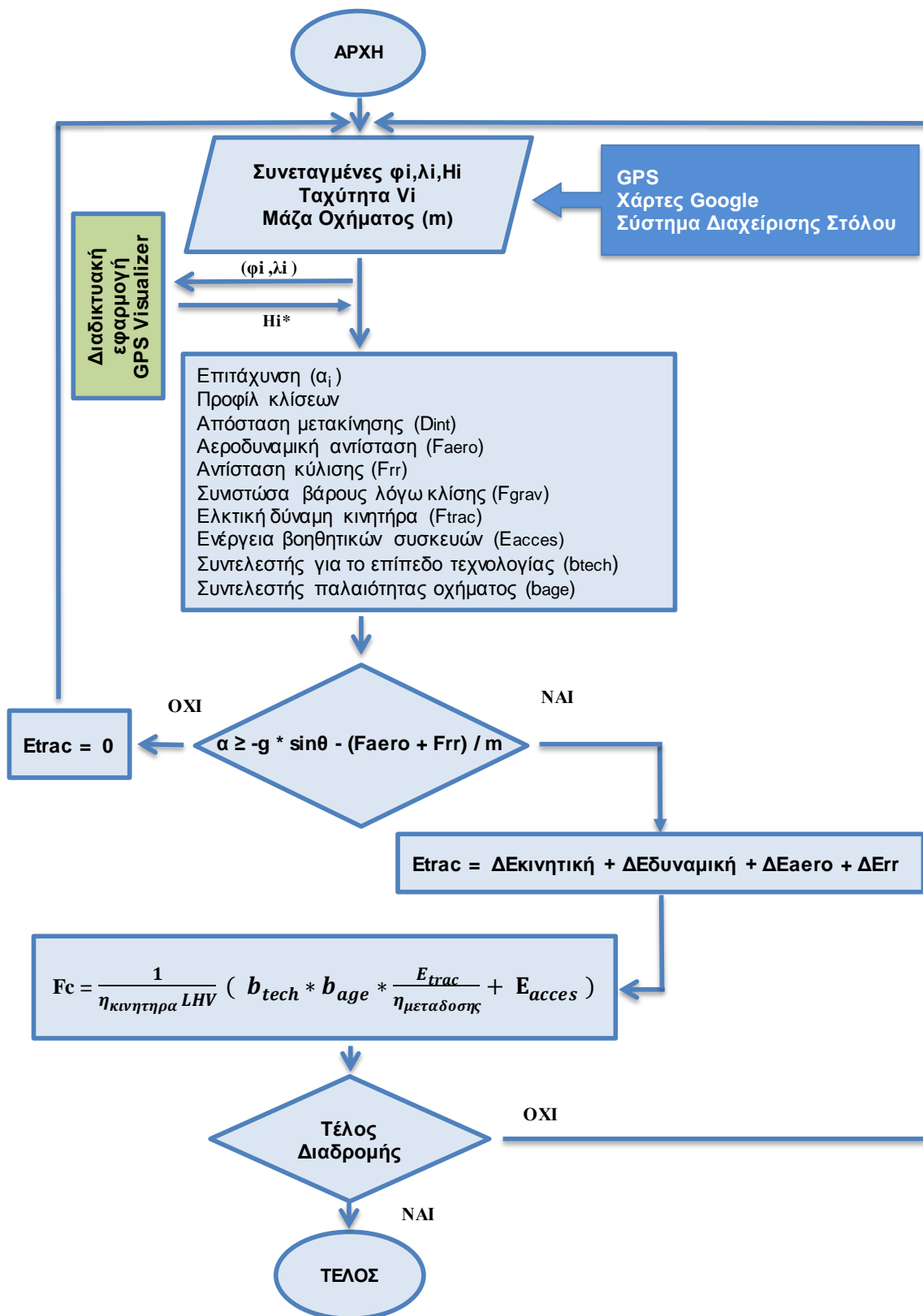
Σταθερές Παράμετροι Εισόδου	
Απόδοση Κινητήρα	0.42
Απόδοση Συστήματος Μετάδοσης	0.9
Χαμηλότερη θερμογόνος τιμή Καυσίμου LHV (MJ/L)	35.8
Αεροδυναμικός Συντελεστής	0.62
Πρόσοψη Οχήματος	10
Συντελεστής Αντίστασης Κύλισης	0.007

Οι μεταβλητές εξόδου του μοντέλου είναι η ενέργεια που απαιτείται ώστε το όχημα να μετακινηθεί από τη θέση $(\varphi_i, \lambda_i, H_i^*)$ στη θέση $(\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1}, H_{i+1}^*)$ μεταβάλλοντας ταυτόχρονα την ταχύτητα του από V_i σε V_{i+1} . Η ενέργεια που απαιτείται για τη μετακίνηση αυτή προκύπτει ως το άθροισμα των μεταβολών της κινητικής ενέργειας (λόγω μεταβολής της ταχύτητας από V_i σε V_{i+1}), της μεταβολής της δυναμικής ενέργειας (λόγω μεταβολής υψομέτρου από H_i^* σε H_{i+1}^* που μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ανάλογα με τις σχετικές θέσεις των υψομέτρων) και την υπερνίκηση των απωλειών λόγω της αντίστασης κύλισης και της αεροδυναμικής αντίστασης. Οι επιμέρους αυτές ενέργειες για κάθε χρονική στιγμή i καθώς και το άθροισμα τους (συνολική απαιτούμενη ενέργεια) αποτελούν τις μεταβλητές του μοντέλου.

Τέλος, προστίθενται και οι καταναλώσεις που οφείλονται στη λειτουργία των λοιπών υποστηρικτικών συσκευών του φορτηγού οχήματος (βλέπε Ενότητα 2.1.1).

Αξιοποιώντας τις δυνατότητες του λογιστικού φύλλου Excel δημιουργούνται αυτόματα διαγράμματα ταχύτητας - χρόνου, κατανάλωσης - χρόνου σε σχέση και με την υψομετρική διαμόρφωση της οδού.

Στο Σχήμα 21 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας υπολογισμού καθώς και οι μαθηματικές σχέσεις σε κάθε βήμα.



Σχήμα 21: Διάγραμμα ροής του μοντέλου εκτίμησης της κατανάλωσης

3.3 Έλεγχος εγκυρότητας Μοντέλου

Ο έλεγχος της εγκυρότητας ενός νέου μοντέλου ή και ενός μοντέλου που έχει αναπτυχθεί σε διαφορετικό τεχνολογικό/λειτουργικό περιβάλλον από αυτό που πρόκειται να εφαρμοστεί αποτελεί ένα απαραίτητο βήμα πριν από την χρήση του μοντέλου αυτού σε διερευνήσεις, επίλυση προβλημάτων και εφαρμογές. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ο έλεγχος της εγκυρότητας του μοντέλου που αναπτύχθηκε πραγματοποιήθηκε με τους εξής δύο τρόπους:

1. Έλεγχος εγκυρότητας μέσω βιβλιογραφικών αναφορών. Πρόκειται για επιβεβαίωση αποτελεσμάτων που δημοσιεύονται στη βιβλιογραφία αναφορικά με την κατανάλωση φορτηγών για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας (σενάρια). Τα σενάρια αυτά επιλύθηκαν μέσω του μοντέλου της παρούσας εργασίας και τα αποτελέσματα της επίλυσης συγκρίθηκαν με αυτά της βιβλιογραφίας. Συγκεκριμένα, τέθηκαν υπό εξέταση συμπεράσματα που αφορούν την κατανάλωση καυσίμου φορτηγών οχημάτων από δημοσιεύσεις της Γερμανικής Ένωσης Αυτοκινητοβιομηχανιών (VDA) [39], της Διεθνούς Ένωσης Οδικών Μεταφορών [40], της εταιρίας ελαστικών Bridgestone [30] καθώς και του Εθνικού Συμβουλίου Πετρελαίου των Η.Π.Α. [9].
2. Έλεγχος εγκυρότητας μέσω μετρήσεων πεδίου. Οι μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα από 4 έως και 6 Αυγούστου 2015 με συσκευή GPS τοποθετημένη σε οχήματα μεταφορικής εταιρίας που εδρεύει στον Ασπρόπυργο Αττικής εκτελεί μεταφορές από και προς το λιμάνι του Πειραιά καθώς και σε αποθήκες πελατών της σε περιοχές του λεκανοπεδίου Αττικής. Συγκεκριμένα, έγιναν καταγραφές θέσης, ταχύτητας και μεταφερόμενου φορτίου για διάφορες διαδρομές με δύο τύπους φορτηγών. Οι καταγραφές αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο υπολογισμού κατανάλωσης. Παράλληλα έγιναν μετρήσεις της πραγματικής κατανάλωσης στο τέλος κάθε ημέρας οι οποίες και συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του μοντέλου.

3.4 Ανάπτυξη εφαρμογών - Περιοχές εφαρμογής του μοντέλου

Το μοντέλο εκτίμησης κατανάλωσης που αναπτύσσεται στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία σειρά από εφαρμογές όπως:

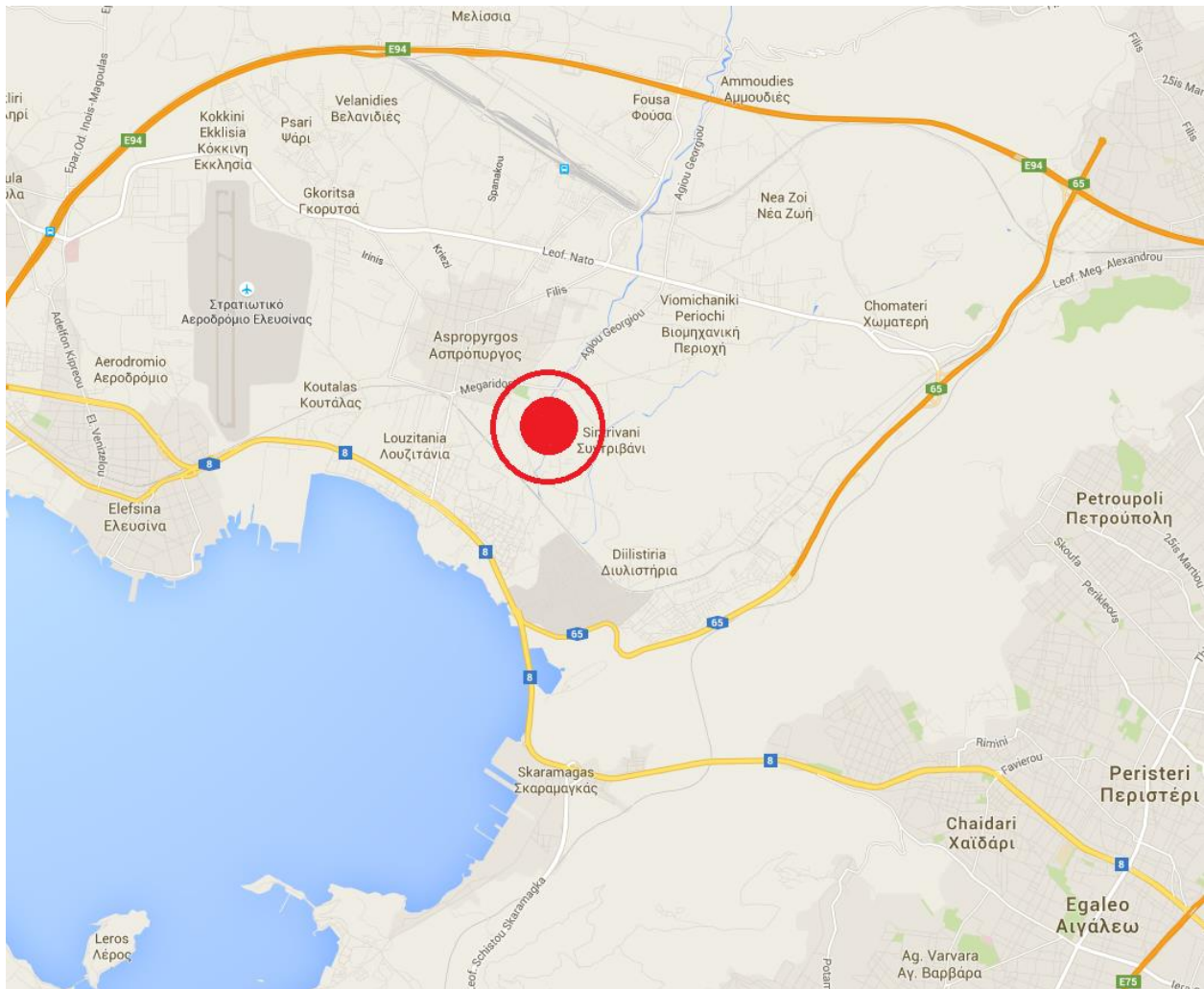
- Προεκτίμηση του κόστους καυσίμου μεταφορικής εταιρίας για τη προετοιμασία προσφορών για την ανάληψη μεταφορικού έργου ή και για τον προσδιορισμό της τιμολογιακής πολιτικής της.
- Μελέτες εκτίμησης λειτουργικού κόστους οδού (για τον υπολογισμό της κατανάλωσης των φορτηγών οχημάτων).
- Για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ισοδύναμο CO²) λόγω των οδικών εμπορευματικών μεταφορών.
- Συγκριτικές αναλύσεις κατανάλωσης και περιβαλλοντικών επιπτώσεων για εναλλακτικά μεταφορικά μέσα (π.χ. τραίνου-φορτηγού)
- Σύγκριση εναλλακτικών σχεδιασμών/χαράξεων (π.χ. εναλλακτικών διαδρομών μέσω οδών με διόδια που όμως προσφέρουν καλύτερες συνθήκες κυκλοφορίας).

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1 Συλλογή δεδομένων μέσω μετρήσεων πεδίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο ο έλεγχος εγκυρότητας του μοντέλου απαιτεί συλλογή στοιχείων με μετρήσεις πεδίου. Η διεξαγωγή των μετρήσεων αυτών πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαδοχικές καθημερινές ημέρες της εβδομάδας, συγκεκριμένα από την Τρίτη 04 Αυγούστου έως και την Πέμπτη 06 Αυγούστου 2015.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε φορτηγά μεταφορικής εταιρίας η οποία έχει τον σταθμό των φορτηγών οχημάτων της (Σ.Φ.Ο.) σε βιομηχανική περιοχή, στο Δυτικό Τμήμα της Αττικής στα σύνορα του Δήμου Ασπροπύργου. Πρόκειται για περιοχή στην οποία εδρεύει σημαντικός αριθμός επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στο χώρο των μεταφορών και τα logistics καθώς γεωγραφικά τοποθετείται ανάμεσα σε μερικούς από τους σημαντικότερους κόμβους εμπορευματικών μεταφορών της Αττικής, όπως είναι ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά (ΣΕΜΠΟ), το Εμπορευματικό Κέντρο του Θριασίου Πεδίου, τα Διυλιστήρια της Ελευσίνας, η Βιομηχανική Περιοχή Σχιστού (Β.Π.Χ.) και τα Ναυπηγεία του Σκαραμαγκά. Το οδικό δίκτυο της περιοχής είναι αστικό, δεν επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων ενώ ο αριθμός των βαρέων οχημάτων που κινούνται σε αυτό είναι ιδιαίτερα αυξημένος. Ωστόσο, σε μικρές αποστάσεις από το σταθμό, διέρχονται σημαντικοί οδικοί άξονες (Αττική Οδός, Λεωφόρος Αθηνών και Λεωφόρος Σχιστού-Σκαραμαγκά).



Σχήμα 22: Σταθμός Φορτηγών Οχημάτων (Σ.Φ.Ο.) - Βιομηχανική Περιοχή Ασπροπύργου

Τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι:

- (α) DAF CF 85.410 Euro V (2009) (Κινητήρας 12.9 λίτρων, Αυτόματο Κιβώτιο, Απόδοση 410 ίππων στις 1500-1900 στροφές το δευτερόλεπτο, Ροπή 2000Nm στις 1000-1410 στροφές το δευτερόλεπτο)
- (β) Volvo FH-12 Euro I (1993) (460 ίπποι, Χειροκίνητο Κιβώτιο Ταχυτήτων).

Τα οχήματα οδήγησαν δύο εκ των επαγγελματιών οδηγών της εταιρίας. Ο πρώτος οδηγός οδήγησε το φορτηγό της DAF (μετρήσεις 1^{ης} και 3^{ης} ημέρας) και ο δεύτερος το όχημα της Volvo (μετρήσεις 2^{ης} ημέρας).



Σχήμα 23: Φορηγό Όχημα Α, DAF CF (Μοντέλο έτους 2009, κατηγορίας Euro V)



Σχήμα 24: Φορηγό Όχημα Β, Volvo FH-12 (Μοντέλο έτους 1993, κατηγορίας Euro I)

4.1.1 Εξοπλισμός GPS επί του οχήματος

Ζητούμενο των μετρήσεων πεδίου ήταν ο προσδιορισμός των διαδοχικών θέσεων ($\varphi_i, \lambda_i, H_i$) και της ταχύτητας του φορτηγού οχήματος (V_i) ανά δευτερόλεπτο, για το σύνολο των διαδρομών που πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα των μετρήσεων. Χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός δέκτης MobileMapper CX της εταιρίας Magellan, ο οποίος αποτελεί δέκτη διαφορικού GPS (Differential GPS) με ακρίβειες καλύτερες του ενός μέτρου σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνική DGPS χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των σφαλμάτων που επιδρούν στην ακρίβεια των μετρήσεων GPS. Βασίζεται στην συνδυασμένη χρήση μετρήσεων, ενός σταθερού και ενός κινητού δέκτη GPS που λειτουργούν ταυτόχρονα σε σχετικά κοντινή θέση. Ο σταθερός, εγκατεστημένος σε γνωστή θέση δέκτης, υπολογίζει το σφάλμα στις μετρήσεις GPS και το αποστέλλει στον κινητό δέκτη. Ο κινητός δέκτης χρησιμοποιεί την πληροφορία αυτή για να διορθώσει τους υπολογισμούς του. [41]



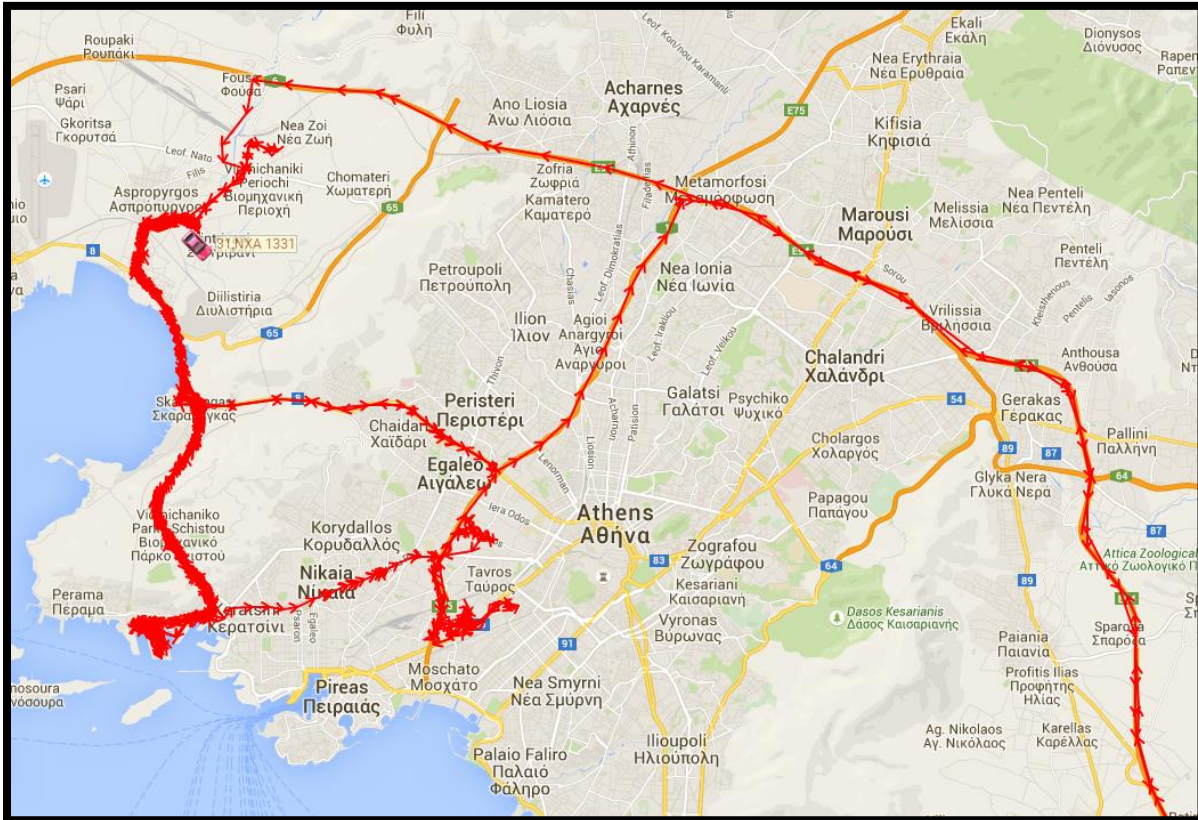
Σχήμα 25: Ο φορητός Δέκτης MagellanMobileMapper CX που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις

4.1.2 Περιγραφή του συστήματος διαχείρισης στόλου οχημάτων

Τα συστήματα διαχείρισης στόλου αποτελούν τα τελευταία έτη, ένα από τα βασικά εργαλεία μίας μεταφορικής εταιρίας. Ένα τέτοιο διαδικτυακό σύστημα διαχείρισης στόλου φορτηγών οχημάτων χρησιμοποιήθηκε μετά από σχετική έγκριση της διοίκησης της εταιρίας ως εργαλείο συλλογής στοιχείων για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

Οι βασικές λειτουργίες των συστημάτων διαχείρισης στόλου είναι:

- “Άμεσος Εντοπισμός” (Live Tracking): Πρόκειται για μία εφαρμογή η οποία επιτρέπει την άμεση απεικόνιση της θέσης του φορτηγού οχήματος σε πραγματικό χρόνο πάνω σε δύο από τα πλέον διαδεδομένα χαρτογραφικά υπόβαθρα των Google και Bing Maps. Με τη λειτουργία αυτή, ο χρήστης είναι σε θέση να αποκτά πληροφορίες που αφορούν τη θέση, τη κατεύθυνση και τη ταχύτητα του φορτηγού οχήματος κατά τη διάρκεια των διαδρομών του. Η καταγραφή των στοιχείων αυτών πραγματοποιείται μόνο κατά τις περιόδους στις οποίες το όχημα εκτελεί μία διαδρομή, ενώ παράλληλα η συχνότητα καταγραφής στη πλειονότητα των περιπτώσεων κυμαίνεται στα ένα με δύο λεπτά, χωρίς όμως να είναι σταθερή.
- “Ιστορικό”: Μέσω της λειτουργίας αυτής δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ανατρέξει σε δεδομένα που έχουν καταγραφεί στο παρελθόν. Συγκεκριμένα, είναι δυνατή τόσο η απεικόνιση όσο και η λήψη των στιγμάτων που αφορούν κάθε φορά ένα συγκεκριμένο φορτηγό όχημα και μία χρονική περίοδο.
- “Κέντρο Αναφοράς” (Report Center): Η λειτουργία πραγματοποιεί μία συνοπτική, συγκεντρωτική κατάσταση των δεδομένων που έχουν καταγραφεί στο αρχείο. Πρόκειται για έκθεση αναφοράς με συγκεντρωτικά στοιχεία σχετικά με τη κίνηση των οχημάτων, όπως για παράδειγμα τον αριθμό των χιλιομέτρων που διανύθηκαν ημερησίως από ένα φορτηγό.



Σχήμα 26: Απεικόνιση ιστορικού μετακινήσεων ενός φορτηγού σε μία ημέρα σε ψηφιακό υπόβαθρο χαρτών της Google

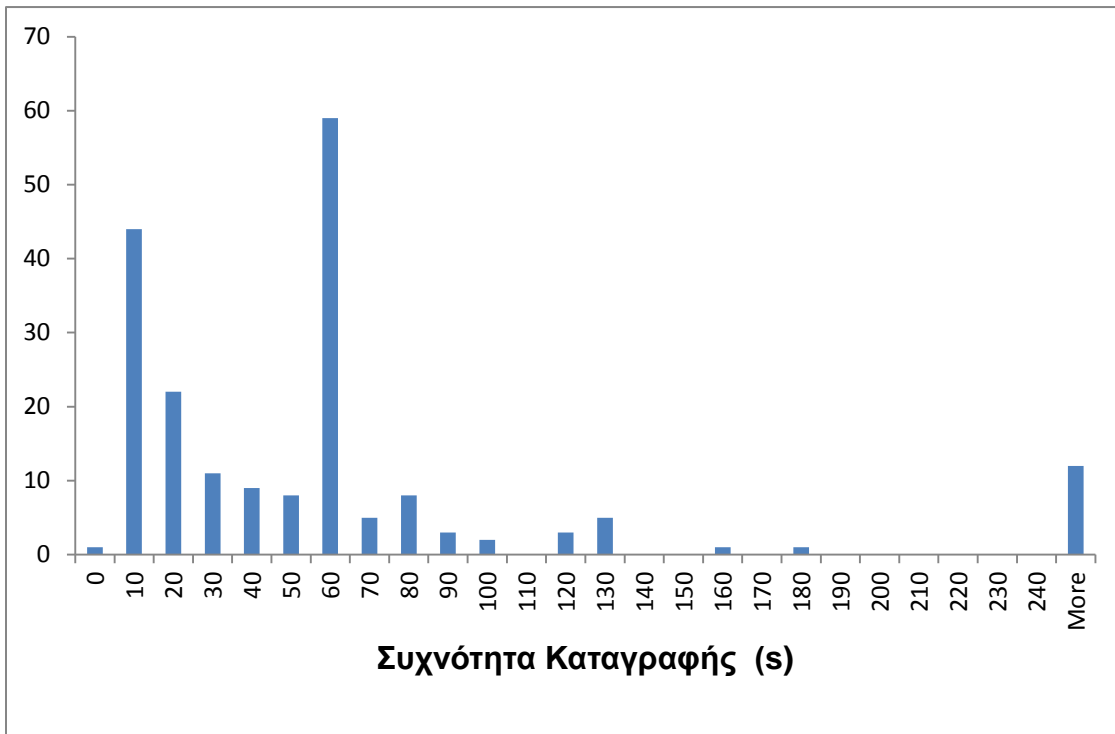
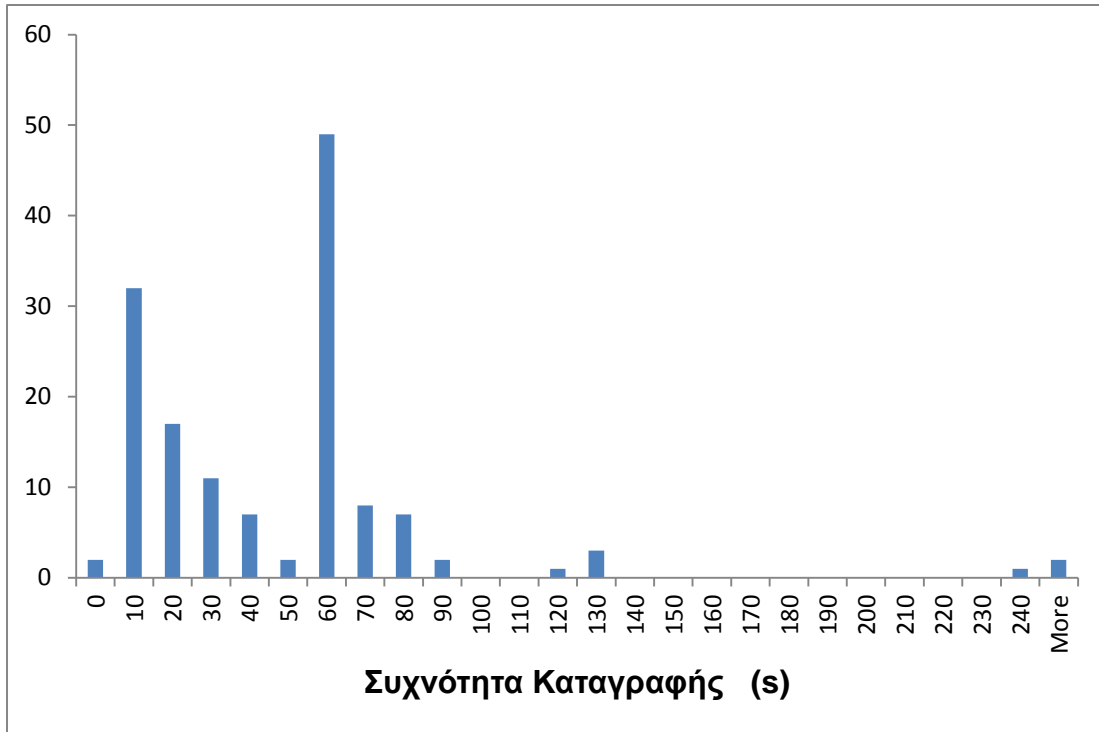
Η αξιοποίηση ενός Σ.Δ.Σ. επιτρέπει την πρόσβαση σε ένα ιδιαίτερα μεγάλο όγκο δεδομένων σχετικά με τη μετακίνηση των φορτηγών οχημάτων της εταιρίας. Αυτή η πληροφορία, δύναται να αποτελέσει ένα μεγάλο δείγμα πραγματικών μετρήσεων. Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα:

- Το σύστημα Σ.Δ.Σ. καταγράφει στοιχεία θέσης και ταχύτητας με μία συχνότητα της τάξης του ενός λεπτού ενώ ένα ακριβές προφίλ ταχύτητας απαιτεί μετρήσεις της τάξεως του ενός δευτερολέπτου. Όπως αναλύεται στην πρώτη εφαρμογή (βλέπε υποκεφάλαιο 6.1) η μείωση της συχνότητας καταγραφής οδηγεί σε εσφαλμένη (μικρότερη) εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου του φορτηγού.
- Το Σ.Δ.Σ. παρέχει μόνο οριζοντιογραφικά δεδομένα θέσης και όχι υψομέτρου. Επομένως, απαιτείται η συμπλήρωση της πληροφορίας αυτής κάνοντας χρήση ενός ψηφιακού υπόβαθρου χαρτών (π.χ. Google Maps).

- Η άντληση των στοιχείων από τα ηλεκτρονικά αρχεία (Ιστορικό) του συστήματος μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρα. Στο σύστημα διαχείρισης στόλου της εταιρίας που συμμετείχε στις μετρήσεις πεδίου, ο χρήστης μπορεί να κατεβάσει με ένα αίτημα, το στίγμα ενός φορτηγού για διάστημα επτά ημερών. Ο απαιτούμενος χρόνος είναι της τάξεως των πέντε λεπτών.
- Για λόγους εξοικονόμησης κόστους/χρόνου επικοινωνίας, η αποστολή του στίγματος του οχήματος δεν πραγματοποιείται κατά τις περιόδους που το όχημα κινείται με μία ταχύτητα μικρότερη των 10 χλμ/ώρα. Επομένως, μετακινήσεις του οχήματος που πραγματοποιούνται με μικρή ταχύτητα (π.χ. εσωτερικές μετακινήσεις σε σταθμούς μεταφοράς εμπορευμάτων) δεν καταγράφονται. Επίσης δεν καταγράφεται η κατανάλωση όταν η μηχανή λειτουργεί στο ρελαντί παρόλο που σε μία τέτοια κατάσταση η λειτουργία των βοηθητικών συσκευών (π.χ. το κλιματιστικό του οχήματος) καταναλώνει καύσιμο.
- Το Σ.Δ.Σ. δεν περιέχει πληροφορίες για το ωφέλιμο φορτίο που μεταφέρεται από το φορτηγό όχημα, παράγοντα που επιδρά σημαντικά στην κατανάλωση καυσίμου.

Συχνότητα καταγραφής Σ.Δ.Σ.

Ένα βασικό ζήτημα που αφορά την χρήση των δεδομένων του συστήματος διαχείρισης του στόλου των φορτηγών για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας είναι η συχνότητα καταγραφής των στοιχείων θέσης και ταχύτητας των οχημάτων. Σε γενικές γραμμές, η συχνότητα με την οποία καταγράφεται η πληροφορία είναι της τάξης του ενός λεπτού, όμως υπάρχουν πολλές διαδοχικές μετρήσεις με μικρότερα χρονικά διαστήματα (π.χ. 10 ή 20 δευτερολέπτων) αλλά και πολύ μεγαλύτερα (μεγαλύτερα των 4 λεπτών). Το Σχήμα 27 παρουσιάζει αναλυτικά τη συχνότητα καταγραφής των πληροφοριών.



Σχήμα 27: Συχνότητα λήψης πληροφοριών για την θέση ενός φορτηγού οχήματος από σύστημα διαχείρισης στόλου για διαδρομές της 4^{ης} Αυγούστου 2015 (άνω σχήμα) και της 6^{ης} Αυγούστου 2015 (κάτω σχήμα)

4.1.3 Καταγραφή διαδρομών με GPS επί του οχήματος – μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου

Η διαδικασία καταγραφής διαδρομών με GPS επί του οχήματος ήταν παρόμοια και για τις τρεις ημέρες των μετρήσεων. Το πρώτο βήμα της διαδικασίας ήταν η εγκατάσταση της κεραίας του φορητού δέκτη GPS στην οροφή του οχήματος καθώς και ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας του. Επόμενο βήμα ήταν η τροφοδοσία του οχήματος με καύσιμο, δηλαδή η πλήρωση της δεξαμενής καυσίμου μέχρι μίας στάθμης που ήταν ορατή στο στόμιο του ντεπόζιτου. Η τροφοδοσία του καυσίμου γινόταν σε ιδιόκτητη αντλία καυσίμων του σταθμού. Από τη στιγμή εκείνη και μετά ο επαγγελματίας οδηγός ακολουθούσε τα δρομολόγια της ημέρας όπως αυτά ορίζονταν από το πρόγραμμα εργασιών της εταιρίας.

Η καταγραφή των διαδρομών του φορτηγού έγινε στο διάστημα από τις 10 το πρωί έως και τις 9 το βράδυ. Στο διάστημα αυτό η καταγραφή των στοιχείων θέσης και ταχύτητας από τον δέκτη GPS ήταν συνεχής, με εξαίρεση περιπτώσεις όπου η αναμονή του φορτηγού οχήματος ξεπερνούσε τη μία ώρα οπότε για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας της μπαταρίας η συσκευή GPS ήταν εκτός λειτουργίας.

Με το πέρας της ημέρας όταν το φορτηγό επέστρεφε στον σταθμό της εταιρίας πραγματοποιείτο εκ νέου το γέμισμα της δεξαμενής καυσίμων του φορτηγού (ντεπόζιτο) μέχρι την στάθμη καυσίμου στην οποία βρισκόταν στην αρχή της ημέρας. Η ένδειξη της αντλίας καυσίμου (λίτρα) προσδιόρισε την ποσότητα καυσίμου που καταναλώθηκε από το όχημα στη διάρκεια της ημέρας. Η μέτρηση αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ακριβής καθώς η πρόσθετη ποσότητα για την πλήρωση του ντεπόζιτου ήταν μικρή σε σύγκριση με τη χωρητικότητα της οπότε θερμοκρασιακές μεταβολές ή η κλίση του δαπέδου εμπρός από την αντλία μπορούν να οδηγήσουν σε αποκλίσεις από την πραγματική κατανάλωση.

Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας ήταν η συγκέντρωση στοιχείων από τα παραστατικά του λογιστηρίου της εταιρίας για το ωφέλιμο φορτίο που διακινήθηκε σε κάθε τμήμα της διαδρομής.

Μετρήσεις 04/08/2015

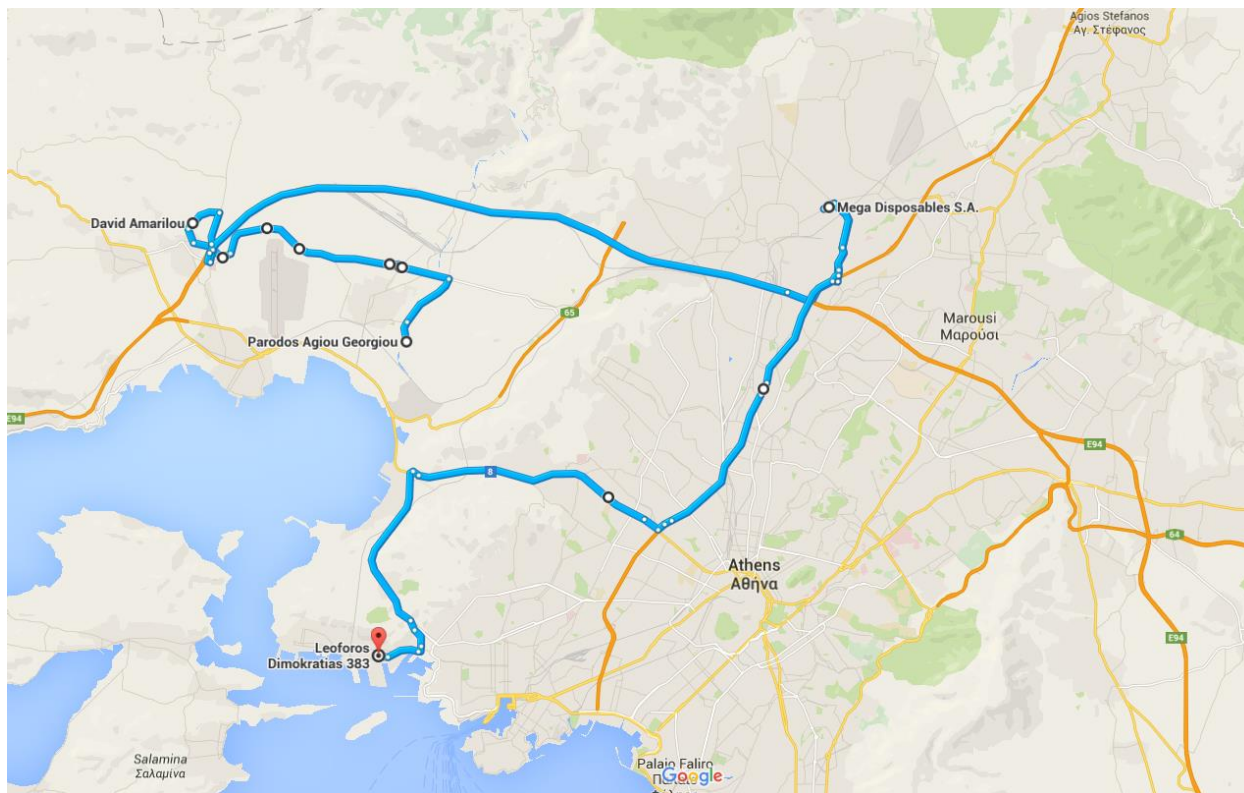
Η Τρίτη 4 Αυγούστου ήταν η πρώτη μέρα των μετρήσεων. Καταγράφηκαν τα δρομολόγια του φορτηγού DAF CF 85.410 από τις 11:20 π.μ. έως και τις 19:11 μ.μ. Οι διαδρομές που πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα αυτό παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Στο Σχήμα 28 απεικονίζονται οι ακριβείς οδεύσεις των διαδρομών αυτών.

Πίνακας 5: Διαδρομές, χρόνοι και Ωφέλιμα φορτία 1ης Ημέρας

Διαδρομές	Διάρκεια	Μεταφερόμενο φορτίο (kg)	Παρατηρήσεις
Σ.Φ.Ο. - Μαγούλα	11:20 - 11:45	10.000	άφορτο τρέιλερ
Μαγούλα - Μενίδι	12:07 - 12:36	7.000	ελκυστήρας
Μενίδι – ΣΕΜΠΟ	13:01 - 13:44	18.570	έμφορτο εμπορευματοκιβώτιο
ΣΕΜΠΟ – Σ.Φ.Ο	16:47 - 17:16	22.680	έμφορτο εμπορευματοκιβώτιο
Σ.Φ.Ο. - Μαγούλα	17:20 - 17:45	10.000	άφορτο τρέιλερ
Μαγούλα – Σ.Φ.Ο.	18:45 - 19:11	10.000	άφορτο τρέιλερ

Η διάρκεια διαδρομής που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5 δεν αφορά μόνο στην χρονική περίοδο κατά την οποία το φορτηγό είναι εν κινήσει αλλά περιλαμβάνει και τις περιόδους αναμονής του οχήματος στις εγκαταστάσεις των πελατών.

Την πρώτη ημέρα η συνολική χιλιομετρική απόσταση που διανύθηκε ήταν 120 χιλιόμετρα, ενώ η κατανάλωση που μετρήθηκε ήταν 40 λίτρα. Συνεπώς η μέση κατανάλωση ήταν 33,3 λίτρα/100 χλμ. και μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι περιλαμβάνει διαδρομές μόνο με τον ελκυστήρα καθώς και διαδρομές με μικρό μεταφερόμενο φορτίο.



Σχήμα 28: Απεικόνιση διαδρομών φορτηγού στις 4 Αυγούστου 2015

Μετρήσεις 05/08/2015

Την Τετάρτη 5 Αυγούστου (2^η ημέρα των μετρήσεων) η καταγραφή του πρώτου δρομολογίου ξεκίνησε στις 11:40 π.μ. Την ημέρα αυτή οι μετρήσεις έγιναν με διαφορετικό φορτηγό (Volvo Fh-12, μοντέλο 1993, κλάσης Euro I) και διαφορετικό οδηγό από ότι οι μετρήσεις των άλλων δύο ημερών. Το γεγονός ότι το φορτηγό όχημα ήταν παλαιότερης τεχνολογίας με πολλά χρόνια λειτουργίας αποτυπώθηκε στους υπολογισμούς μέσω των αντίστοιχων διορθωτικών συντελεστών. Οι διαδρομές που πραγματοποιήθηκαν στη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Η συνολική χιλιομετρική απόσταση που διανύθηκε τη μέρα αυτή ήταν 106 χιλιόμετρα, ενώ η κατανάλωση που μετρήθηκε στο τέλος της ημέρας ήταν 41 Λίτρα (38,7 λίτρα / 100 χλμ).

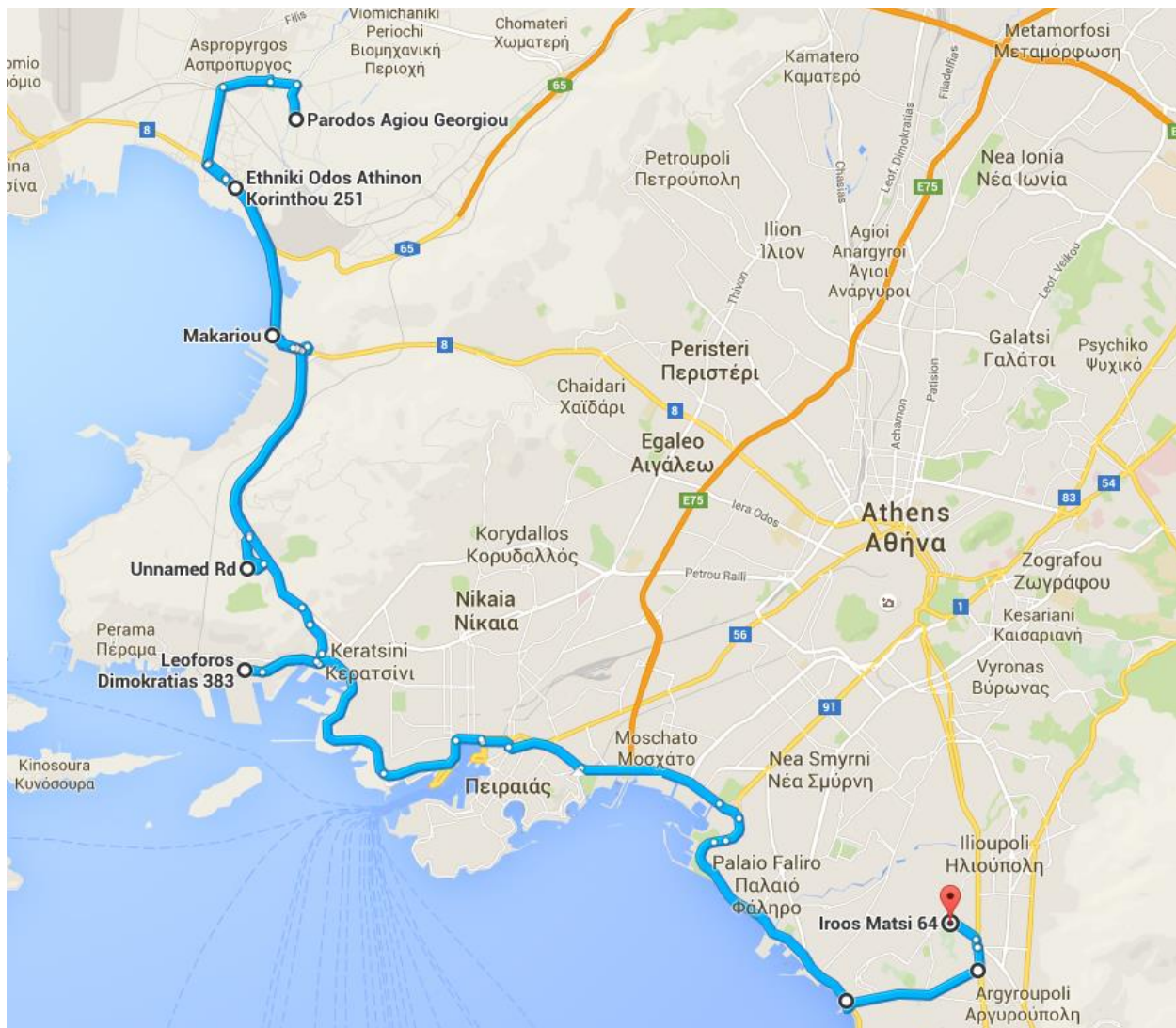
Πίνακας 6: Διαδρομές, χρόνοι και Ωφέλιμα φορτία 2ης Ημέρας

Διαδρομές	Διάρκεια	Μεταφερόμενο φορτίο (kg)	Παρατηρήσεις
Σ.Φ.Ο. - Σκαραμαγκάς	11:40 - 12:05	13.800	κενό εμπορευματοκιβώτιο
Σκαραμαγκάς – Β.Π.Σ.	12:05 - 12:26	10.000	άφορτο τρέιλερ
Β.Π.Σ. - Παραλία Ασπροπύργου	12:26 - 12:54	14.400	κενό εμπορευματοκιβώτιο
Παραλία Ασπροπύργου - ΣΕΜΠΟ	13:01 - 14:06	10.000	άφορτο τρέιλερ
ΣΕΜΠΟ - Άλιμος	14:06 - 14:47	15.000	κενό εμπορευματοκιβώτιο
Άλιμος – ΣΕΜΠΟ	18:28 - 19:51	18.000	έμφορτο εμπορευματοκιβώτιο
ΣΕΜΠΟ - Σ.Φ.Ο.	19:51 - 20:26	10.000	άφορτο τρέιλερ

Οι μικρές τιμές μεταφερόμενου φορτίου αφορούν κατά κύριο λόγο μεταφορές κενών εμπορευματοκιβώτιων. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της διαδρομής ΣΕΜΠΟ – Άλιμος, όπου πραγματοποιήθηκε η μεταφορά εμπορευματοκιβωτίου τύπου flat rack (βλέπε Σχήμα 29), το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά σκάφους από τον Άλιμο στο ΣΕΜΠΟ.



Σχήμα 29: Εμπορευματοκιβώτιο τύπου Flat rack βάρους περίπου 5 τόνων, για τη πραγματοποίηση ειδικών μεταφορών



Σχήμα 30: Απεικόνιση διαδρομών φορτηγού στις 5 Αυγούστου 2015

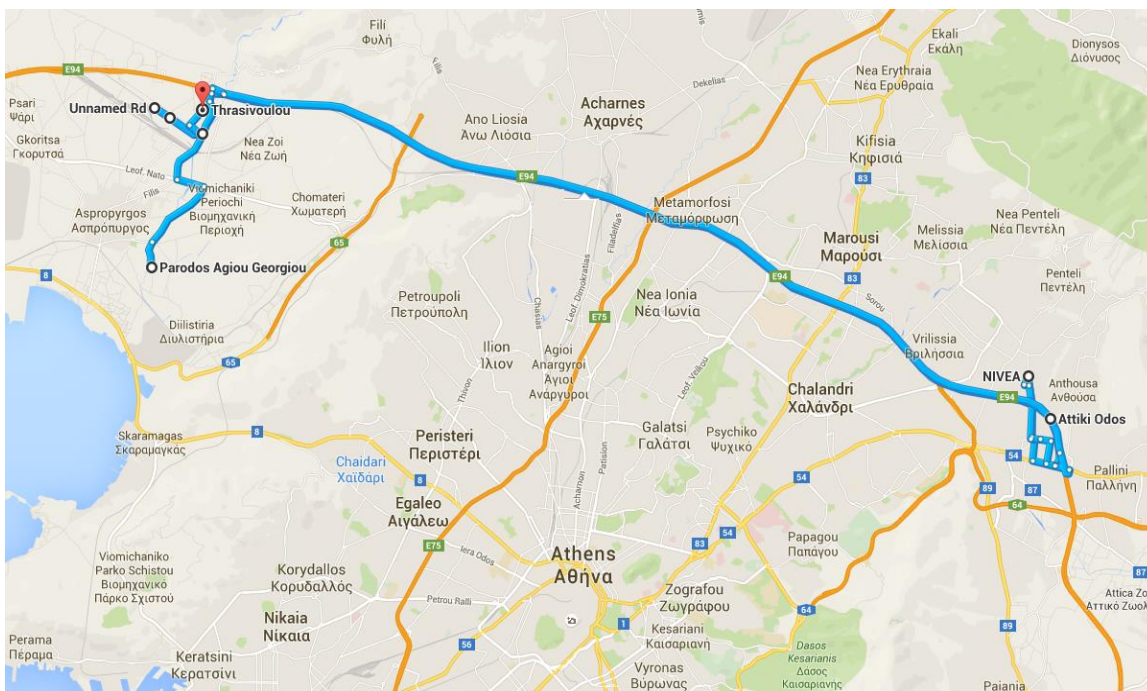
Μετρήσεις 06/08/2015

Η Πέμπτη 6 Αυγούστου ήταν η τελευταία μέρα των μετρήσεων πεδίου με ώρα εκκίνησης τις 11:05 π.μ. Το φορτηγό όχημα που πραγματοποίησε τις διαδρομές ήταν αυτό της πρώτης ημέρας και μάλιστα με τον ίδιο οδηγό. Οι μετρήσεις της ημέρας αυτής διήρκησαν συνολικά 5.30 ώρες και παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Η συνολική χιλιομετρική απόσταση που διανύθηκε τη μέρα αυτή ήταν 90 χιλιόμετρα, ενώ η

κατανάλωση που μετρήθηκε στο τέλος της ημέρας ήταν 39 λίτρα (43,3 λίτρα / 100 χλμ).

Πίνακας 7: Διαδρομές, χρόνοι και Ωφέλιμα φορτία 3ης Ημέρας

Διαδρομές	Διάρκεια	Μεταφερόμενο φορτίο (kg)	Παρατηρήσεις
Σ.Φ.Ο - Ε.Κ.Θ.	11:05 - 11:31	10.000	άφορτο τρέιλερ
Ε.Κ.Θ. - Γέρακας	11:31 - 12:15	31.170	έμφορτο εμπορευματοκιβώτιο
Γέρακας - Ε.Κ.Θ.	13:15 - 13:56	14.250	κενό εμπορευματοκιβώτιο
Ε.Κ.Θ. - Φούσα	13:56 - 14:20	40.000	έμφορτο εμπορευματοκιβώτιο
Φούσα - Ε.Κ.Θ.	15:30 - 15:47	14.250	κενό εμπορευματοκιβώτιο
Ε.Κ.Θ. - Σ.Φ.Ο.	15:47 - 16:20	10.000	άφορτο τρέιλερ



Σχήμα 31: Απεικόνιση διαδρομών φορτηγού στις 6 Αυγούστου 2015

4.2 Καταγραφή διαδρομών μέσω του συστήματος διαχείρισης στόλου – μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου

Στην περίοδο από 4 έως και 6 Αυγούστου στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις GPS επί του οχήματος, πραγματοποιήθηκε παράλληλα και λήψη δεδομένων από το Σ.Δ.Σ. για τις ίδιες διαδρομές. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην 1^η εφαρμογή “Δυνατότητα Εκτίμησης Κατανάλωσης μέσω Σ.Δ.Σ.” για την εκτίμηση των διορθωτικών συντελεστών b_c (βλέπε υποκεφάλαιο 6.1).

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε λήψη δεδομένων από το Σ.Δ.Σ. για το διάστημα 7 έως 13 Αυγούστου για το φορτηγό DAF CF. Στο διάστημα αυτό έγιναν δύο μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου. Η πρώτη αφορούσε στις διαδρομές των ημερών 7,10,11 και 12 Αυγούστου (οι 8 και 9 Αυγούστου είναι Σαββατοκύριακο και δεν πραγματοποιήθηκαν δρομολόγια). Στο διάστημα αυτό διανύθηκαν 651 χλμ και καταναλώθηκαν συνολικά 277 λίτρα (μέση κατανάλωση 42,5 λίτρα/ 100χλμ). Η δεύτερη μέτρηση αφορούσε στις διαδρομές της 13^{ης} Αυγούστου κατά την οποία το φορτηγό διήνυσε 348 χλμ και κατανάλωσε 130 λίτρα (μέση 37,4 λίτρα/ 100 χλμ). Τα ανωτέρω στοιχεία (διαδρομές και αντίστοιχες καταναλώσεις) χρησιμοποιήθηκαν και αυτά στην 1^η εφαρμογή “Δυνατότητα Εκτίμησης Κατανάλωσης μέσω Σ.Δ.Σ.” για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη χρήση των διορθωτικών συντελεστών b_c .

4.3 Λήψη στοιχείων από το ιστορικό αρχείο του συστήματος διαχείρισης στόλου

Τα ιστορικό αρχείο (βάση δεδομένων) του συστήματος διαχείρισης στόλου της μεταφορικής εταιρίας με τα φορτηγά της οποίας έγιναν οι μετρήσεις πεδίου, περιλαμβάνει ένα σημαντικό όγκο πληροφοριών που αφορούν στις μετακινήσεις του στόλου των 29 φορτηγών αυτοκινήτων της για την περίοδο των τελευταίων ετών. Δυστυχώς όμως δεν τηρούνται καθόλου στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου. Από το αρχείο αυτό έγινε λήψη στοιχείων για τις διαδρομές που πραγματοποίησε ένα εκ των φορτηγών της εταιρίας για διάστημα ενός περίπου έτους. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την 3^η εφαρμογή (βλέπε υποκεφάλαιο 6.3) για τον προσδιορισμό της μέσης ταχύτητας του φορτηγού για διάφορες διαδρομές που πραγματοποίησε εντός

του λεκανοπεδίου Αττικής. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν για να ελεγχθεί κατά πόσο οι διαδρομές που καταγράφηκαν τις προηγούμενες περιόδους (ακριβής καταγραφή μέσω συσκευής GPS επί του οχήματος) ήταν αντιπροσωπευτικές στο σύνολο ενός έτους.

4.4 Επεξεργασία μετρήσεων

4.4.1 Μετρήσεις συσκευής GPS

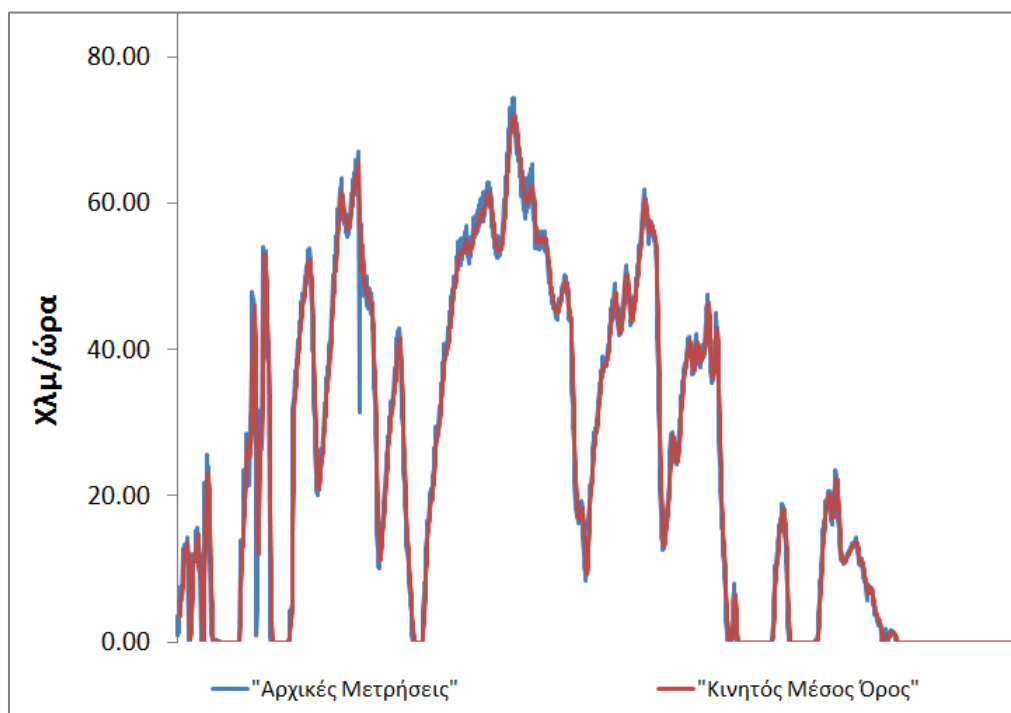
Μία συμβατική συσκευή GPS ιδιαίτερα στη περίπτωση που η λήψη του σήματος γίνεται για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και μάλιστα εν κινήσει ενδέχεται να παρουσιάζει σφάλματα αρκετά σημαντικότερα αυτών που αναμένονται σε μία συμβατική τοπογραφική εφαρμογή (σταθερή θέση οργάνου, δυνατότητα για λήψη πολλαπλών μετρήσεων και εκτίμηση του στίγματος με επεξεργασία γραφείου).

Συγκεκριμένα τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στις μετρήσεις αφορούσαν:

- Απότομες μεταβολές της ταχύτητας: Σε ορισμένες περιπτώσεις οι τιμές διαδοχικών καταγραφών ταχύτητας αν και έχουν γίνει με χρονική διαφορά ενός μόνο δευτερολέπτου εμφανίζουν έντονες αυξομειώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές η εξομάλυνση έγινε με την τεχνική του κινητού μέσου όρου (moving average) με διάστημα πέντε τιμών.
- Ακρίβεια υπολογισμού υψομέτρου: Σε αντίθεση με τον οριζοντιογραφικό υπολογισμό του δέκτη GPS, η ακρίβεια του οποίου κρίθηκε ικανοποιητική για τις απαιτήσεις της εργασίας, η μεταβολή του υψομέτρου μεταξύ διαδοχικών θέσεων του φορητού παρουσίαζε έντονες μεταβολές που δεν δικαιολογούνται από το ανάγλυφο της περιοχής. Ένα τέτοιο πρόβλημα, είναι αναμενόμενο σε εφαρμογές εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο, καθώς η ακρίβεια υπολογισμού του υψομέτρου είναι σαφώς χαμηλότερη από αυτή των συντεταγμένων (φ,λ). Τα σφάλματα αυτά μεταφέρονταν στην εκτίμηση της κλίσης του εδάφους που αποτελεί βασική παράμετρο του μοντέλου κατανάλωσης. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αποφασίστηκε ότι αντί για τις καταγραφές του υψομέτρου από τη συσκευή GPS θα χρησιμοποιηθούν τα υψόμετρα που παρέχονται από το ψηφιακό υπόβαθρο Google Maps. Συγκεκριμένα για κάθε

ζεύγος συντεταγμένων (φ,λ) πραγματοποιήθηκε η αναζήτηση των αντίστοιχων υψομέτρων και με τον τρόπο αυτό συμπληρώθηκε.

Η χρήση των υψομέτρων των Google Maps οδήγησε σε μία πολύ πιο ομαλή μετάβαση των υψομέτρων ανάμεσα στις χρονικές στιγμές, η οποία ασφαλώς υστερεί σε ακρίβεια αλλά οδηγεί σε πολύ πιο ήπιες μεταβολές της κλίσης, αντικατοπτρίζοντας έτσι με καλύτερο τρόπο την πραγματική εικόνα των μεταβολών στην μηκοτομή της οδού.



Σχήμα 32: Ταχύτητες πριν και μετά την εφαρμογή του Κινητού Μέσου Όρου σε τμήμα της 1ης ημέρας

4.4.2 Στοιχεία συστήματος διαχείρισης στόλου

Επειδή το Σ.Δ.Σ. παρέχει μόνο οριζοντιογραφικά δεδομένα θέσης και όχι υψομέτρου, απαιτείται η συμπλήρωση της πληροφορίας αυτής. Η τεχνική που ακολουθήθηκε είναι όμοια με την διόρθωση του υψομέτρου με χρήση του ψηφιακού υπόβαθρου των χαρτών Google Maps που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Το Σχήμα 33 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις τρεις κατηγορίες των μετρήσεων σε σχέση και με τις εφαρμογές στις οποίες αξιοποιήθηκαν.



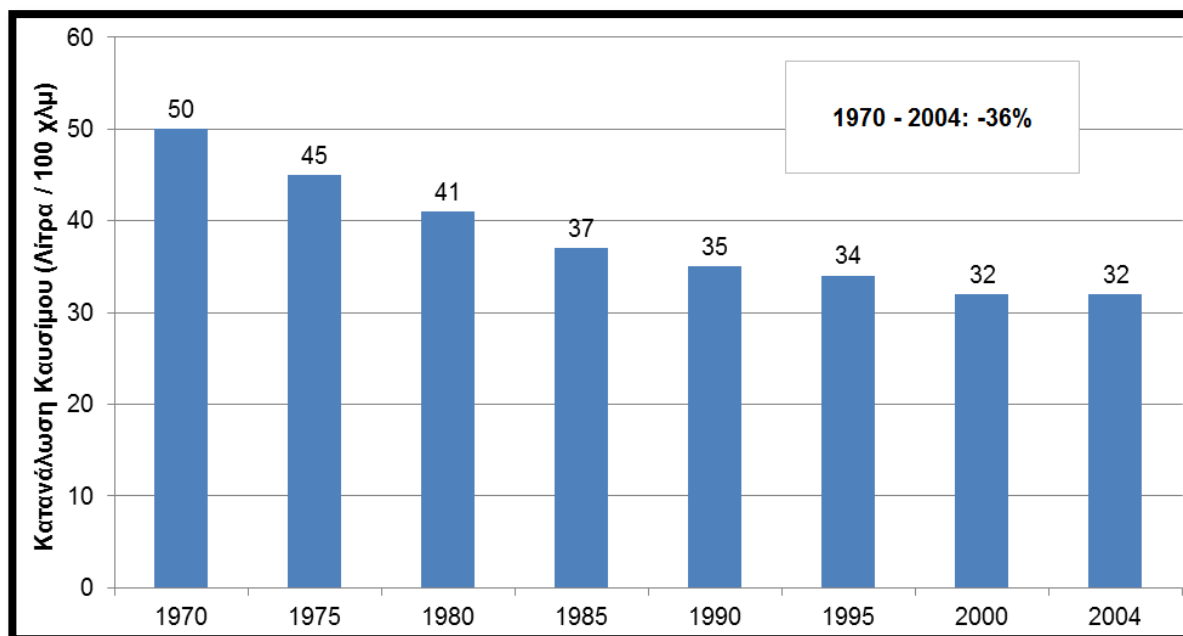
Σχήμα 33: Κατηγορίες μετρήσεων και αντίστοιχες εφαρμογές που αξιοποιήθηκαν

5. ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο έλεγχος εγκυρότητας του μαθηματικού μοντέλου κατανάλωσης πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει ελέγχους εμπειρικών κανόνων ή παρατηρήσεων της βιβλιογραφίας. Το δεύτερο στάδιο, περιλαμβάνει τη σύγκριση με πραγματικές καταναλώσεις φορτηγών οχημάτων.

5.1 Έλεγχος εγκυρότητας μέσω βιβλιογραφικών αναφορών

Ο έλεγχος αυτός αφορά στην εξέταση αποτελεσμάτων που δημοσιεύονται στη βιβλιογραφία αναφορικά με την κατανάλωση φορτηγών οχημάτων για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας. Τα σενάρια αυτά, επιλύονται μέσω του μοντέλου εκτίμησης της κατανάλωσης που αναπτύσσεται στα πλαίσια της εργασίας και παρατίθενται τα αποτελέσματα του σε σύγκριση με τις αρχικές αναφορές.



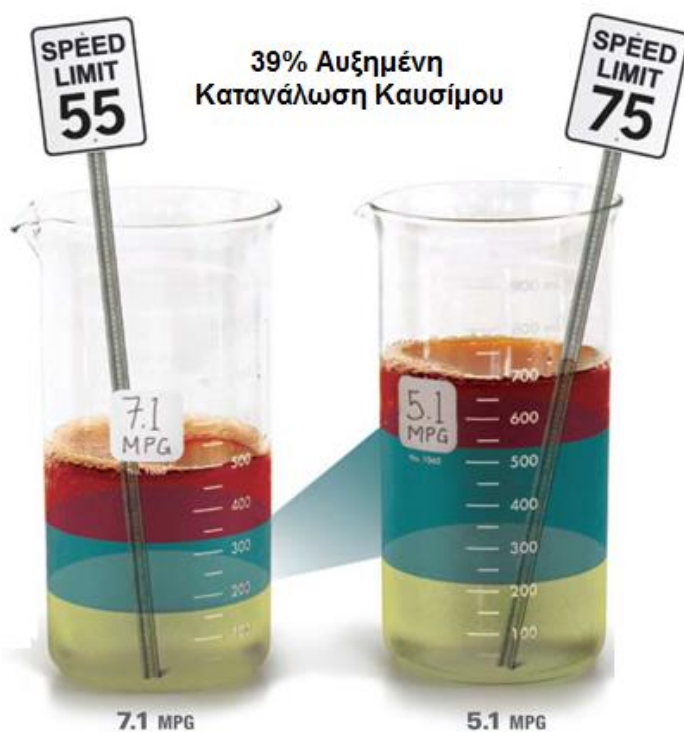
Σχήμα 34: Εξέλιξη Κατανάλωσης Κουσίμου στα φορτηγά των 40 τόνων [39]

Σενάριο ελέγχου #1: φορτηγό 40 τόνων κινούμενο με την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα σε οδό με μηδενική κλίση έχει κατανάλωση της τάξεως των 32 λίτρων ανά 100 χλμ.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της μελέτης της VDA η μέση κατανάλωση ενός 40τονου φορτηγού οχήματος το 1970 ήταν 50 λίτρα/100 χλμ. Με την βοήθεια της τεχνολογίας επιτεύχθηκε σημαντική μείωση της κατανάλωσης αυτής η οποία το 2000 έφτασε τα 32 λίτρα/ 100 χλμ και έκτοτε παραμένει στα επίπεδα αυτά.

Το σενάριο αυτό (φορτηγό μεικτού φορτίου 40 τόνων το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα 70 χλμ/ώρα σε επίπεδο έδαφος) εισήχθη στο μοντέλο της παρούσας εργασίας το οποίο υπολόγισε κατανάλωση 32,8 λίτρα στα 100 χλμ. τιμή η οποία συμφωνεί με τα συμπεράσματα των ανωτέρω μελετών.

Σενάριο Ελέγχου #2: σύμφωνα με δημοσίευση της εταιρίας ελαστικών Bridgestone, η ταχύτητα ενός φορτηγού οχήματος αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα στην κατανάλωση καυσίμου ενός βαρέως φορτηγού οχήματος. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 39% εάν η ταχύτητα κίνησης αυξηθεί από τα 90 χλμ/ώρα στα 120 χλμ/ώρα.



Σχήμα 35: Επίδραση της ταχύτητας στην Κατανάλωση Καυσίμου ενός Φορτηγού Οχήματος [30] (55 μίλια/ώρα = 90 χλμ/ώρα, 75 μίλια/ώρα = 120 χλμ/ώρα)

Το εν λόγω σενάριο υλοποιήθηκε στο μαθηματικό μοντέλο και το αποτέλεσμα που προέκυψε είναι αύξηση της κατανάλωσης κατά 37%, συνεπώς απόκλιση 2% από τη δημοσίευση της Bridgestone.

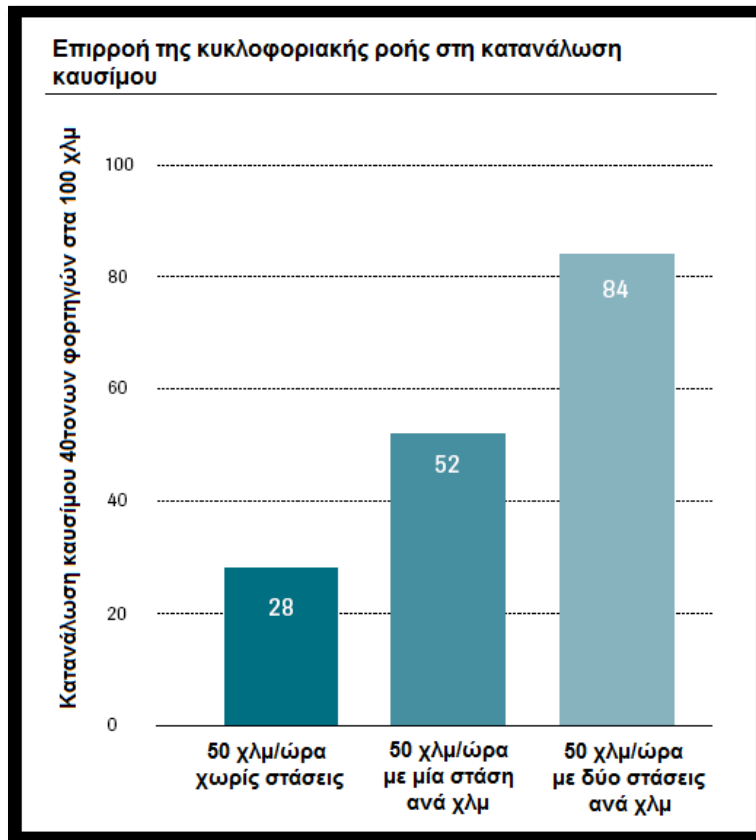
Σενάριο ελέγχου #3: όταν η κίνηση φορτηγού 40 τόνων γίνεται σε ανωφέρεια η κατανάλωση μπορεί να αυξηθεί κατά 50%

Σύμφωνα με την ίδια έρευνα (VDA) σε περίπτωση που η κίνηση του οχήματος γίνεται σε ανωφέρεια, τότε η κατανάλωση αυτή αυξάνεται κατά 50%. Η διατύπωση είναι ασαφής καθώς δεν αναφέρει τη κλίση της ανωφέρειας που οδηγεί σε αυτή την αύξηση της κατανάλωσης. Το σενάριο που εισήχθη στο μοντέλο υπολογισμού της κατανάλωσης η οδός είχε μία σταθερή κλίση του 0.5% και η κατανάλωση υπολογίστηκε στα 47,3 λίτρα στα 100 χλμ, δηλαδή 44,2% αυξημένη σε σχέση με τη προηγούμενη. Η σχέση μεταξύ κλίσης και κατανάλωσης διερευνήθηκε συστηματικά στην 2^η εφαρμογή.

Σενάριο ελέγχου #4: η κατανάλωση ενός φορτηγού αυξάνεται σημαντικά όταν υπάρχουν συχνές στάσεις στην διαδρομή του

Η κατανάλωση ενός φορτηγού επηρεάζεται σημαντικά όταν αυξάνει την ταχύτητα του καθώς η σημαντική αύξηση της κινητικής ενέργειας (εξαρτάται από το τετράγωνο της ταχύτητας) προϋποθέτει την αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου. Η ανάγκη για συχνές εκκινήσεις, στάσεις και επανεκκινήσεις οφείλεται κατά κύριο λόγο σε κυκλοφοριακές συνθήκες, λειτουργία συστήματος σηματοδότησης, ύπαρξη ισόπεδων διασταυρώσεων χωρίς σηματοδότηση, διασταυρώσεις με σιδηροδρομικές γραμμές κλπ.

Η ανωτέρω μελέτη της VDA είναι πολύ σαφής και απεικονίζεται στο Σχήμα 35. Ένα όχημα που κινείται με 50 χλμ/ώρα χωρίς να πραγματοποιεί στάσεις έχει κατανάλωση 28 λίτρων/100 χλμ. ενώ όταν πραγματοποιεί μία στάση ανά χιλιόμετρο η κατανάλωση αυξάνεται στα 52 λίτρα/100 χλμ (+ 86% σε σχέση με τη κατανάλωση χωρίς στάσεις) και αυξάνεται περαιτέρω στα 84 λίτρα/ 100 χλμ. (+200% σε σχέση με τη κατανάλωση χωρίς στάσεις) στη περίπτωση που πραγματοποιεί δύο στάσεις ανά χιλιόμετρο.



Σχήμα 36: Μεταβολή Κατανάλωσης Καυσίμου λόγω Κυκλοφοριακής Ροής

Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τα αποτελέσματα του μοντέλου κατανάλωσης της παρούσας εργασίας σε αντιστοίχιση με τις τρεις περιπτώσεις που προβλέπονται από τη μελέτη της VDA.

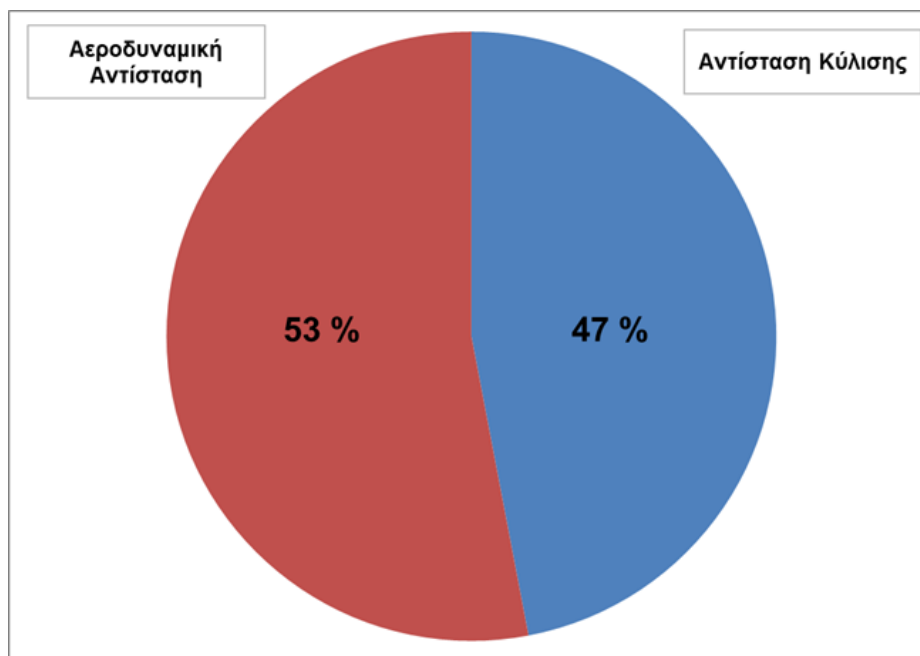
Πίνακας 8: Εκτίμηση κατανάλωσης και διαφορές από VDA σύμφωνα με το σενάριο #3

	Εκτίμηση κατανάλωσης (λίτρα/100 χλμ)	Διαφορά από VDA (%)
50 χλμ/ώρα χωρίς στάσεις	27,5	1,8
50 χλμ/ώρα 1 στάση/ χλμ	52,5	-1
50 χλμ/ώρα 2 στάσεις/ χλμ	81	3,7

Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου επαληθεύουν τα ευρήματα της VDA τόσο ως προς την κατανάλωση για τα 50χλμ/ώρα όσο και για την αύξηση της κατανάλωσης και τις αντίστοιχες ποσοστιαίες μεταβολές.

Σενάριο ελέγχου #5: η συμμετοχή της αεροδυναμικής αντίστασης και της αντίστασης κύλισης είναι περίπου ίσες για ένα φορτηγό όχημα 36 τόνων που κινείται με περίπου 70 χλμ/ώρα

Σύμφωνα με έρευνα του Εθνικού Συμβουλίου Πετρελαίου των Η.Π.Α. η συμμετοχή της αεροδυναμικής αντίστασης και της αντίστασης κύλισης είναι ίσες για ένα φορτηγό όχημα που κινείται με συνολικό βάρος 36 τόνων με περίπου 70 χλμ/ώρα και υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις που αφορούν τις σταθερές παραμέτρους του μοντέλου όπως παρουσιάζεται Σχήμα 10 του υποκεφαλαίου 2.1.1. Το σενάριο υλοποιήθηκε μέσω του μοντέλου κατανάλωσης και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 37.



Σχήμα 37: Συμμετοχή αεροδυναμικής αντίστασης και αντίστασης κύλισης στη κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος. Υποθέσεις: $C_{RR}=0.005, C_D=0.65, A=10m^2$, Βάρος= 36000kg

5.2 Έλεγχος εγκυρότητας μέσω μετρήσεων πεδίου

Ο έλεγχος εγκυρότητας μέσω μετρήσεων πεδίου αφορά στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τις 4 έως τις 6 Αυγούστου 2015 σε μεταφορική εταιρία που έχει την έδρα της στη βιομηχανική περιοχή Ασπροπύργου. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν για το σύνολο των διαδρομών περιλαμβάνουν στοιχεία θέσης, ταχύτητας, μεταφερόμενου φορτίου καθώς και της πραγματικής κατανάλωσης καυσίμου στο τέλος κάθε ημέρας.

Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει (μεταξύ άλλων) το συνολικό βάρος του οχήματος για κάθε διαδρομή που πραγματοποιήθηκε. Η κατάσταση αυτή απεικονίστηκε και στο μοντέλο υπολογισμού κατανάλωσης στο οποίο ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου για κάθε διαδρομή πραγματοποιείται για το φορτίο που είχε το φορτηγό στο πραγματικό σύστημα. Η τελευταία στήλη (“Μέσο βάρος διαδρομών”) του πίνακα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ο Πίνακας 9 παρέχει τη πληροφορία του βάρους στο πλαίσιο των μετρήσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως το μέσο βάρος ενός ελκυστήρα αυτής της κατηγορίας θεωρήθηκε να είναι οι 7 τόνοι, ενώ αντίστοιχες θεωρήσεις έγιναν για το βάρος του τρέιλερ και των εμπορευματοκιβωτίων (containers). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή [42] οι δύο συχνότερες μορφές εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιούνται κατά τις συνδυασμένες μεταφορές, δηλαδή τα εμπορευματοκιβώτια των 20' και 40' έχουν απόβαρο που κυμαίνεται στα 2.200 kg και 3.800kg αντίστοιχα. Ο πίνακας αυτός, σε συνδυασμό με τον Πίνακα 10 αναδεικνύουν τη σημασία του βάρους στην κατανάλωση του φορτηγού. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πως την Ημέρα 3, παρόλο που τα χιλιόμετρα που διανύθηκαν (90 χλμ) είναι λιγότερα και από τις προηγούμενες δύο ημέρες, η εκτίμηση της κατανάλωσης που οφείλεται στη μετακίνηση είναι μεγαλύτερη. Ο λόγος, οφείλεται στο ότι το μέσο συνολικό βάρος της ημέρας αυτής είναι σχεδόν το διπλάσιο από το αντίστοιχο των δύο προηγούμενων ημερών.

Πίνακας 9: Περιγραφή στοιχείων βάρους στις διαδρομές

	Χρονική Διάρκεια (Λεπτά)	Ωφέλιμο φορτίο (kg)	Τρέιλερ (kg)	Εμπορευματοκιβώτιο (kg)	Συνολικό βάρος οχήματος (kg)	Μέσο βάρος διαδρομών (kg)
4/8/2015	25	0	3.000	-	10.000	13.642
	30	0	-	-	7.000	
	50	4.770	3.000	3.800	18.570	
	25	8.880	3.000	3.800	22.680	
	25	0	3.000	-	10.000	
	25	0	3.000	-	10.000	
5/8/2015	25	0	3.000	3.800	13.800	13.706
	20	0	3.000	-	10.000	
	30	0	3.000	4.400	14.400	
	25	0	3.000	-	10.000	
	50	0	3.000	5.000	15.000	
	40	3.000	3.000	5.000	18.000	
	25	0	3.000	-	10.000	
6/8/2015	25	0	3.000	-	10.000	20.450
	45	17.370	3.000	3.800	31.170	
	45	0	3.000	4.250	14.250	
	20	25.750	3.000	4.250	40.000	
	20	0	3.000	4.250	14.250	
	20	0	3.000	-	10.000	

Διορθωτικοί συντελεστές για παλαιότερες τεχνολογίες και παλαιότητα οχήματος

Οι μετρήσεις της δεύτερης ημέρας πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικό φορτηγό όχημα και με διαφορετικό οδηγό από ότι τις υπόλοιπες δύο ημέρες. Το φορτηγό όχημα Volvo FH-12, σε αντίθεση με το όχημα της εταιρίας DAF, είναι μοντέλο κατασκευής του 1993. Επόμενο είναι, πως η τελική κατανάλωση του οχήματος θα είναι αυξημένη σε σχέση με τα σύγχρονα φορτηγά οχήματα. Από την μελέτη της VDA φαίνεται ότι (βλέπε Σχήμα 35) τα φορτηγά τεχνολογίας 1990-1995 είχαν για τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας 9,3% αυξημένη κατανάλωση (35 λίτρα έναντι 32 λίτρων/100 χλμ). Η αύξηση αυτή στο

μοντέλο υπεισέρχεται μέσω του διορθωτικού συντελεστή b_{tech} ο οποίος έχει τιμή 1,093. Επιπλέον διόρθωση επιτυγχάνεται μέσω του συντελεστή b_{age} ο οποίος τροποποιεί την κατανάλωση με βάση την παλαιότητα του οχήματος που για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μεγαλύτερη των 15 ετών. Ο συντελεστής b_{age} που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο φορτηγό όχημα είναι 10%.

Καταναλώσεις κλιματιστικού και λοιπών βοηθητικών συσκευών

Η εκτίμηση της κατανάλωσης που αφορά τη μετακίνηση του οχήματος διαφέρει από την μετρημένη κατανάλωση στο πεδίο. Η διαφορά αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στη κατανάλωση του οχήματος εξαιτίας των διάφορων εξαρτημάτων του (accessories), όπως αυτά αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.1.1. Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι πως ο προσδιορισμός της ενέργειας που καταναλώνεται από αυτά είναι πολυσύνθετος και ιδιαίτερα απαιτητικός, ειδικότερα στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, και αποφασίστηκε αντί αυτού να χρησιμοποιηθούν μέσες τιμές που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία. Αρχικά, σύμφωνα με την εργασία “*Modelling and Control of auxiliary loads in heavy vehicles*” [19] ένα φορτηγό όχημα 40 τόνων (σε συγκεκριμένους κύκλους οδήγησης που δοκιμάστηκε) καταναλώνει μία μέση τιμή 1,6 Λίτρων στα 100 χιλιόμετρα εφόσον είναι εξοπλισμένο με νέα εξαρτήματα. Η τιμή αυτή αυξάνεται στα 2.1 Λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα στη περίπτωση που τα εξαρτήματα αυτά είναι παλιάς τεχνολογίας. Οι τιμές αυτές λοιπόν, χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα για τα δύο φορτηγά οχήματα σε όλη τη περίοδο στην οποία βρίσκονταν σε κίνηση. Το υπόλοιπο της κατανάλωσης καυσίμου που οφείλεται στα εξαρτήματα προκύπτει από την ενέργεια που δαπανάται κατά τη διάρκεια την οποία ο κινητήρας του φορτηγού είναι σε “*ρελαντί*”. Σύμφωνα με την εργασία “*Large Scale Duty Project*” από την οποία προέρχεται και το υπό μελέτη μαθηματικό μοντέλο εκτίμησης της κατανάλωσης, αναφέρεται πως οι μεγάλες περίοδοι αναμονής (idling) δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης στα πλαίσια της ανάπτυξης του . Ωστόσο, η εξέταση μερικών τέτοιων περιπτώσεων οδηγεί σε μία μέση τιμή των 2 λίτρων καυσίμου ανά μία ώρα αναμονής σε αυτή τη κατάσταση. Επομένως, η τιμή αυτή κρίθηκε ως η πλέον κατάλληλη και χρησιμοποιήθηκε ώστε να προκύψει η τελική εκτίμηση της κατανάλωσης.

Οι τελικές εκτιμήσεις κατανάλωσης που προέκυψαν για κάθε μία από τις ημέρες των μετρήσεων, σε συνδυασμό με τις υποθέσεις που πραγματοποιήθηκαν, παρατίθενται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Σύγκριση αποτελεσμάτων εκτίμησης και μετρημένης τελικής κατανάλωσης

	Διάρκεια	Χιλο-μετρική απόσταση (χλμ)	Εκτίμηση κατανάλωσης λόγω μετακίνησης (Λίτρα)	Εκτίμηση κατανάλωσης λόγω βοηθητικών συσκευών (Λίτρα)	Εκτίμηση Κατανάλωσης (Λίτρα)	Μετρηθείσα Κατανάλωση (Λίτρα)	Ποσοστιαία Διαφορά (%)
Μετρήσεις 4^{ης} Αυγούστου 2015							
Μετακίνηση	2:42:00	120	32,5	9	41,5	39,7	4,5
Ρελαντί	3:31:00						
Σβηστή Μηχανή	1:22:00						
Μετρήσεις 5^{ης} Αυγούστου 2015							
Μετακίνηση	3:10:00	106	31,9	5	36,9	41,0	-10,0
Ρελαντί	1:35:00						
Σβηστή Μηχανή	4:05:00						
Μετρήσεις 6^{ης} Αυγούστου 2015							
Μετακίνηση	2:02:00	90	34,7	3,5	38,2	39,0	-2,0
Ρελαντί	1:00:00						
Σβηστή Μηχανή	2:10:00						

6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

6.1 Δυνατότητα εκτίμησης κατανάλωσης μέσω του συστήματος διαχείρισης στόλου

Σκοπός της εφαρμογής αυτής είναι να διερευνήσει εάν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στοιχεία από το Σύστημα Διαχείρισης Στόλου για τον υπολογισμό της κατανάλωσης των φορτηγών οχημάτων. Ο υπολογισμός της κατανάλωσης μπορεί να γίνει με εφαρμογή του μοντέλου που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία (βλέπε υποκεφάλαιο 3.2) που όμως δεν θα είναι ακριβής επειδή ο χρόνος μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων θέσης και ταχύτητας του φορτηγού είναι της τάξεως του ενός λεπτού. Αυτό σημαίνει ότι αυξομειώσεις της ταχύτητας (π.χ. λόγω κυκλοφοριακών συνθηκών) που μπορεί να συμβαίνουν στο ενδιάμεσο διάστημα δεν καταγράφονται με αποτέλεσμα οι καταναλώσεις να εμφανίζονται μειωμένες.

Ο έλεγχος έγινε με σύγκριση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με συσκευή GPS επί του οχήματος με στοιχεία που ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του Σ.Δ.Σ. για τις ίδιες ακριβώς διαδρομές. Τα δύο αυτά προφίλ ταχύτητας εισήχθησαν στο μοντέλο κατανάλωσης και συγκρίθηκαν οι καταναλώσεις που υπολογίστηκαν για ένα δείγμα 42 διαδρομών οι οποίες περιλαμβάνουν τμήματα του δικτύου στις περιοχές Ασπροπύργου, Μενιδίου, Πειραιά κ.α. καθώς και διαδρομές σε λεωφόρους (Λ. Σχιστού, Λ. Νάτο, Λ. Αθηνών, Λ. Βουλιαγμένης κ.α.) καθώς και διαδρομές στην Αττική Οδό.

Αποτέλεσμα της ανωτέρω ανάλυσης ήταν η εκτίμηση συντελεστών με τους οποίους θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται οι καταναλώσεις που προκύπτουν από το προφίλ ταχύτητας του Σ.Δ.Σ. ώστε να προσεγγίζουν καλύτερα τις πραγματικές. Το πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι μπορούν να αξιοποιηθούν αρχεία του συστήματος Σ.Δ.Σ. τα οποία περιλαμβάνουν καταγραφές αρκετών ετών για ένα μεγάλο στόλο οχημάτων (29 φορτηγά οχήματα).

Για τον έλεγχο της εφαρμογής αυτής καταγράφηκαν από τη μεταφορική εταιρία η κατανάλωση ενός φορτηγού για δύο περιόδους (μία με διάρκειας μίας ημέρας και μία

διάρκειας τεσσάρων ημερών) και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από το μοντέλο με προφίλ ταχύτητας από τα στοιχεία του Σ.Δ.Σ. και τους αυξητικούς συντελεστές που προέκυψαν από την προηγούμενη ανάλυση.

Στο Σχήμα 38 παρουσιάζονται το διάγραμμα ταχύτητας χρόνου για μετρήσεις με συσκευή GPS επί του οχήματος (μπλε γραμμή) καθώς και το διάγραμμα ταχύτητας χρόνου που σχηματίζεται από τα διαδοχικά στίγματα θέσης της κίνησης φορτηγού όπως αυτά καταγράφονται από το σύστημα διαχείρισης στόλου οχημάτων (κόκκινη γραμμή).

Τα διαγράμματα ταχύτητας- χρόνου (ή αλλιώς προφίλ ταχύτητας) καλύπτουν ολόκληρη την πρώτη ημέρα μετρήσεων (4η Αυγούστου 2015). Διακρίνονται 7 τμήματα κάθε ένα εκ των οποίων παρουσιάζεται ξεχωριστά στα επόμενα Σχήματα 38 έως και 43.

Ακολουθεί η ανάλυση των τμημάτων αυτών σε μικρότερες διαδρομές με κριτήριο την κατηγορία της οδού. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

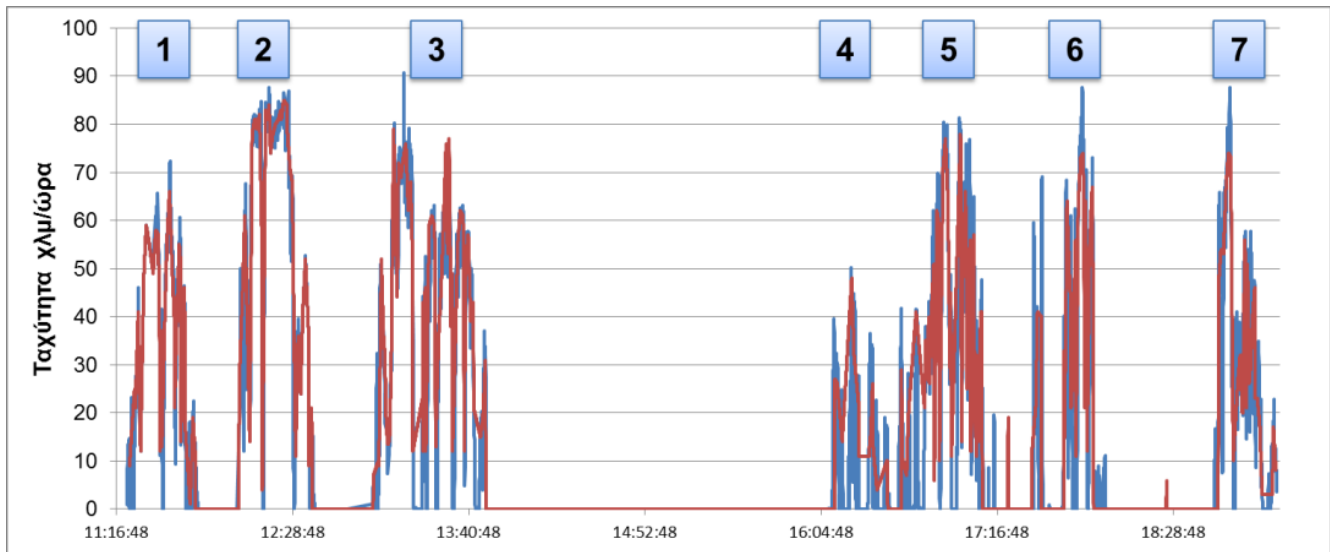
(α) τοπικές οδοί και συλλεκτήριες οδοί: Στην κατηγορία αυτοί ανήκουν οι τοπικές οδοί και οι συλλεκτήριες που διέρχονται από τις βιομηχανικές και αστικές περιοχές του Ασπρόπυργου, του Μενιδίου, του Γέρακα κλπ.

(β) λεωφόροι: Στην κατηγορία περιλαμβάνονται η λεωφόρος Αθηνών, η λεωφόρος Σχιστού, η λεωφόρος Νάτο κ.α.

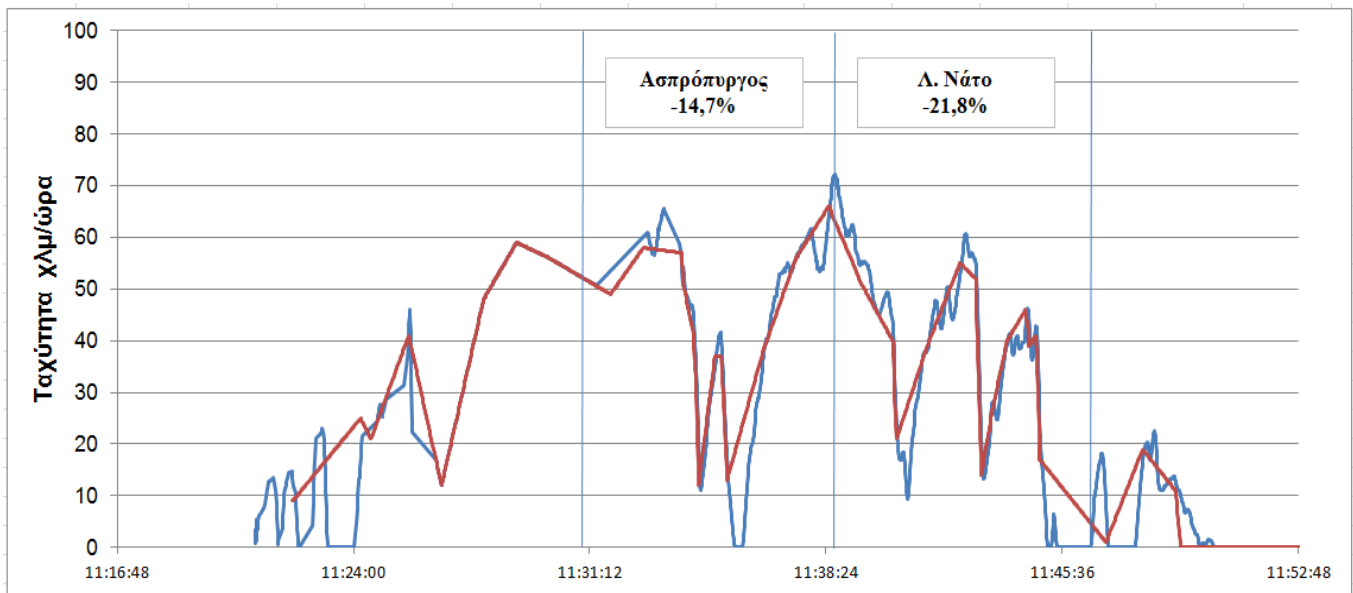
(γ) αστικοί αυτοκινητόδρομοι: Στη κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται η Αττική οδός.

Για κάθε επιμέρους τμήμα προσδιορίζεται η περιοχή ή η οδός που κινείται το φορτηγό (π.χ. Ασπρόπυργος, Λ. Αθηνών κλπ) και δίνεται η ποσοστιαία απόκλιση μεταξύ της κατανάλωσης από τα δύο διαφορετικά προφίλ ταχύτητας.

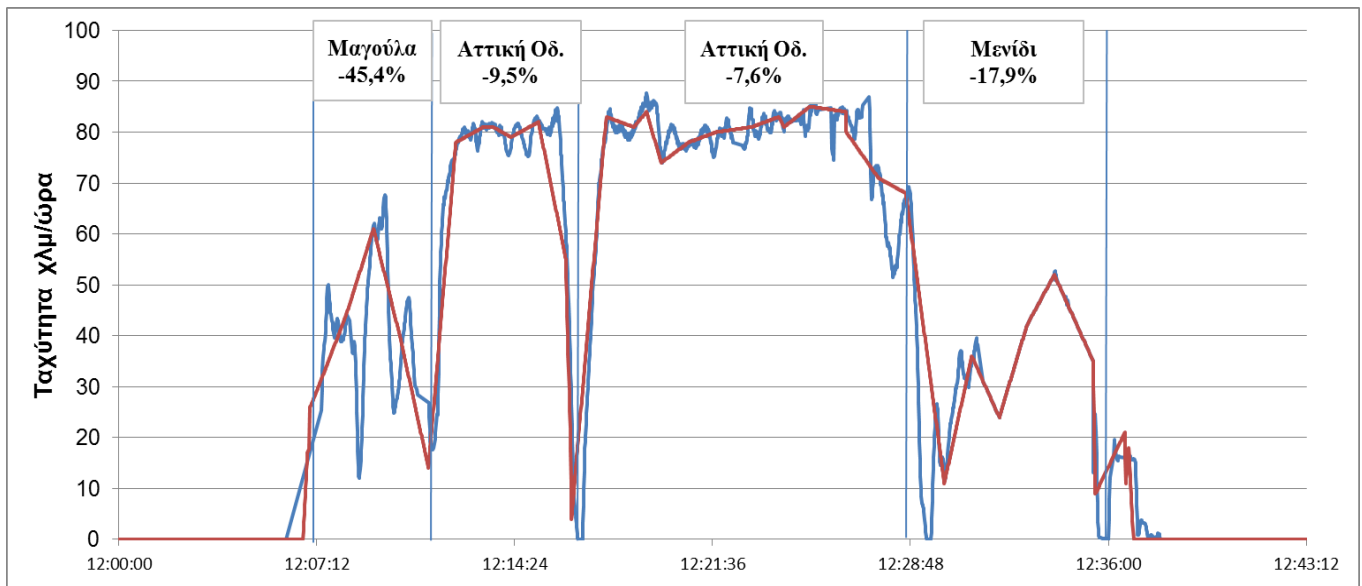
Τα αντίστοιχα διαγράμματα ταχύτητας χρόνου για τις υπόλοιπες δύο μέρες των μετρήσεων περιλαμβάνονται στο Παράρτημα. Οι επιμέρους διαδρομές τους παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στη στήλη “Διαδρομές” στον Πίνακα 11.



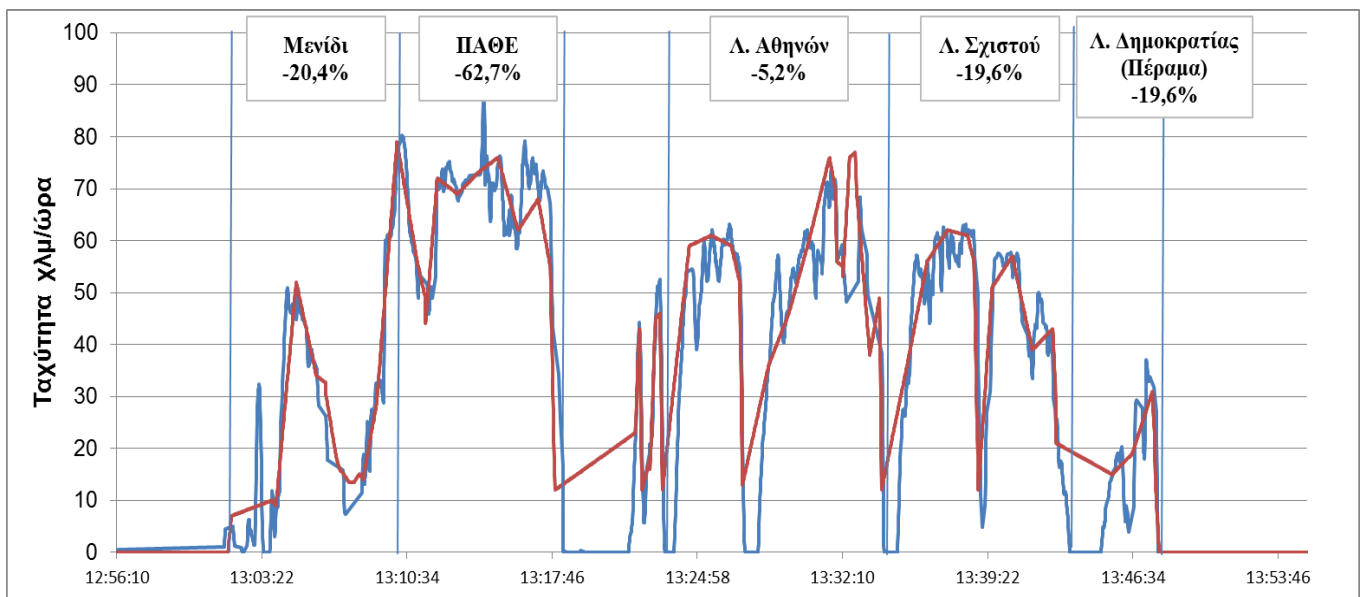
Σχήμα 38: Διάγραμμα ταχύτητας χρόνου για μετρήσεις με συσκευή GPS επί του οχήματος (μπλε γραμμή) και για στοιχεία από το σύστημα διαχείρισης στόλου οχημάτων (κόκκινη γραμμή). Μετρήσεις της 4ης Αυγούστου 2015



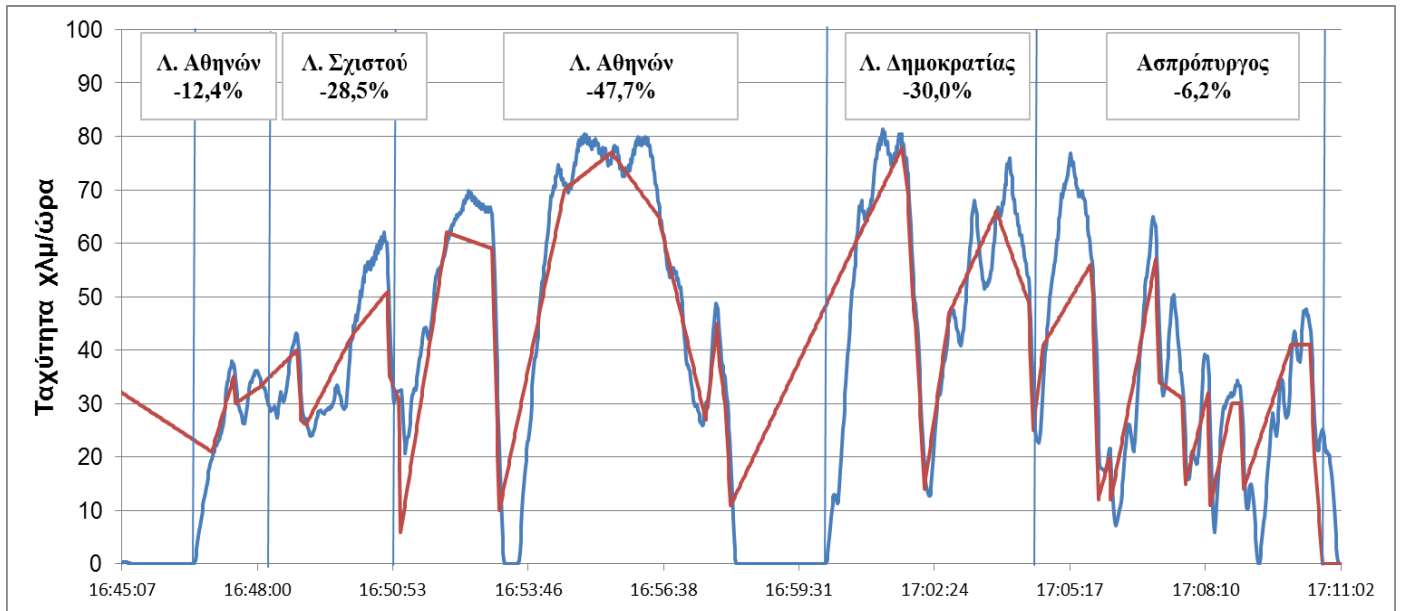
Σχήμα 39: Ανάλυση του τμήματος 1 του Σχήματος 38



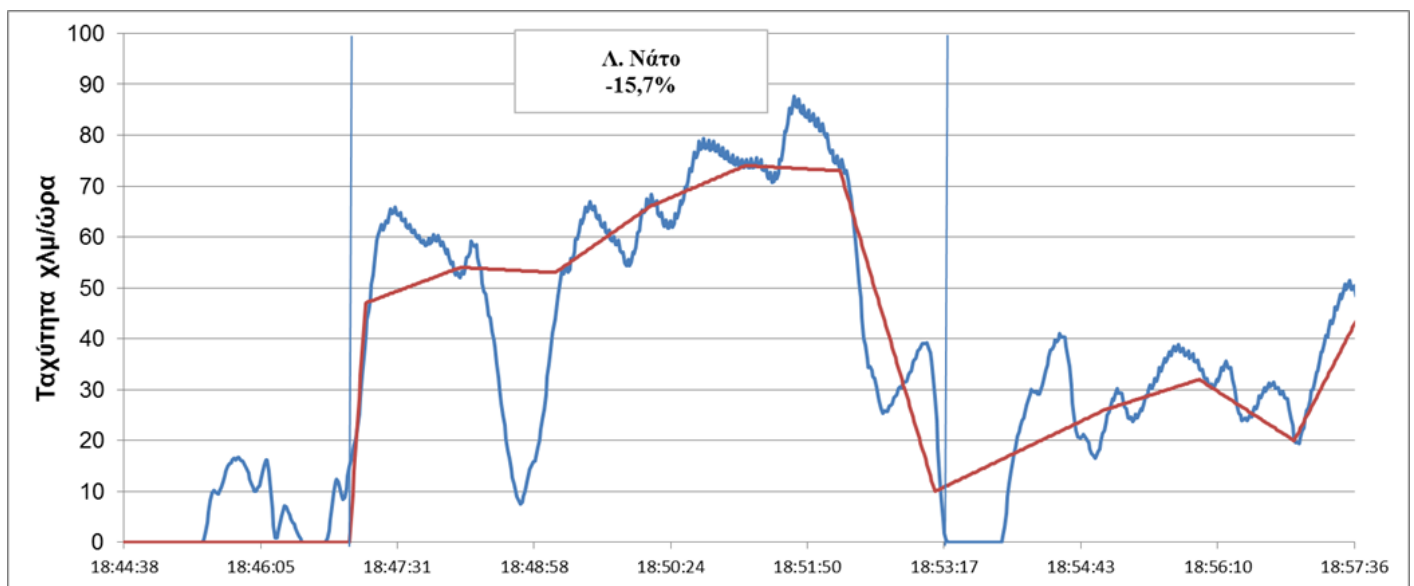
Σχήμα 40: Ανάλυση του τμήματος 2 του Σχήματος 38



Σχήμα 41: Ανάλυση του τμήματος 3 του Σχήματος 38



Σχήμα 42: Ανάλυση του τμήματος 5 του Σχήματος 38



Σχήμα 43: Ανάλυση του τμήματος 7 του Σχήματος 38

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τις διαφορές στην εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου όπως αυτές προέκυψαν ύστερα από την εισαγωγή των διαφορετικών προφίλ ταχυτήτων. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε τμήματος οι διαδρομές διακρίθηκαν σε τρεις κατηγορίες (α) τοπικές οδοί και συλλεκτήριες οδοί (β) λεωφόροι και (γ) αστικοί αυτοκινητόδρομοι.

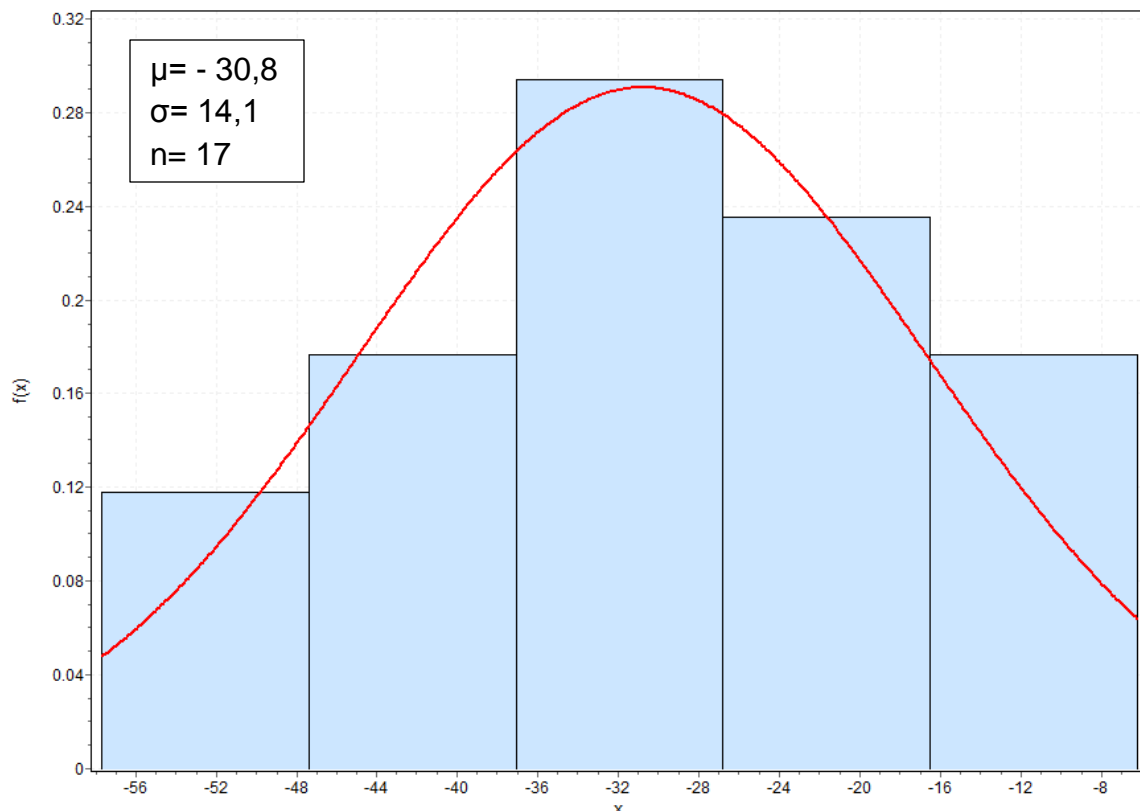
Πίνακας 11: Διαφορά κατανάλωσης μεταξύ πραγματικού και εκτιμώμενου μέσω των στοιχείων Σ.Δ.Σ. προφίλ ταχύτητας

		Διαδρομή	Διαφορά κατανάλωσης (%)	Χαρακτηρισμός οδικού τμήματος
1	4/8/2015	Ασπρόπυργος	-14.7	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
2		Λ. Νάτο	-21.8	Λεωφόρος
3		Μαγούλα	-45.4	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
4		Αττική Οδός	-9.5	Αστικός αυτοκινητόδρομος
5		Αττική Οδός	-7.6	Αστικός αυτοκινητόδρομος
6		Μενίδι	-17.9	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
7		Μενίδι	-20.4	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
8		ΠΑΘΕ	-62.7	Λεωφόρος
9		Λ. Αθηνών	-5.2	Λεωφόρος
10		Λ. Σχιστού	-19.6	Λεωφόρος
11		Λ. Δημοκρατίας (Πέραμα)	-0.9	Λεωφόρος
12		Λ. Αθηνών	-12.4	Λεωφόρος
13		Λ. Σχιστού	-28.5	Λεωφόρος
14		Λ. Αθηνών	-47.7	Λεωφόρος
15		Λ. Δημοκρατίας (Ασπρόπυρ)	-30.0	Λεωφόρος
16		Ασπρόπυργος	-6.2	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
17		Λ. Νάτο	-15.7	Λεωφόρος
18	5/8/2015	Ασπρόπυργος	-36.4	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
19		Λ. Δημοκρατίας (Ασπρ.)	-32.8	Λεωφόρος
20		Λ. Σχιστού	-17.0	Λεωφόρος
21		Λ. Σχιστού	-42.7	Λεωφόρος
22		Λ. Αθηνών	-43.8	Λεωφόρος
23		Λ. Σχιστού	-16.0	Λεωφόρος
24		Λ. Δημοκρατίας (Πέραμα)	-29.0	Λεωφόρος
25		Πειραιάς	-43.9	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
26		Λ. Ποσειδώνος	-43.0	Λεωφόρος
27		Λ. Αλίμου	-3.8	Λεωφόρος
28		Άλιμος	-45.1	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
29		Λ. Ποσειδώνος	-68.6	Λεωφόρος
30		Πειραιάς	-57.7	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
31		Λ. Δημοκρατίας (Πέραμα)	-33.4	Λεωφόρος
32		Λ. Σχιστού	-28.3	Λεωφόρος
33		Λ. Αθηνών	-46.5	Λεωφόρος
34		Ασπρόπυργος	-36.5	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
35	6/8/2015	Ασπρόπυργος	-24.8	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
36		Ασπρόπυργος	-30.6	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
37		Αττική Οδός	-18.2	Αστικός αυτοκινητόδρομος
38		Γέρακας	-15.8	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
39		Γέρακας	-47.8	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
40		Ασπρόπυργος	-32.2	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
41		Ασπρόπυργος	-19.7	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί
42		Ασπρόπυργος	-28.7	Τοπικές - Συλλεκτήριες οδοί

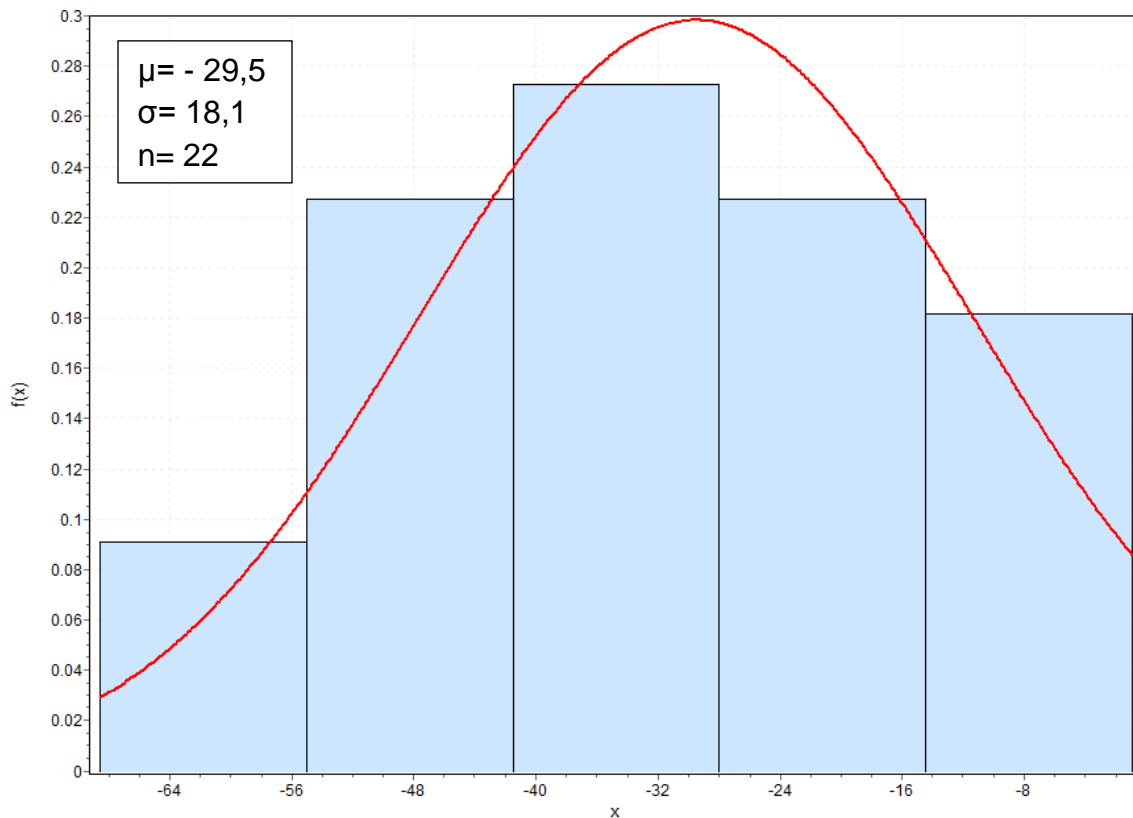
Παρατηρήσεις:

- (α) ο υπολογισμός της κατανάλωσης και στις 2 περιπτώσεις έγινε με το μοντέλο κατανάλωσης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας
- (β) ως πραγματικό προφίλ ταχύτητας θεωρείται αυτό που καταγράφηκε με συσκευή GPS επί του οχήματος (συχνότητα καταγραφής 1 δευτερόλεπτο)
- (γ) ως "εκτιμώμενο μέσω του Σ.Δ.Σ. προφίλ ταχύτητας" ορίζεται αυτό που προκύπτει από την σύνδεση διαδοχικών στιγμάτων τα οποία απέχουν περίπου 1 λεπτό

Τα Σχήματα 44 και 45 παρουσιάζουν την κατανομή των διαφορών στην κατανάλωση καυσίμου για κάθε κατηγορία οδού όπως αυτές έχουν οριστεί ανωτέρω. Παρατηρείται ότι τόσο η μέση τιμή όσο και η τυπική απόκλιση στη περίπτωση των τοπικών και συλλεκτηρίων οδών καθώς και στις λεωφόρους δεν διαφέρουν σημαντικά.



Σχήμα 44: Κατανομή των διαφορών μεταξύ της θεωρούμενης ως πραγματική κατανάλωση και της κατανάλωσης που προκύπτει μέσω Σ.Δ.Σ. για διαδρομές σε τοπικές και συλλεκτήριες οδούς



Σχήμα 45: Κατανομή των διαφορών μεταξύ της θεωρούμενης ως πραγματική κατανάλωση και της κατανάλωσης που προκύπτει μέσω Σ.Δ.Σ. για διαδρομές σε λεωφόρους

Προκειμένου να ελεγχθεί αν οι κατανομές των διαφορών κατανάλωσης στις αστικές οδούς και τις λεωφόρους ακολουθούν την κανονική κατανομή εφαρμόστηκε το τεστ Kolmogorov – Smirnov. Και στις δύο περιπτώσεις ο έλεγχος έδειξε ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος των διαφορών των μέσων τιμών των δύο δειγμάτων. Εξετάστηκε αν η διαφορά αυτή της κατανάλωσης είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05. Η μέση τιμή του πρώτου δείγματος (αστικές οδοί) είναι $\mu_1 = 0,47$ λίτρα με τυπική απόκλιση $\sigma_1 = 0,52$ λίτρα ενώ αντίστοιχα για το δεύτερο δείγμα (λεωφόροι) ισχύει $\mu_2 = 0,47$ λίτρα και $\sigma_2 = 0,36$ λίτρα. Ως ποσοστό επί τοις εκατό το πρώτο δείγμα έχει τιμή -30,8 και τυπική απόκλιση 14,1 και το δεύτερο μέση τιμή -29,5 και τυπική απόκλιση 18,1. Ο στατιστικός έλεγχος δείχνει ότι τόσο οι μέσες τιμές όσο και οι τυπικές αποκλίσεις δεν διαφέρουν σημαντικά και επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα δύο δείγματα προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό.

Στη συνέχεια τα δείγματα από τις αστικές οδούς και τις λεωφόρους συνενώθηκαν σε ένα που είχε μέση τιμή 30,1% και τυπική απόκλιση 16,3%. Και στο δείγμα αυτό εφαρμόστηκε το τεστ Kolmogorov – Smirnov το οποίο έδειξε ότι ακολουθεί κανονική κατανομή. Η διαφορά αυτή της τάξεως του 30% σημαίνει ότι η κατανάλωση που προκύπτει από το προφίλ ταχύτητας του Σ.Δ.Σ θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με ένα διορθωτικό συντελεστή 1,4 ώστε να προσεγγίσει καλύτερα τη πραγματική κατανάλωση.

Στη περίπτωση των αστικών αυτοκινητόδρομων το δείγμα αυτό είναι μικρό (τρεις περιπτώσεις με διαφορές, -7,6%, -9,5% και -18,2%). Η μικρότερη απόκλιση από τη θεωρούμενη ως πραγματική κατανάλωση κρίνεται εύλογη καθώς οι αυξομειώσεις της ταχύτητας στον αστικό αυτοκινητόδρομο δεν είναι έντονες με αποτέλεσμα τα δύο προφίλ ταχύτητας να μην διαφέρουν σημαντικά. Για τη περίπτωση αυτή εκτιμήθηκε ένας διορθωτικός συντελεστής 1,1.

Για τον έλεγχο της προσέγγισης που βασίζεται στους διορθωτικούς συντελεστές (1,4 για κίνηση σε τοπικές/συλλεκτήριες οδούς και λεωφόρους, 1,1 για κίνηση σε αστικούς αυτοκινητόδρομους) χρησιμοποιήθηκε το δείγμα μετρήσεων της περιόδου 7 έως 13 Αυγούστου 2015 σε συνδυασμό με την παραδοχή ενός μέσου ωφέλιμου βάρους εμπορευμάτων. Σύμφωνα με έκθεση του ερευνητικού προγράμματος VEL-Wagon το 43% των εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται στην Ευρώπη είναι ελαφριά, με μέσο μεικτό βάρος τους 6 τόνους/TEU^{<3>} ενώ ένα ακόμα 30% με μέσο μεικτό βάρος τους 14 τόνους/TEU [43]. Επίσης, σύμφωνα με δείγμα στοιχείων ελληνικής μεταφορικής εταιρίας [44] το μέσο ωφέλιμο φορτίο των εμπορευματοκιβωτίων που διακινείται στον άξονα Αθηνών – Θεσσαλονίκης ανέρχεται στους 12,6 τόνους. Η τιμή των 12,6 τόνων (ωφέλιμο φορτίο) προσαυξημένη κατά 3,8 τόνους για να ληφθεί υπόψη το απόβαρο του εμπορευματοκιβωτίου (σύνολο 16,4 τόνοι) χρησιμοποιήθηκε ως το μέσο φορτίο στους υπολογισμούς κατανάλωσης καυσίμου. Σε ό,τι αφορά τις καταναλώσεις λόγω βοηθητικών συσκευών, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τις ώρες όπου ο κινητήρας του φορτηγού λειτουργούσε σε ρελαντί, έγινε η χρήση μίας μέσης

^{<3>} TEU (Twenty foot Equivalent Unit) είναι η μονάδα μέτρησης χωρητικότητας στο σύστημα των εμπορευματοκιβωτίων. Ισοδυναμεί με ένα εμπορευματοκιβώτιο των 20 ποδών. Συνεπώς ένα εμπορευματοκιβώτιο των 40 ποδών ισούται με 2 TEUs

τιμής των 5 λίτρων την ημέρα (όπως προέκυψε από το δείγμα των μετρήσεων πεδίου). Η τιμή αυτή έχει αφαιρεθεί από τη στήλη “Μετρηθείσα κατανάλωση του Πίνακα 12. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού κατανάλωσης με και χωρίς τους διορθωτικούς συντελεστές σε σύγκριση με τις πραγματικές καταναλώσεις του φορτηγού παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Διαφορά πραγματικής με υπολογισθείσα κατανάλωση με και χωρίς του διορθωτικούς συντελεστές

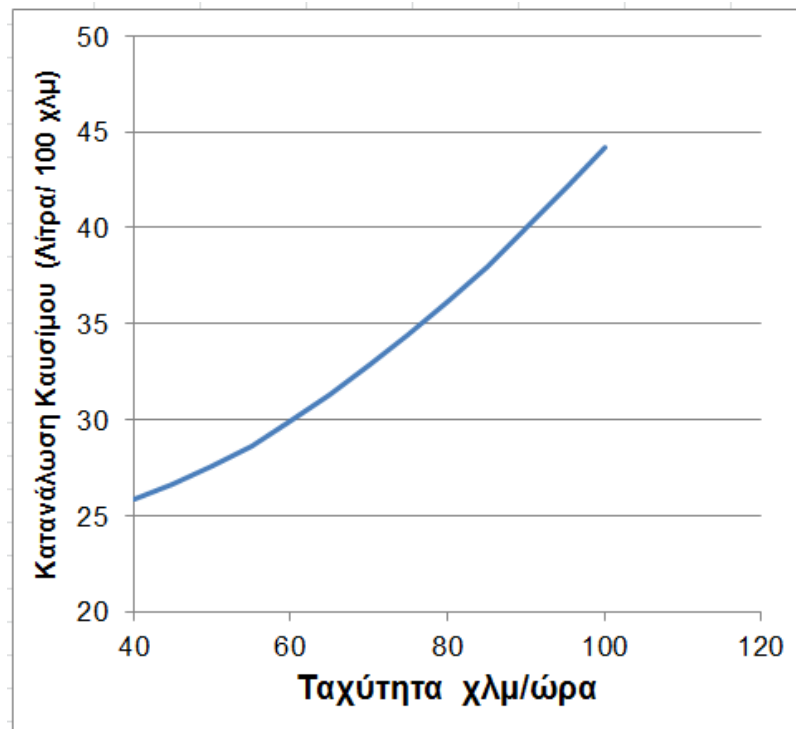
	Μετρηθείσα Κατανάλωση (Λίτρα)	Εκτιμώμενη κατανάλωση χωρίς διορθωτικούς συντελεστές (Λίτρα)	Διαφορά από Πραγματική Κατανάλωση (%)	Εκτιμώμενη κατανάλωση με διορθωτικούς συντελεστές (Λίτρα)	Διαφορά από Πραγματική Κατανάλωση (%)
7-12 Αυγούστου	257	175	-32	245	-5
13 Αυγούστου	125	105	-16	133	6

6.2 Ανάλυση παραμέτρων κατανάλωσης καυσίμου

Η κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων. Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται η ανάλυση των παραμέτρων που αναφέρονται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις τους στην συνολική κατανάλωση καυσίμου αυτού.

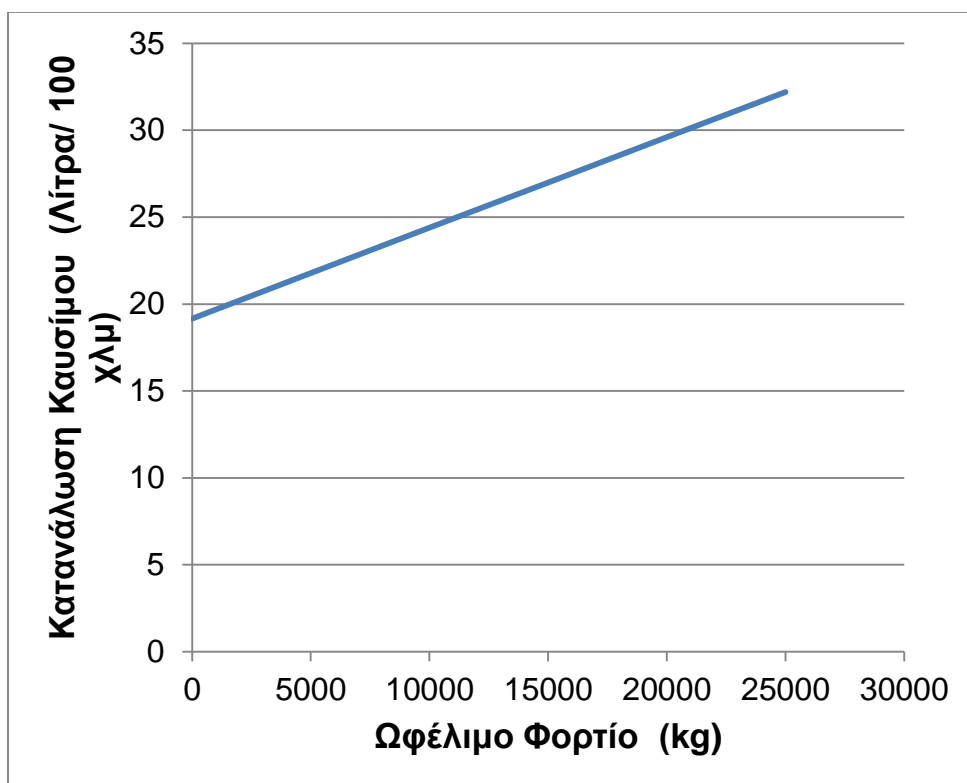
6.2.1 Ταχύτητα και μεταφερόμενο φορτίο

Η ταχύτητα και το μεταφερόμενο φορτίο αποτελούν δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες κατανάλωσης ενός φορτηγού οχήματος. Η επίδραση της ταχύτητας στην κατανάλωση καυσίμου οφείλεται (α) στις απαιτήσεις καυσίμου λόγω μεταβολής της κινητικής ενέργειας του οχήματος και (β) στο ότι η αύξηση της ταχύτητας επιδρά σημαντικά στην αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης οδηγώντας σε μεγαλύτερες απαιτήσεις ενέργειας για την υπερνίκηση της. Στο Σχήμα 46 παρουσιάζεται η επίδραση της ταχύτητας στην κατανάλωση καυσίμου ενός 40-τονου φορτηγού οχήματος που κινείται με σταθερή ταχύτητα.



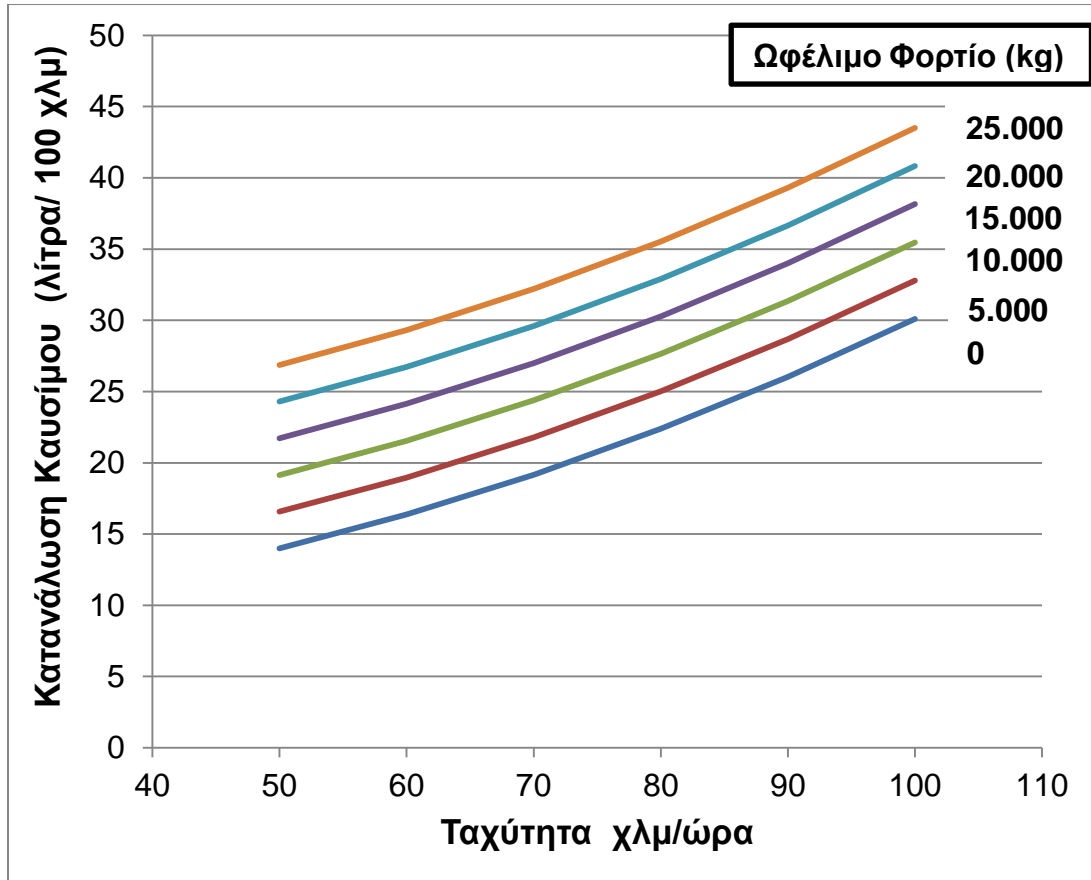
Σχήμα 46: Κατανάλωση καυσίμου 40-τονου φορτηγού οχήματος συναρτήσεως της ταχύτητας

Το μεικτό βάρος του φορτηγού (μεταφερόμενο φορτίο και απόβαρο ελκυστήρα και συρόμενης βάσης) αποτελεί άλλη μία παράμετρο με σημαντικές επιπτώσεις στην κατανάλωση καυσίμου. Ένα φορτηγό όχημα με μεικτό βάρος ίσο με το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο των 42 τόνων (44 στη περίπτωση που μεταφέρεται εμπορευματοκιβώτιο) μπορεί να μεταφέρει έως και 28 περίπου τόνους ωφέλιμου φορτίου. Στο Σχήμα 47 παρουσιάζεται η επίδραση του ωφέλιμου φορτίου στην κατανάλωση του οχήματος:



Σχήμα 47: Κατανάλωση καυσίμου βαρέως φορτηγού οχήματος συναρτήσει του ωφέλιμου φορτίου όταν κινείται με σταθερή ταχύτητα 70 χλμ/ώρα

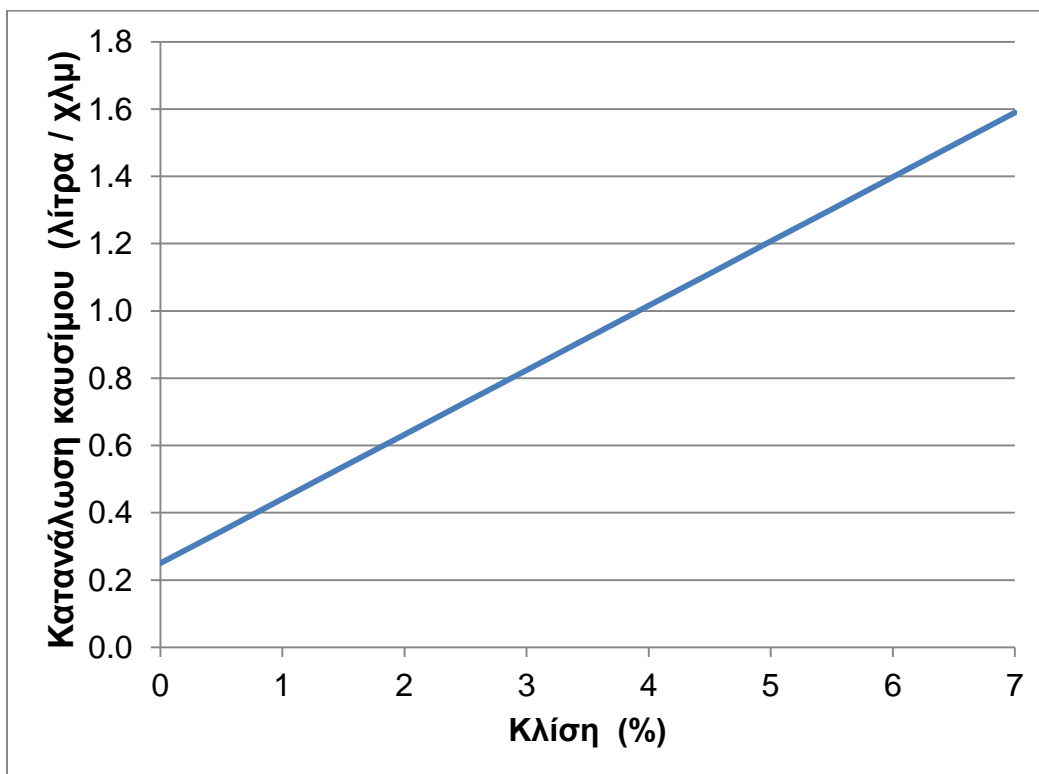
Το Σχήμα 48 παρουσιάζει την σχέση ταχύτητας κατανάλωσης καυσίμου για την οικογένεια καμπυλών ωφέλιμου φορτίου από 0 έως 25 τόνους.



Σχήμα 48: Κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος συναρτήσει της ταχύτητας και του ωφέλιμου φορτίου

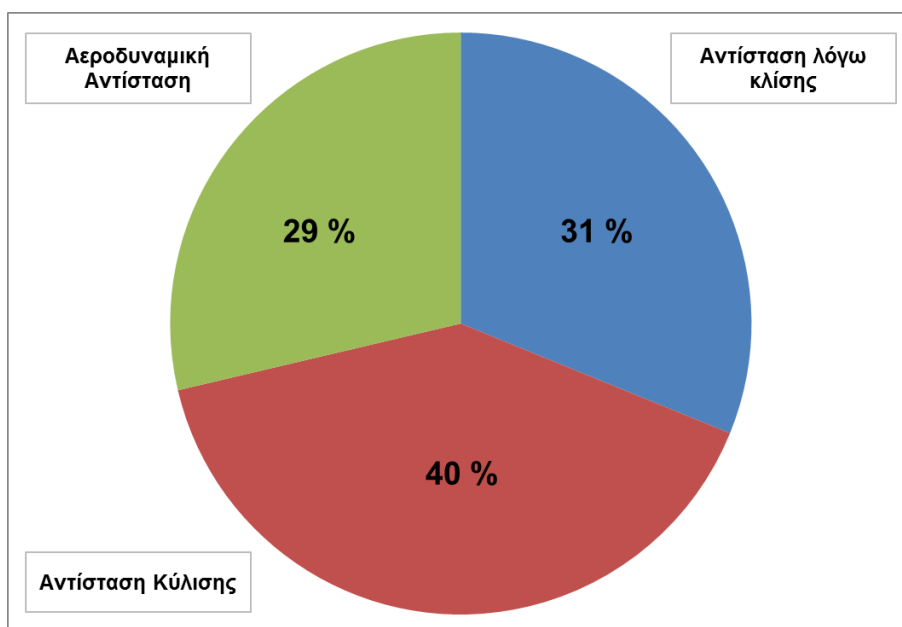
6.2.2 Κλίση οδού

Η κίνηση ενός οχήματος σε ανωφέρεια αυξάνει την δυναμική του ενέργεια και για τον λόγο αυτό η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται. Μεγάλου μήκους διαδρομές σε ανωφέρεια, οδηγούν σε αυξημένες καταναλώσεις, ενώ αντίστοιχα διαδρομές σε κατωφέρεια απαιτούν μικρότερες ή και μηδενικές καταναλώσεις καυσίμου. Οι κλίσεις μιας οδού καθορίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές χάραξης που ίσχυαν την περίοδο μελέτης. Σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές (ΟΜΟΕ-Χ [28]) για ταχύτητα μελέτης 80 χλμ η μέγιστη κλίση σε αστική περιοχή είναι 5% και σε υπεραστική ορεινή 7%. Στο Σχήμα 49 παρουσιάζεται η κατανάλωση καυσίμου για ένα όχημα με συνολική μάζα 26.400 kg που κινείται με ταχύτητα 70 χλμ/ώρα σε οδό με συνεχή κλίση



Σχήμα 49: Κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος συναρτήσεως της κλίσης της οδού Σταθερή ταχύτητα 70 χλμ/ώρα, συνολικό βάρος φορτηγού 26400 kg

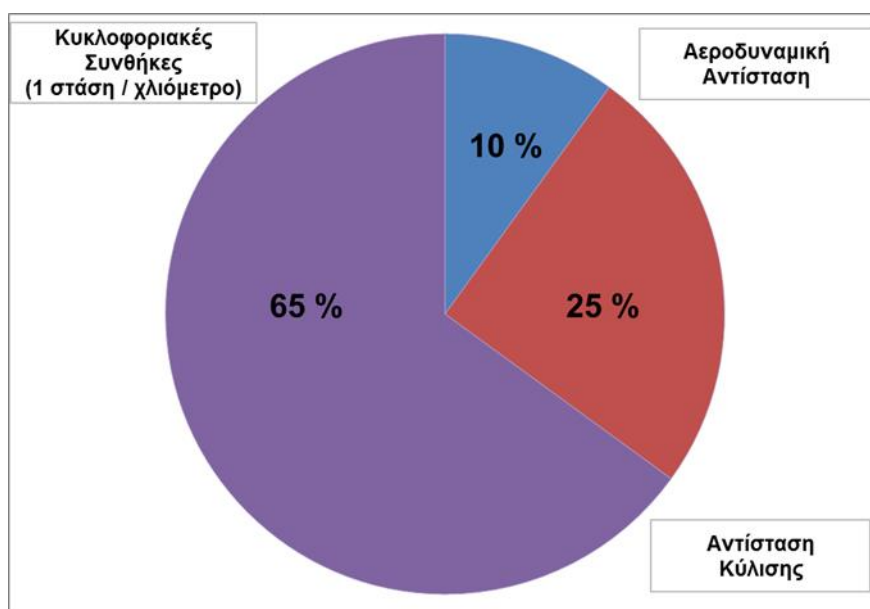
Στο Σχήμα 50 παρουσιάζεται η συμμετοχή των αντιστάσεων λόγω κύλισης, αεροδυναμικής και κλίσης για ένα φορτηγό όχημα που κινείται με σταθερή ταχύτητα 70 χλμ/ώρα σε συνεχή ανωφέρεια με κλίση 0,5%. Υπενθυμίζεται ότι στη περίπτωση που ακολουθεί κατωφέρεια με ίδιο μήκος και κλίση -0,5% η κατανάλωση λόγω της ανωφέρειας εξισορροπείται.



Σχήμα 50: Συμμετοχή αεροδυναμικής αντίστασης, αντίστασης κύλισης και αντίστασης λόγω κλίσης στη κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος. Υποθέσεις: συνολικό βάρος φορτηγού 26400 kg, σταθερή ταχύτητα 70 χλμ/ώρα, κλίση οδού 0,5%

6.2.3 Κυκλοφοριακές συνθήκες

Οι κυκλοφοριακές συνθήκες αποτελούν ένα ακόμα βασικό παράγοντα στη κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος. Τόσο οι συνεχείς επαναλήψεις του κύκλου “επιτάχυνση – σταθερή ταχύτητα - επιβράδυνση – στάση” όσο και οι αυξομειώσεις της ταχύτητας ενός οχήματος εν κινήσει οδηγούν σε σημαντικές καταναλώσεις καυσίμου. Στο υποκεφάλαιο 5.1 παρουσιάστηκε αναλυτικά (σύμφωνα και με τη μελέτη της Γερμανικής Ένωσης Αυτοκινητοβιομηχανιών) πως οι συχνές στάσεις μπορούν να τριπλασιάσουν την κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος. Στο Σχήμα 51, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενός σεναρίου κίνησης φορτηγού 40 τόνων το οποίο εκκινεί από στάση, επιταχύνει (σύμφωνα με το προφίλ επιτάχυνσης που καταγράφηκε στις μετρήσεις με συσκευή GPS επί του οχήματος) μέχρι την ταχύτητα των 70 χλμ/ώρα την οποία διατηρεί για περιορισμένο διάστημα και στη συνέχεια επιβραδύνει μέχρι μηδενισμού της ταχύτητας του. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται μία στάση ανά χιλιόμετρο που υποθέτουμε ότι επιβάλλεται από τις υπάρχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Η κατανάλωση καυσίμου στη περίπτωση αυτή αντιστοιχεί στο 65% της συνολικής κατανάλωσης



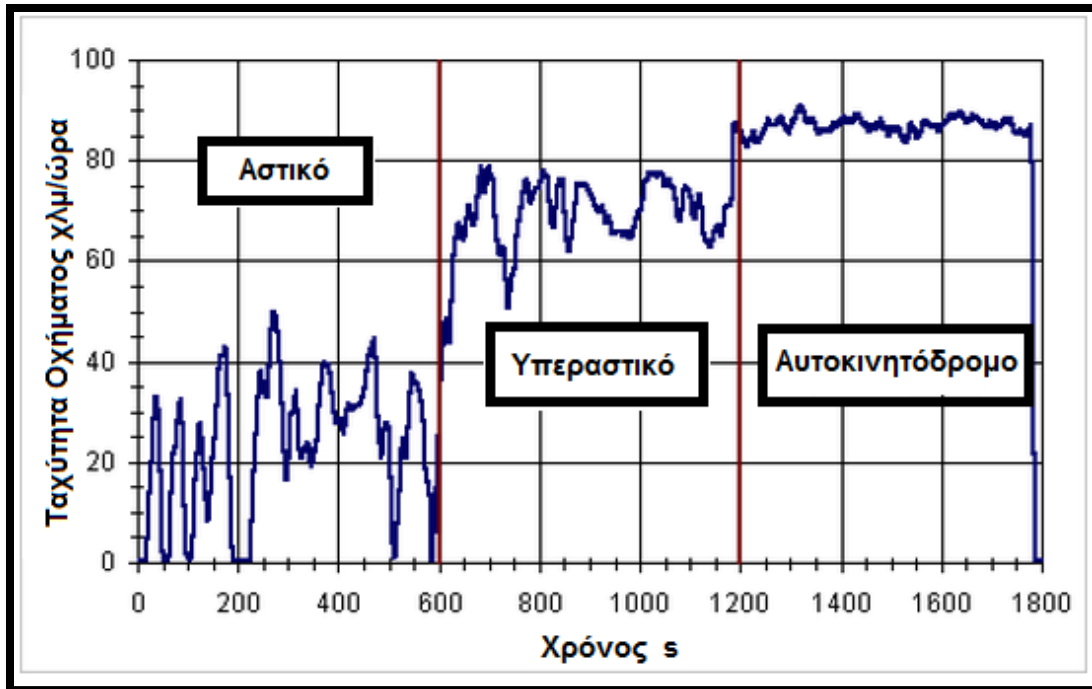
Σχήμα 51: Συμμετοχή κυκλοφοριακών συνθηκών (μία στάση ανά χιλιόμετρο), αεροδυναμικής αντίστασης και αντίστασης κύλισης στη κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος

Πέραν του ανωτέρω σεναρίου (μία στάση ανά χιλιόμετρο, επιτάχυνση έως την ταχύτητα των 70 χλμ/ώρα) η συμμετοχή των κυκλοφοριακών συνθηκών στη κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε μέσω της σύγκρισης (α) του “πραγματικού” προφίλ ταχυτήτων από μετρήσεις πεδίου με (β) ένα “ιδεατό” προφίλ ταχύτητας που αντιπροσωπεύει τη μεταβολή ταχύτητας σε οδό χωρίς κυκλοφορία, για τη διατύπωση του οποίου αξιοποιήθηκαν στοιχεία του Ευρωπαϊκού κύκλου οδήγησης.

Ο Ευρωπαϊκός κύκλος οδήγησης (European Transient Cycle) εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 2000, σε συνδυασμό με τον Ευρωπαϊκό Σταθερό Κύκλο (European Stationary Cycle), για την πιστοποίηση των εκπομπών των μηχανών diesel βαρέας χρήσης. Οι κύκλοι ETC και ESC αντικατέστησαν το παλαιότερο R-49 τεστ. Οι διαφορετικές συνθήκες οδήγησης εκπροσωπούνται από τρία ξεχωριστά τμήματα του κύκλου ETC, αυτά της αστικής και υπεραστικής οδήγησης καθώς και της κίνησης σε αυτοκινητόδρομο. Η διάρκεια όλου του κύκλου είναι 1800 δευτερόλεπτα, ενώ κάθε τμήμα του διαρκεί 600 δευτερόλεπτα.

Πιο αναλυτικά:

- Το πρώτο τμήμα αναπαριστά τις συνθήκες οδήγησης στην πόλη, με μία μέγιστη ταχύτητα των 50 χλμ/ώρα, συχνές στάσεις και περιόδους αναμονής σε κατάσταση ρελαντί.
- Το δεύτερο τμήμα αναπαριστά τις συνθήκες οδήγησης σε υπεραστικό δρόμο με ένα τμήμα απότομης επιτάχυνσης. Η μέση ταχύτητα στο τμήμα αυτό είναι τα 72 χλμ/ώρα.
- Το τρίτο, και τελευταίο, τμήμα αναπαριστά τις συνθήκες οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο με μία μέση ταχύτητα περίπου στα 88 χλμ/ώρα.



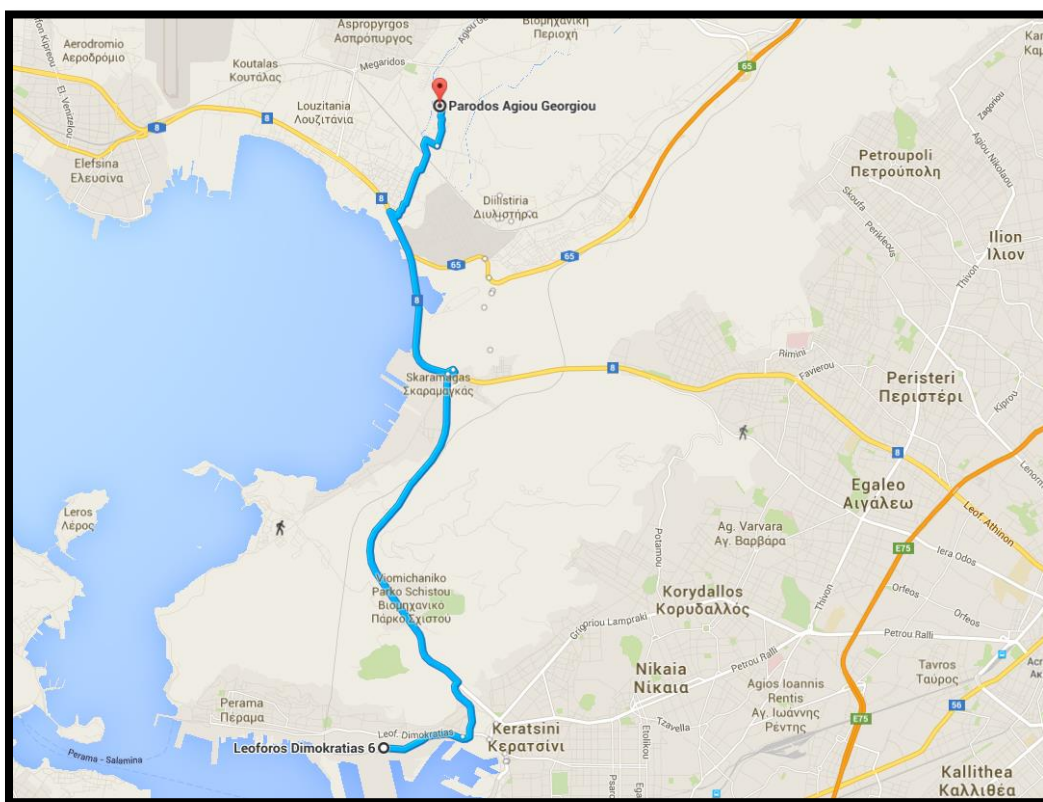
Σχήμα 52: Ο Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης για βαρέα οχήματα που κινούνται σε αστικές οδούς, υπεραστικές οδούς και αυτοκινητόδρομους [45]

Για την διαμόρφωση του “πραγματικού” προφίλ ταχύτητας αξιοποιήθηκαν οι μετρήσεις που έγιναν στις 4 Αυγούστου 2015 στην διαδρομή από τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά προς το σταθμό των φορτηγών οχημάτων στον Ασπρόπυργο για την οποία υπάρχει καταγραφή του ακριβούς προφίλ της ταχύτητας μέσω των μετρήσεων GPS επί του οχήματος. Η διαδρομή αυτή έχει μήκος 16 χιλιόμετρα και αναλύθηκε σε τέσσερα διαφορετικά τμήματα βάσει της κατηγορίας οδού στην οποία κινείται το όχημα:

- (α) διαδρομή από τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά (ΣΕΜΠΟ) έως τον κόμβο επί της Λεωφόρου Σχιστού – Σκαρμαγκά.
- (β) διαδρομή κατά μήκος της Λεωφόρου Σχιστού μέχρι τον ανισόπεδο κόμβο με την Λεωφόρο Αθηνών
- (γ) διαδρομή κατά μήκος της Λεωφόρου Αθηνών μέχρι και τη διασταύρωση με τη Λεωφόρο Δημοκρατίας (Ασπρόπυργου)
- (δ) διαδρομή στις τοπικές οδούς του Ασπρόπυργου έως και τον σταθμό των φορτηγών οχημάτων.

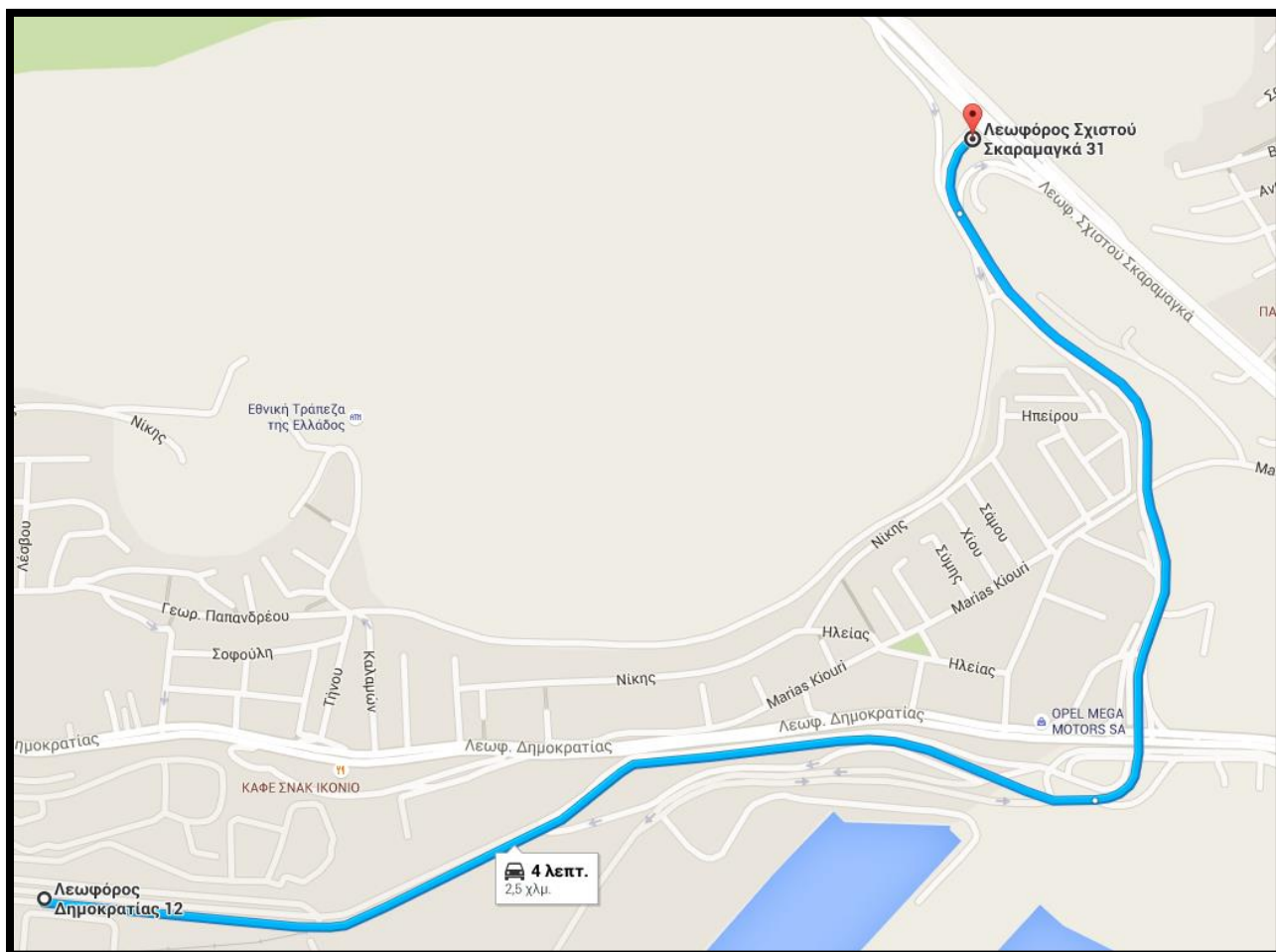
Το προφίλ κλίσεων των διαδρομών αυτών ορίστηκε με βάση τα πραγματικά υψόμετρα των Google Maps.

Το αντίστοιχο “ιδεατό” σενάριο ελεύθερης κυκλοφορίας για τα ανωτέρω οδικά τμήματα έχει τη μορφή (επιτάχυνση – κίνηση με την μέγιστη σταθερή ταχύτητα που επιτρέπει η οδός – επιβράδυνση – στάση πριν τη διασταύρωση με την πρώτη οδό της επόμενης διαδρομής). Ως τιμή της μέγιστης σταθερής ταχύτητας που επιτρέπει η οδός τέθηκαν (σύμφωνα με τον κύκλο οδήγησης ETC) τα 50 χλμ/ώρα για κυκλοφορία στις περιοχές του Πειραιά και του Ασπροπύργου (τμήματα (α) και (δ)) και 80χλμ/ώρα για κυκλοφορία στις Λεωφόρους Σχιστού και Αθηνών (τμήματα (β) και (γ)). Χρησιμοποιήθηκε το προφίλ διαδρομών με βάση τα πραγματικά υψόμετρα ως ανωτέρω.



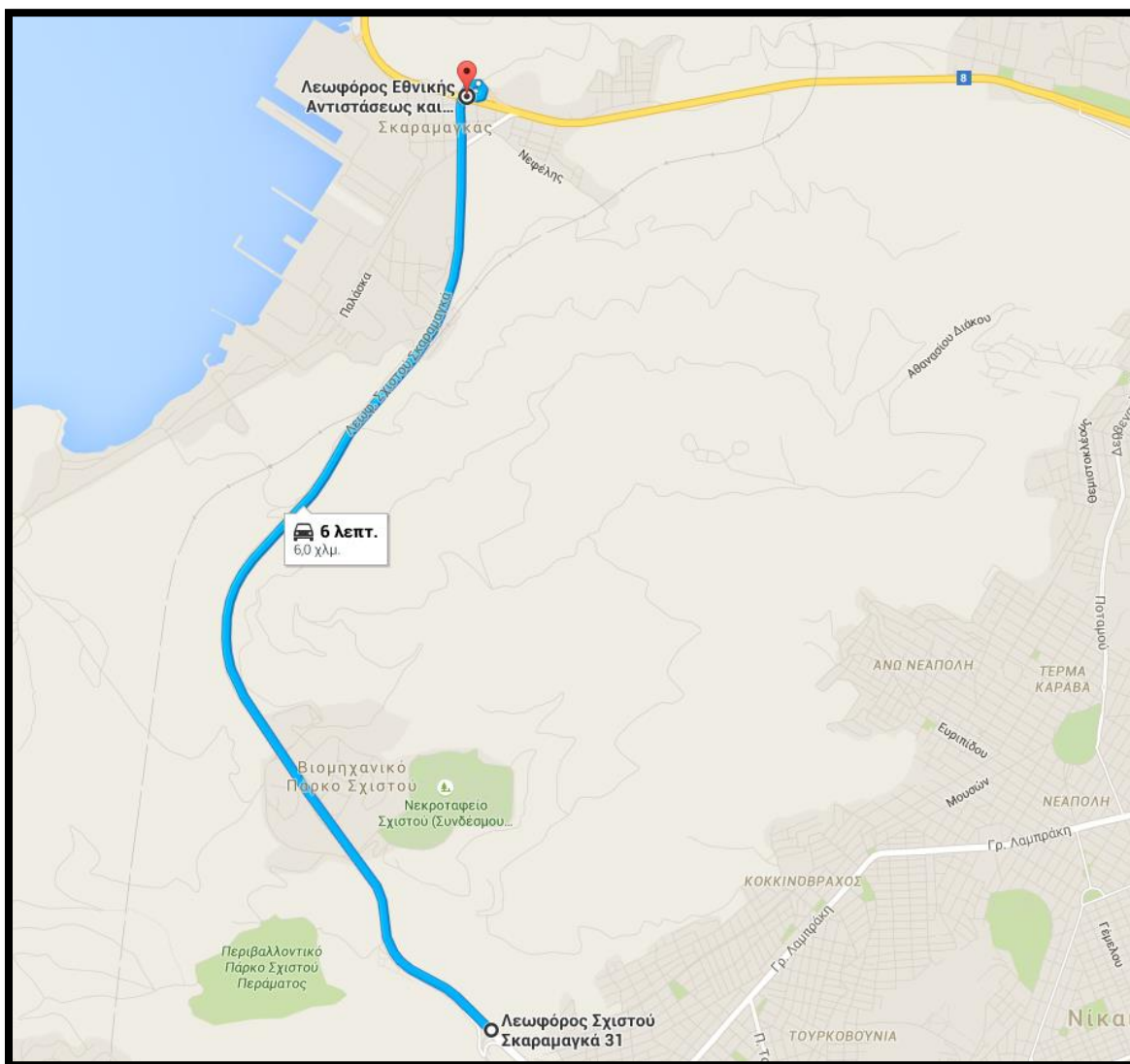
Σχήμα 53: Χάρτης διαδρομής από τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά έως τον Σταθμό των φορτηγών στον Ασπρόπυργο

Το πρώτο τμήμα της διαδρομής έχει ως αφετηρία το σημείο εξόδου από το Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά. Στη συνέχεια το φορτηγό κινείται επί της Λεωφόρου Δημοκρατίας μέχρι και τον ανισόπεδο κόμβο επί της Λεωφόρου Σχιστού Σκαραμαγκά. Στο τμήμα αυτό οι ταχύτητες που μπορούν να αναπτυχθούν είναι σχετικά μικρές. Το μήκος του τμήματος αυτού είναι 2,5 χιλιόμετρα.



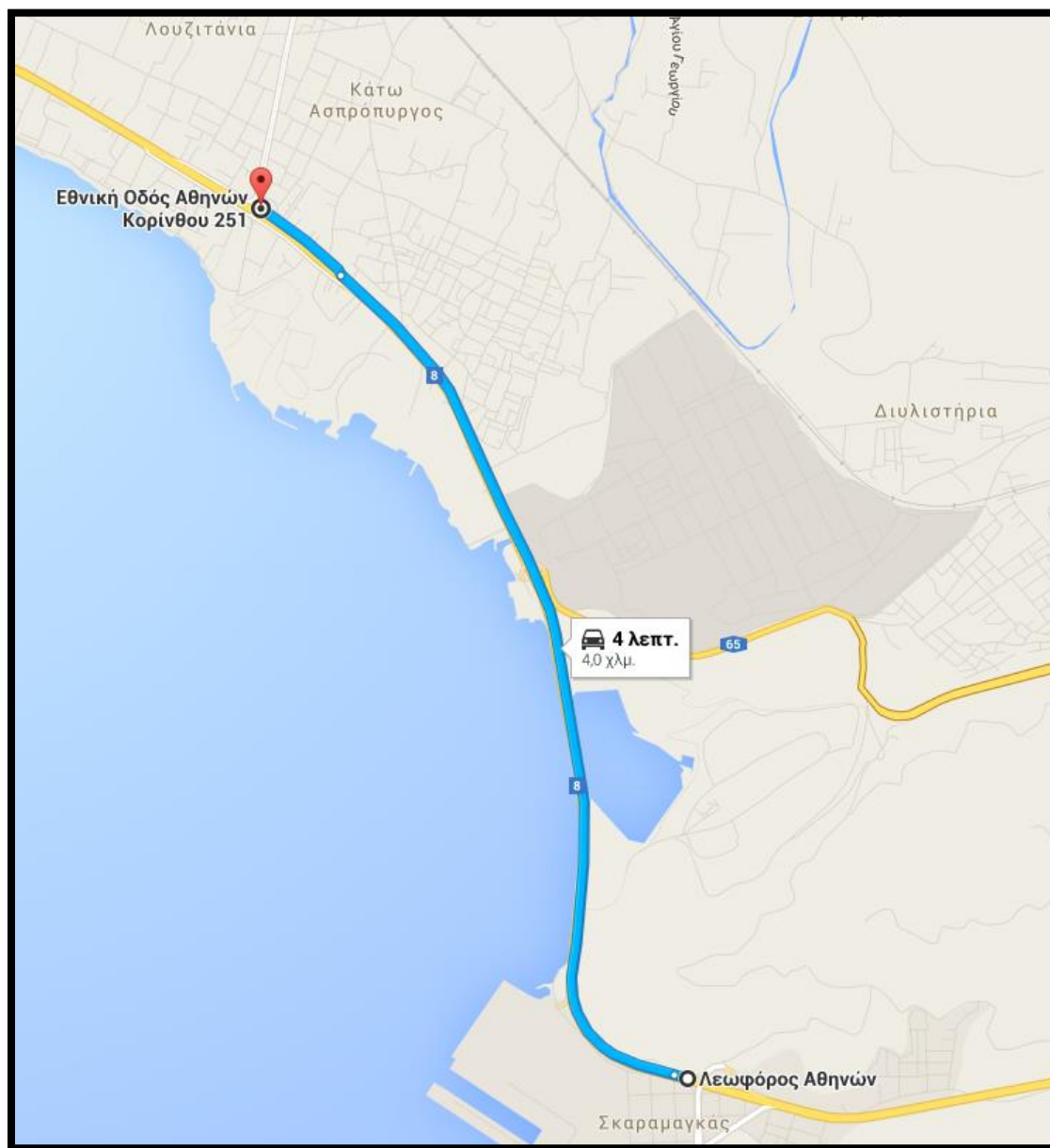
Σχήμα 54: Πρώτο σκέλος διαδρομής επί της Λεωφόρου Δημοκρατίας

Το δεύτερο τμήμα της διαδρομής (διαδρομή κατά μήκος της Λεωφόρου Σχιστού μέχρι τον ανισόπεδο κόμβο με την Λεωφόρο Αθηνών) έχει μήκος 6 χιλιόμετρα. Πρόκειται για λεωφόρο δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση που επιτρέπει την ανάπτυξη ταχυτήτων της τάξεως των 80 χλμ/ώρα. Ωστόσο, η ύπαρξη σηματοδοτημένων κόμβων, κατά μήκος της επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τις κυκλοφοριακές συνθήκες.



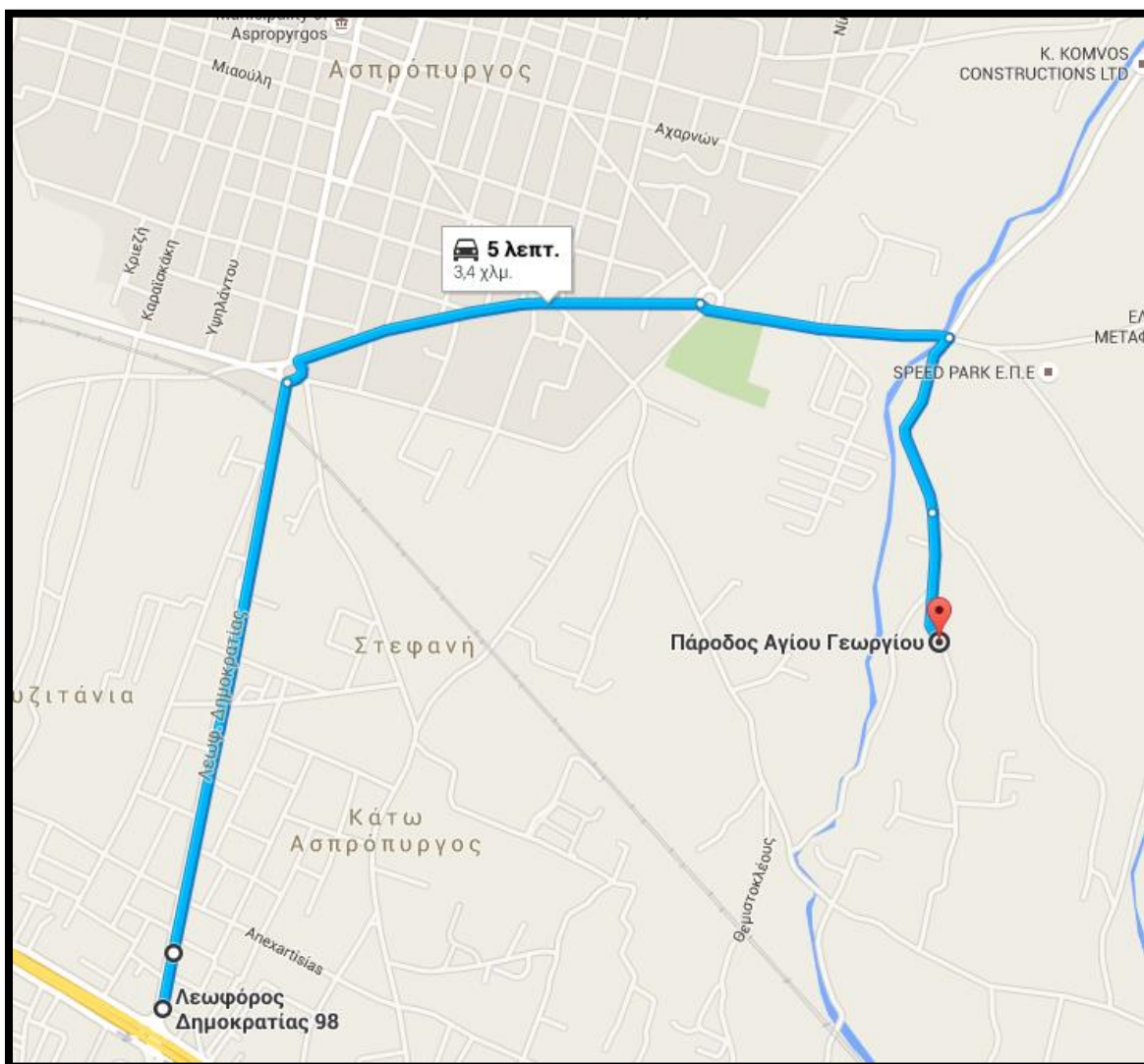
Σχήμα 55: Δεύτερο σκέλος διαδρομής: Λεωφόρος Σχιστού – Σκαραμαγκά

Το επόμενο σκέλος της διαδρομής περιλαμβάνει τμήμα 4 χιλιομέτρων επί της Λεωφόρου Αθηνών, με κατάληξη τον ανισόπεδο κόμβο στη Λεωφόρο Δημοκρατίας Ασπροπύργου. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες στο τμήμα αυτό είναι παρόμοιες με αυτές επί της Λεωφόρο Σχιστού, οπότε και σε αυτή τη περίπτωση θεωρήθηκε πως το φορτηγό όχημα κινείται με μία σταθερή ταχύτητα των 80 χλμ/ώρα.



Σχήμα 56: Τρίτο σκέλος διαδρομής: Λεωφόρος Αθηνών

Ως τελευταίο στάδιο της διαδρομής, επελέγη το σύνολο των οδικών αρτηριών που ακολουθεί έως και το τέλος της συνολικής διαδρομής. Πρόκειται για μία απόσταση των 3,4 χιλιομέτρων που περιλαμβάνει τις οδούς Λεωφόρο Δημοκρατίας, Μεγαρίδος και Αγ. Γεωργίου μέχρι τη κατάληξη στο σταθμό των φορτηγών οχημάτων. Σε όλο αυτό το τμήμα η ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε είναι τα 50 χλμ/ώρα χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αυξομείωση της ταχύτητας λόγω κυκλικών κόμβων ή στροφών.

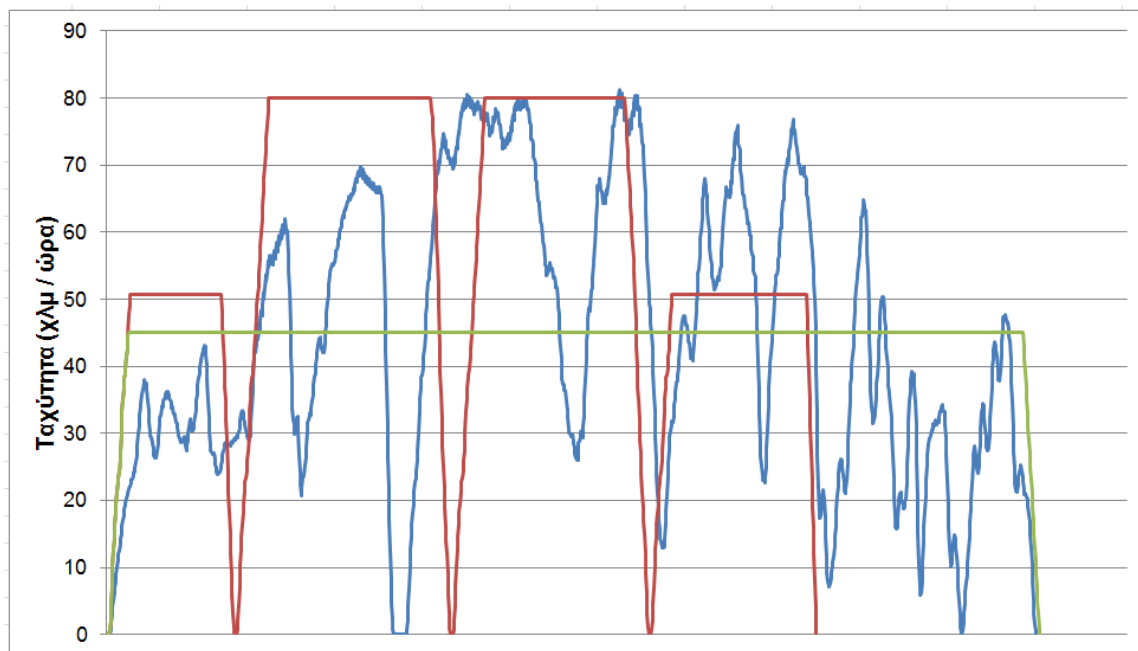


Σχήμα 57: Τέταρτο σκέλος διαδρομής: Αστικές οδοί Ασπροπύργου

Από την σύγκριση των ανωτέρω σεναρίων σε συνδυασμό και με πρόσθετους υπολογισμούς προέκυψε ότι:

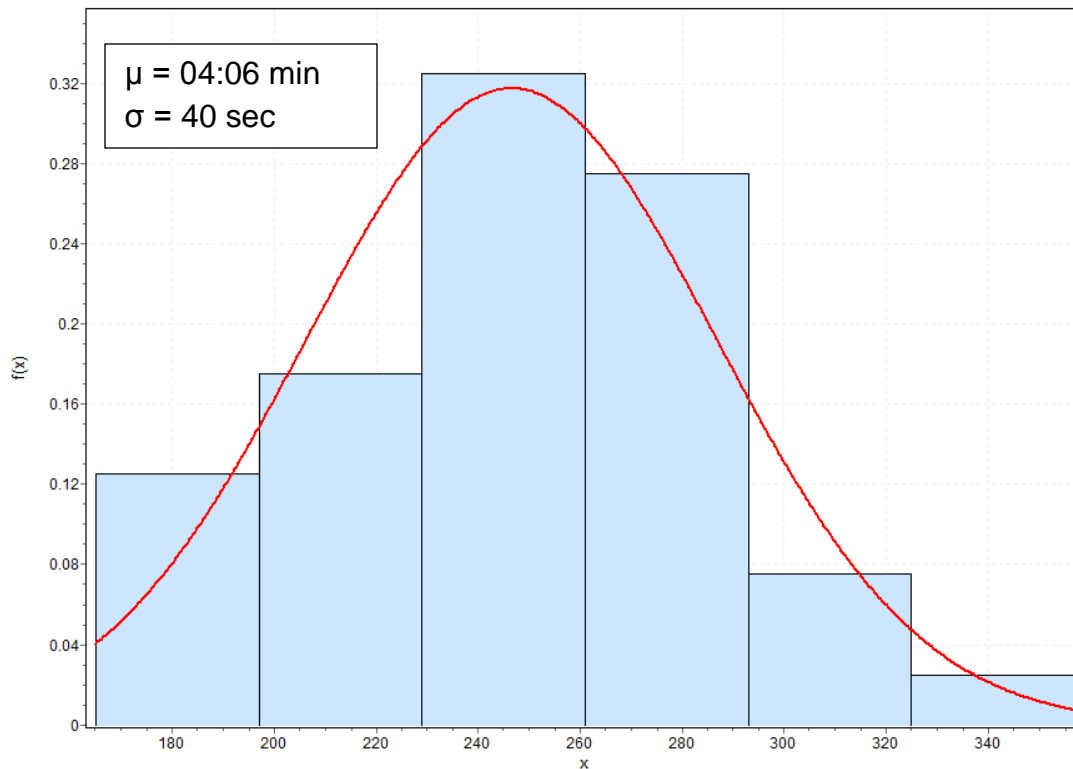
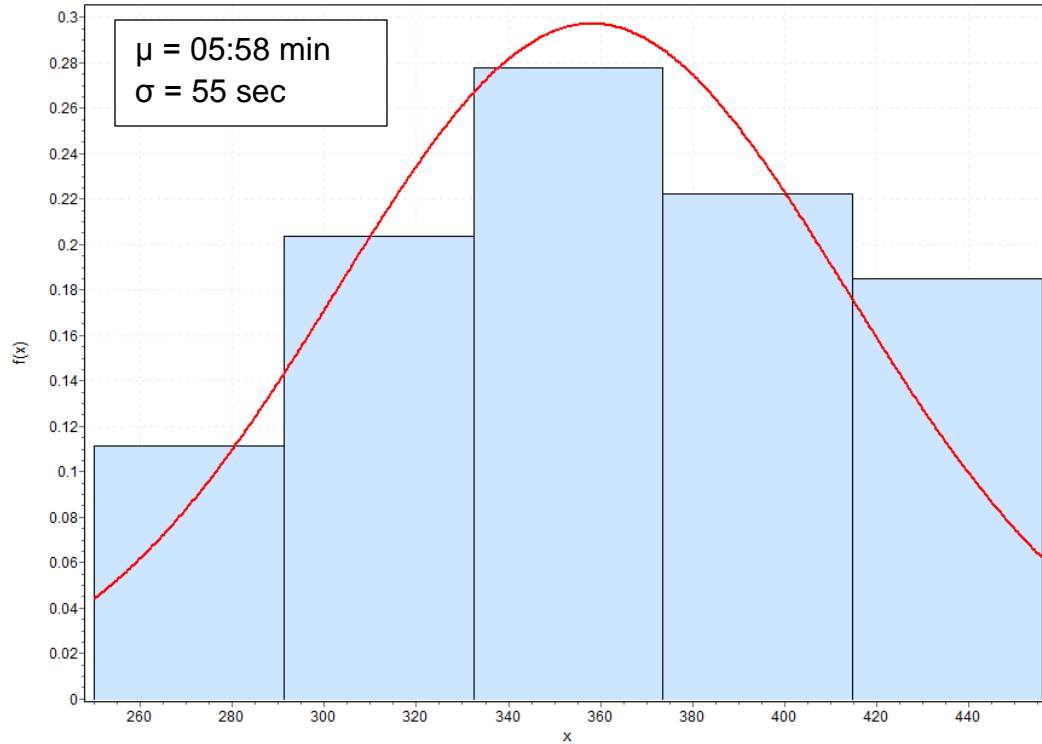
(α) Ένα φορτηγό με ωφέλιμο φορτίο 8.680 kg που κινείται με ταχύτητα 45 χλμ/ώρα (η ταχύτητα των 45 χλμ/ώρα προέκυψε ως η μέση ταχύτητα του “πραγματικού” προφίλ ταχύτητας) σε διαδρομή μήκους 16 χιλιομέτρων με τη μηκοτομή του οδικού τμήματος Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά – Ασπρόπυργος καταναλώνει 5,8 λίτρα.

(β) Το ίδιο φορτηγό κινούμενο με το ιδεατό προφίλ ταχύτητας στην ίδια μηκοτομή κατανάλωσε 7 λίτρα. Το ιδεατό προφίλ περιγράφει συνθήκες πολύ χαμηλής κυκλοφορίας με σύστημα συγχρονισμένης σηματοδότησης το οποίο εξασφαλίζει πράσινο κύμα στη κίνηση των οχημάτων κατά μήκος της οδού που κινούνται. Γίνεται η υπόθεση ότι κατά την μετάβαση από αστικές οδούς σε λεωφόρους και αντιστρόφως απαιτείται στάση του οχήματος (λόγω διαφορετικής φάσης σηματοδότησης). Στη περίπτωση αυτή απαιτήθηκαν 1,2 λίτρα επιπλέον δηλαδή η κατανάλωση αυξήθηκε κατά 20%.



Σχήμα 58: Σύγκριση μεταξύ “ιδεατού” προφίλ ταχύτητας (κόκκινη γραμμή), “πραγματικού” προφίλ ταχύτητας (μπλε γραμμή) και προφίλ σταθερής μέσης ταχύτητας (πράσινη γραμμή)

(γ) Το ίδιο φορτηγό κινούμενο με το “πραγματικό” προφίλ ταχύτητας στην ίδια μηκοτομή κατανάλωσε 8 λίτρα. Το “πραγματικό” προφίλ ενσωματώνει μεταβολές της ταχύτητας που προέρχονται κυρίως από εμπλοκές του φορτηγού οχήματος με τα άλλα οχήματα της οδού ή και αποστάσεις σε διασταυρώσεις για την αποφυγή σύγκρουσης με τα υπόλοιπα οχήματα. Στη περίπτωση αυτή η κατανάλωση ήταν σχεδόν 15% αυξημένη σε σχέση με το “ιδεατό” σενάριο και 38% αυξημένη σε σχέση με το φορτηγό που κινείται με σταθερή ταχύτητα. Οι διαφορές αυτές αφορούν το συγκεκριμένο δείγμα μετρήσεων και παρατίθενται ως ενδεικτικές της πρόσθετης κατανάλωσης λόγω κυκλοφοριακών συνθηκών. Σύμφωνα με τα σχόλια του οδηγού οι κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούσαν την ημέρα των μετρήσεων ήταν σχετικά ήπιες (συχνά παρατηρούνται δυσμενέστερες συνθήκες στη συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου). Επιπλέον το ωφέλιμο φορτίο της συγκεκριμένης διαδρομής ήταν 8.680 kg. Πράγματι, σύμφωνα με στοιχεία που αντλήθηκαν από το αρχείο του συστήματος διαχείρισης στόλου ο μέσος χρόνος διαδρομής στα τμήματα λεωφόρου Σχιστού και Μεγαρίδος (βλέπε Σχήμα 59) παρουσιάζει σημαντική διασπορά εάν θεωρήσουμε το μέσο χρόνο διαδρομής σαν ένα δείκτη των κυκλοφοριακών συνθηκών που επικρατούν στα ανωτέρω οδικά τμήματα. Σύμφωνα με το “πραγματικό” προφίλ ταχύτητας ο χρόνος που απαιτήθηκε για την διάνυση της Λ. Σχιστού ήταν 6 λεπτά ενώ για την οδό Μεγαρίδος σχεδόν 4 λεπτά.



Δείγμα 53 και 42 καταγραφών (αντίστοιχα) μέσω του συστήματος διαχείρισης στόλου οχημάτων στη περίοδο Ιούνιος 2014 – Ιούνιος 2015
Σχήμα 59: Κατανομή συχνότητας του μέσου χρόνου μετακίνησης στα τμήματα λεωφόρος Σχιστού (άνω) και οδός Μεγαρίδος στον Ασπρόπυργο (κάτω)

6.3 Διερεύνηση των επιπτώσεων σε κόστος και χρόνο από την χρήση της Αττικής Οδού

Η τρίτη εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του μοντέλου κατανάλωσης αφορούσε στη διερεύνηση των επιπτώσεων σε κόστος και χρόνο από την χρήση της Αττικής Οδού σε οδικές διαδρομές φορτηγών οχημάτων στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών. Συγκεκριμένα, με αφετηρία την περιοχή Ασπροπύργου προσδιορίστηκαν διαδρομές μέσω της Αττικής Οδού για τις οποίες διερευνάται κατά πόσο η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου του φορτηγού (λόγω των καλύτερων κυκλοφοριακών συνθηκών σε σχέση με εναλλακτικές οδούς) αντισταθμίζει το κόστος των διοδίων.

Χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων του Συστήματος διαχείρισης στόλου συλλέγεται ένα δείγμα διαδρομών με αφετηρία τον Ασπρόπυργο και προορισμό διάφορες περιοχές εντός Αττικής (Μεταμόρφωση, Χαλάνδρι, Μαρκόπουλο) που αφορούν σε μετακινήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 2014-2015.

Οι δύο εναλλακτικές διαδρομές εισάγονται στο μοντέλο κατανάλωσης καυσίμου μέσω του οποίου υπολογίζονται οι σχετικές καταναλώσεις λαμβάνοντας υπόψη τους διορθωτικούς συντελεστές για τον ακριβέστερο υπολογισμό της κατανάλωσης (αυξητικούς συντελεστές που υπολογίστηκαν στο υποκεφάλαιο 6.1). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων για ένα αριθμό διαδρομών προκύπτουν γενικά συμπεράσματα για την οικονομική ανταποδοτικότητα της χρήσης της Αττικής οδού.

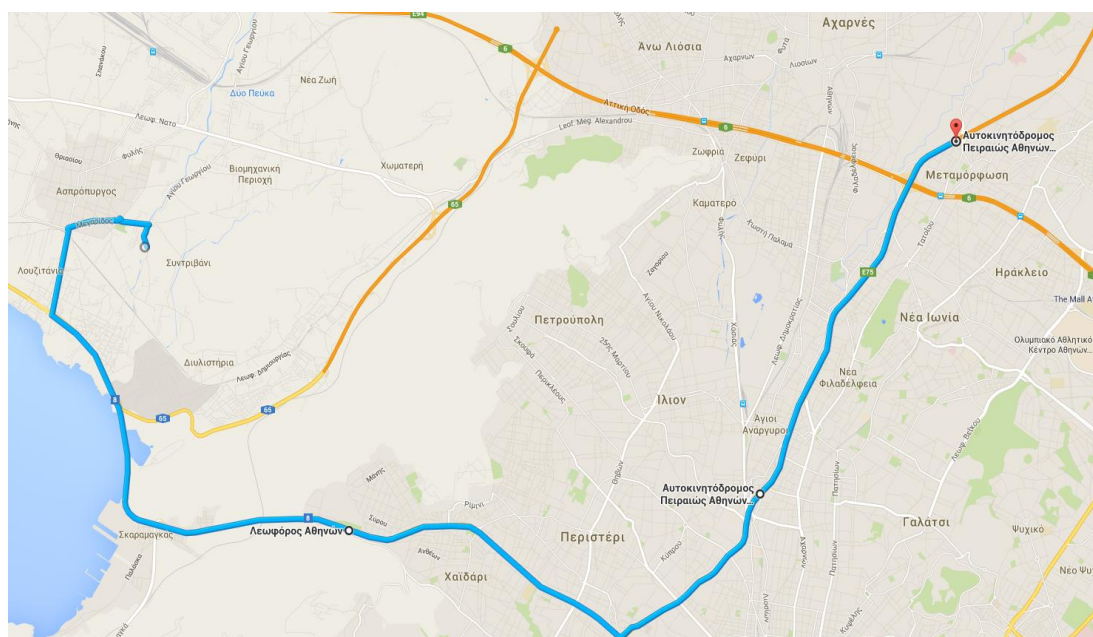
Η πρώτη διαδρομή που εξετάστηκε αφορά στη μετακίνηση από τον Ασπρόπυργο με προορισμό τη Μεταμόρφωση. Οι εναλλακτικές διαδρομές είναι:

(α) η μετακίνηση σε αστικές οδούς του Ασπροπύργου μέχρι την είσοδο στην Αττική Οδό είτε μέσω του κόμβου του Ασπροπύργου είτε μέσω του κόμβου της Περιφερειακής Αιγάλεω και στη συνέχεια η κυκλοφορία επί της Αττικής Οδού για ένα μήκος 10 περίπου χιλιομέτρων

(β) η μετακίνηση σε αστικές οδούς του Ασπρόπυργου και στη συνέχεια επί της λεωφόρου Αθηνών και της λεωφόρου Κηφισού έως τη Μεταμόρφωση. Στα Σχήματα 60 και 61 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι δύο εναλλακτικές διαδρομές.

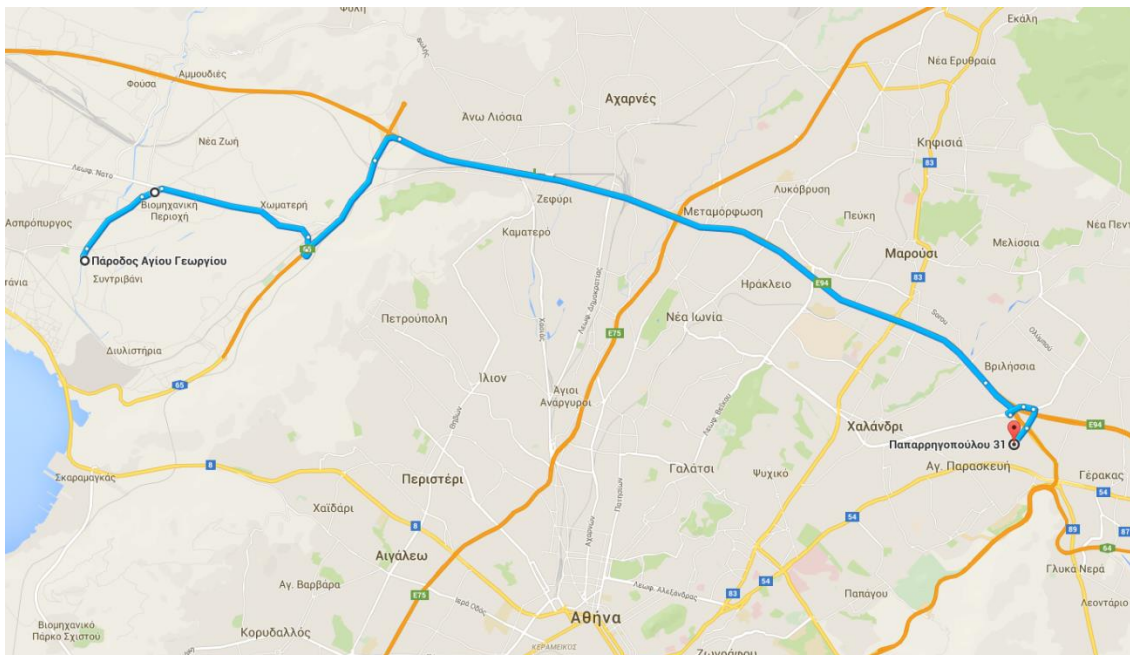


Σχήμα 60: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μεταμόρφωση με χρήση της Αττικής Οδού

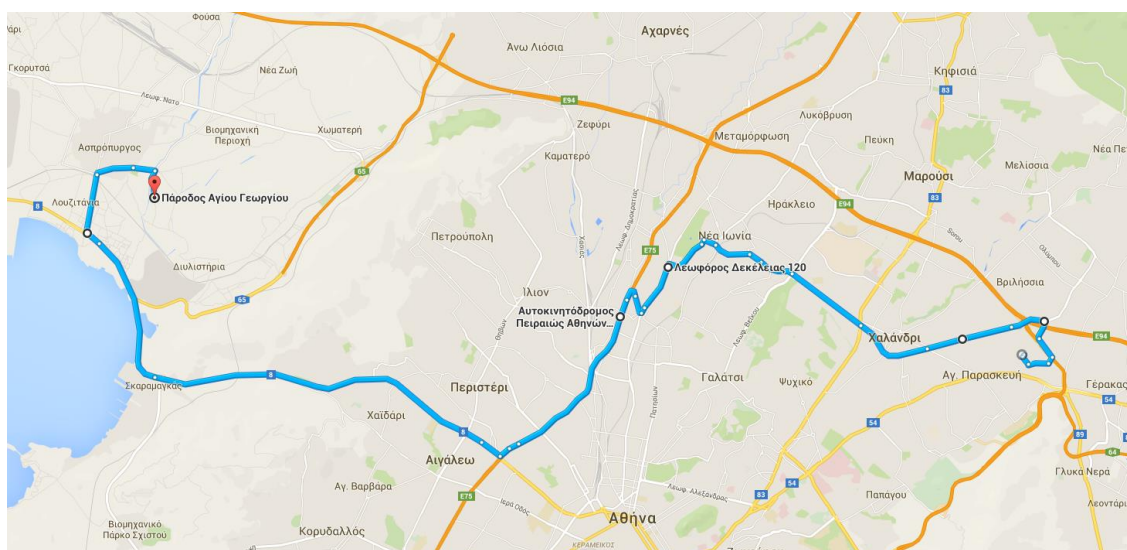


Σχήμα 61: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μεταμόρφωση χωρίς χρήση της Αττικής Οδού

Η δεύτερη διαδρομή που εξετάστηκε αφορά στις μετακινήσεις μεταξύ Ασπροπύργου και Χαλανδρίου, διαδρομή που χρησιμοποιεί τμήμα 18 περίπου χιλιομέτρων της Αττικής Οδού (Σχήμα 62). Η εναλλακτική διαδρομή στη περίπτωση αυτή περιλαμβάνει μετακινήσεις σε αστικές οδούς του Ασπροπύργου, τη λεωφόρο Αθηνών, τη λεωφόρο Κηφισού (τμήμα της Π.Α.Θ.Ε.) καθώς και τη κίνηση σε αστικές οδούς του Χαλανδρίου και της Ν. Ιωνίας (Σχήμα 63).

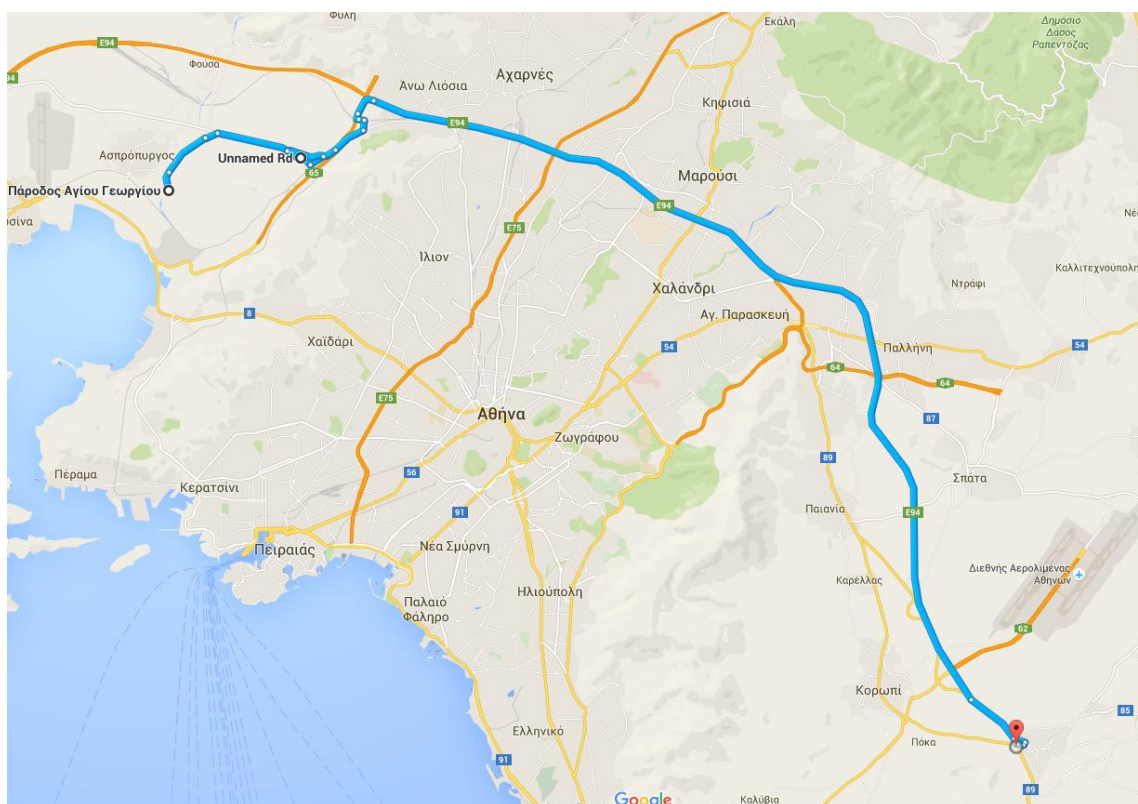


Σχήμα 62: Διαδρομή Ασπροπύργος - Χαλάνδρι με χρήση της Αττικής Οδού

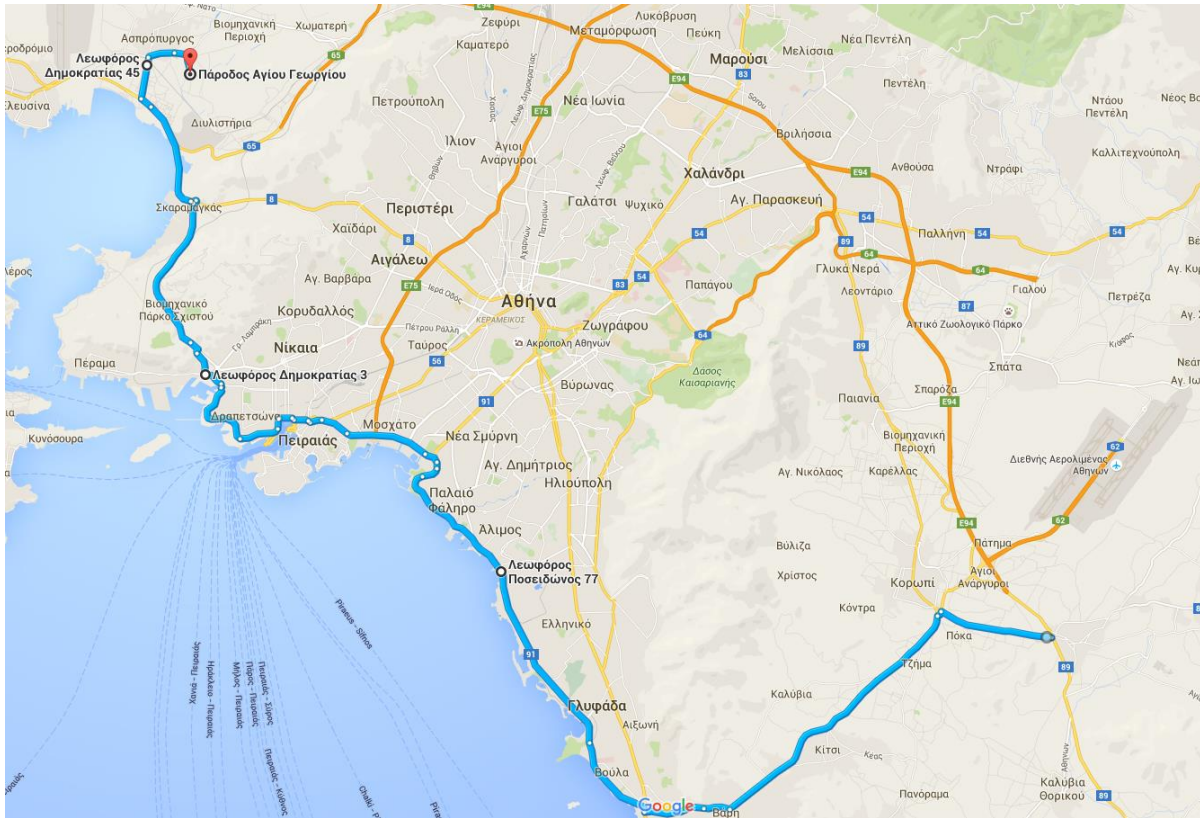


Σχήμα 63: Διαδρομή Ασπροπύργος - Χαλάνδρι χωρίς τη χρήση της Αττικής Οδού

Η τρίτη περίπτωση διαδρομών που εξετάστηκαν αφορούν στη διαδρομή Ασπρόπυργος Μαρκόπουλο. Πρόκειται για μία σαφώς μεγαλύτερη διαδρομή από τις δύο προηγούμενες, καθώς το μήκος της Αττικής Οδού που χρησιμοποιείται στη περίπτωση αυτή είναι 35 περίπου χιλιόμετρα (Σχήμα 64). Η εναλλακτική διαδρομή που επιλέγεται από τους επαγγελματίες οδηγούς παρουσιάζεται στο Σχήμα 65 και περιλαμβάνει τη μετακίνηση σε λεωφόρους όπως η Βάρης - Κορωπίου, η Παραλιακή καθώς και η διέλευση από το κέντρο του Πειραιά.



Σχήμα 64: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μαρκόπουλο με χρήση της Αττικής Οδού



Σχήμα 65: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μαρκόπουλο χωρίς τη χρήση της Αττικής Οδού

Για τις τρεις αυτές ξεχωριστές περιπτώσεις διαδρομών έγινε η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου με χρήση του μοντέλου της εργασίας. Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις διαδρομές και τον αριθμό των μετρήσεων που έγιναν σε κάθε διαδρομή ενώ ο Πίνακας 14 παρουσιάζει τα αποτελέσματα του υπολογισμού κατανάλωσης. Στον τελευταίο αυτό πίνακα ως “μέση κατανάλωση καυσίμου” λαμβάνεται η μέση τιμή των καταναλώσεων των σχετικών μετρήσεων. Η τιμή του βάρους που χρησιμοποιήθηκε αφορά στη μετακίνηση ωφέλιμου φορτίου 12,6 τόνων, τιμή που αιτιολογήθηκε στην 1^η εφαρμογή (βλέπε υποκεφάλαιο 6.1). Η τιμή καυσίμου τέθηκε σύμφωνα με τα στοιχεία του Παρατηρητηρίου Τιμών Υγρών Καυσίμων του Υπουργείου Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας. Η μέση τιμή του Diesel κίνησης για τη Νομαρχία Δυτικής Αττικής την Παρασκευή 16/10/2015 είναι 1,104 € [46]. Επίσης, σύμφωνα με την ιστοσελίδα της Αττικής Οδού, το κόστος για την χρήση αυτής από ένα φορτηγό όχημα με 4 ή περισσότερους άξονες και συνολικού ύψους μεγαλύτερου των 2,70 μέτρων ανέρχεται στα 11,20 € [47].

Πίνακας 13: Μετρήσεις Χρόνου για διαδρομές με και χωρίς τη χρήση της Αττικής Οδού

Διαδρομή	Αριθμός μετρήσεων	Μέση διάρκεια διαδρομής (Λεπτά)	Παρατηρήσεις
<i>Ασπρόπυργος - Μεταμόρφωση</i>			
Μέσω Αττικής Οδού	2	19'	Πρώτη έξοδος για φορτηγό που εισέρχεται στην Αττική Οδό από τον κόμβο της Περ. Αιγάλεω
Εκτός Αττικής Οδού	3	29'	
<i>Ασπρόπυργος - Χαλάνδρι</i>			
Μέσω Αττικής Οδού	1	32'	
Εκτός Αττικής Οδού	1	50'	
<i>Ασπρόπυργος – Μαρκόπουλο</i>			
Μέσω Αττικής Οδού	2	44'	Τελευταία έξοδος Αττικής Οδού
Εκτός Αττικής Οδού	2	80'	

Πίνακας 14: Επιπτώσεις από τη χρήση της Αττικής Οδού για συγκεκριμένες διαδρομές

Διαδρομή	Διάρκεια (Λεπτά)	Υπολογισμός μέσης κατανάλωσης καυσίμου (Λίτρα)	Κόστος καυσίμου (€)	Εξοικονόμηση καυσίμου λόγω της χρήσης της Αττικής Οδού (€)	Κόστος διοδίων (€)	Επιπτώσεις από τη χρήση της Αττικής Οδού	
						Πρόσθετο κόστος* (€)	Όφελος σε χρόνο (Λεπτά)
Ασπρόπυργος – Μεταμόρφωση							
Μέσω Αττικής Οδού	19´	10,6	11,7	5,9	11,2	6,3	10
Εκτός Αττικής Οδού	29´	15,9	17,6				
Ασπρόπυργος - Χαλάνδρι							
Μέσω Αττικής Οδού	32´	13,6	15,0	7,1	11,2	4,1	18
Εκτός Αττικής Οδού	50´	20	22,1				
Ασπρόπυργος - Μαρκόπουλο							
Μέσω Αττικής Οδού	44´	17,5	19,3	10,9	11,2	0,3	36
Εκτός Αττικής Οδού	80´	27,4	30,2				

*Αφορά στο οικονομικό κόστος διοδίων μείον το κόστος καυσίμου. Δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος χρόνου του φορτηγού οχήματος (που είναι της τάξεως των 20 € την ώρα υπό την προϋπόθεση ότι η επιχείρηση μπορεί να εκμεταλλευτεί παραγωγικά τον χρόνο που εξοικονομείται) καθώς και το όφελος από την μειωμένη καταπόνηση του οχήματος.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα στοιχεία του Πίνακα 14 είναι:

Στη διαδρομή Ασπρόπυργο – Μεταμόρφωση η εξοικονόμηση καυσίμου λόγω της Αττικής Οδού είναι 5,9 ευρώ ενώ το κόστος των διοδίων είναι 11,2. Υπάρχει δηλαδή για το χρήστη της Αττικής Οδού μία επιβάρυνση 6,3 ευρώ ενώ το όφελος σε χρόνο είναι μόλις 10 λεπτά. Αυτό συμβαίνει διότι το μήκος της διαδρομής επί της Αττικής Οδού είναι σχετικά μικρό (10 περίπου χιλιόμετρα).

Στη διαδρομή Ασπρόπυργος – Χαλάνδρι το πρόσθετο κόστος για το χρήστη της Αττικής Οδού περιορίζεται στα 4,1 ευρώ όμως το όφελος σε χρόνο είναι σημαντικό (18 λεπτά). Γενικά εξοικονόμηση χρόνου της τάξεως αυτής μπορεί να αξιοποιηθεί παραγωγικά από

την επιχείρηση: παραδείγματος χάριν εάν σε τρεις διαδρομές εντός της ημέρας εξοικονομήσει από 20 λεπτά μπορεί να εκτελέσει ένα ακόμη δρομολόγιο υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει διαθέσιμο μεταφορικό έργο που μπορεί να μετακινηθεί στο χρονικό παράθυρο που θα προκύψει. Επιπλέον το μεταφορικό αυτό έργο δεν θα πρέπει να αφαιρεθεί από την επόμενη μέρα αλλά να προκύψει από ανταγωνιστικούς οδικούς μεταφορείς. Στη περίπτωση που ο χρόνος μπορεί να αξιοποιηθεί παραγωγικά τότε ως κόστος θα πρέπει να ληφθεί το γενικευμένο κόστος (κόστος μετακίνησης και κόστος χρόνου) της μεταφορικής υπηρεσίας. Για ένα κόστος αξίας χρόνου φορτηγού στα επίπεδα των 20 ευρώ ανά ώρα η χρήση της Αττικής Οδού είναι ανταποδοτική. Επίσης, η συγκεκριμένη διαδρομή εξετάστηκε και για συνολικό βάρος οχήματος 40 τόνων και το πρόσθετο κόστος από τη χρήση της Αττικής Οδού υπολογίστηκε στα 1,6 ευρώ (σε αντίθεση με τα 4,1 ευρώ του Πίνακα 14). Επομένως, συμπεραίνεται πως φορτηγά οχήματα που μετακινούν βαρέα ωφέλιμα φορτία επωφελούνται περισσότερο από τη χρήση του αυτοκινητόδρομου.

Τέλος στη διαδρομή Ασπρόπυργος – Μαρκόπουλο το όφελος από την εξοικονόμηση καυσίμου σχεδόν καλύπτει το κόστος των διοδίων ενώ εξοικονομούνται 36 λεπτά. Στη περίπτωση αυτή η χρήση της Αττικής Οδού είναι ανταποδοτική αν ληφθεί υπόψη ότι υπάρχουν έμμεσα οφέλη λόγω (α) της μικρότερης καταπόνησης του οχήματος που κινείται με σταθερή ταχύτητα στην Αττική Οδό (λιγότερες φθορές σε φρένα και κινητήρα) και (β) της μικρότερης καταπόνησης του οδηγού του φορτηγού που μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ατυχήματα ή παραβάσεις του κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Τα ανωτέρω απαιτούν μία συστηματική διερεύνηση η οποία ξεφεύγει από τους στόχους της παρούσας εργασίας.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ζήτημα της κατανάλωσης καυσίμου έχει απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα καθώς αποτελεί ένα από τους πλέον βασικούς παράγοντες του λειτουργικού κόστους των φορτηγών οχημάτων και κατ' επέκταση των μεταφορικών εταιριών. Για το λόγο αυτό, μία σειρά από υπολογιστικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί, καθένα από τα οποία λαμβάνει υπόψη διαφορετικές παραμέτρους. Το αναλυτικό μοντέλο κατανάλωσης που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε στη διερεύνηση αυτή βασίστηκε σε εξισώσεις που υπολογίζουν τις αντιστάσεις που καλείται να υπερνικήσει το φορτηγό όχημα κατά την κίνηση του. Επιπλέον λαμβάνει υπόψη στοιχεία που αφορούν την παλαιότητα του οχήματος τόσο όσο προς το έτος της κατασκευής του όσο και προς τον χρόνο λειτουργίας του.

Τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας αυτής είναι:

- Η κατανάλωση καυσίμου στα οδικά φορτηγά οχήματα αποτελεί ένα βασικό παράγοντα λειτουργικού κόστους και για το λόγο αυτό πρέπει να διερευνηθεί συστηματικά.
- Ένα μοντέλο κατανάλωσης καυσίμου με μεταβλητές εισόδου τη θέση, το ακριβές προφίλ της ταχύτητας του οχήματος και το μεταφερόμενο φορτίο μπορεί να αποτελέσει ένα υπολογιστικό εργαλείο που μπορεί με ικανοποιητική ακρίβεια να προσεγγίσει τη πραγματική κατανάλωση του οχήματος. Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μία μεταφορική εταιρία για τη προετοιμασία προσφορών για την ανάληψη μεταφορικού έργου, για την επιλογή μεταξύ εναλλακτικών διαδρομών καθώς και για τον προσδιορισμό της τιμολογιακής πολιτικής της. Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελέτες εκτίμησης λειτουργικού κόστους οδού καθώς και για τη σύγκριση εναλλακτικών σχεδιασμών.
- Η ταχύτητα του φορτηγού οχήματος, το μεταφερόμενο φορτίο, η κλίση της οδού καθώς επίσης και οι κυκλοφοριακές συνθήκες αποτελούν τις βασικότερες παραμέτρους που επηρεάζουν τη κατανάλωση καυσίμου.
- Τα στοιχεία που παρέχει ένα Σύστημα Διαχείρισης Στόλου στο οποίο η λήψη των στιγμάτων γίνεται σε διαστήματα της τάξης του ενός λεπτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη προσεγγιστική εκτίμηση μέσω διορθωτικών

συντελεστών ώστε να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις από αυξομειώσεις της ταχύτητας λόγω κυκλοφοριακών συνθηκών.

8. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Σαν συνέχεια αυτής της εργασίας μπορούν να γίνουν αναλύσεις σε σχέση με τα εξής ζητήματα:

- Η ανάπτυξη μίας συνάρτησης που να εκτιμά την επιπλέον κατανάλωση καυσίμου λόγω κυκλοφοριακών συνθηκών μέσω της μέσης ταχύτητας κίνησης του οχήματος. Η μέση ταχύτητα είναι δυνατόν να υπολογισθεί με σχετικά καλή ακρίβεια από το αρχείο ενός συστήματος διαχείρισης στόλου οχημάτων καθώς δεν απαιτεί μεγάλη συχνότητα στην αποστολή/λήψη των πληροφοριών θέσης.
- Η επέκταση του μοντέλου της κατανάλωσης ώστε να υπολογίζει εκπομπές αέριων ρύπων σε σχέση και με το είδος του καυσίμου καθώς και με τη παλαιότητα του οχήματος. Εφόσον ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου έχει πραγματοποιηθεί, είναι δυνατή η χρήση συντελεστών που να εκτιμούν τους εκπεμπόμενους αέριους ρύπους του φορτηγού οχήματος για τη διαδρομή μελέτης.
- Η πραγματοποίηση ενός μεγάλου αριθμού μετρήσεων με πρόσθετο GPS επί του οχήματος για διαφορετικές ώρες, ημέρες και μήνες του έτους ώστε να προκύψουν αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τις συνθήκες που καθιστούν τη χρήση της Αττικής Οδού ανταποδοτική για τις μεταφορικές εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο λεκανοπέδιο της Αττικής.

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Σχέση μεταξύ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και του παραγόμενου μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 28 από το 1995 έως το 2013.....	8
Σχήμα 2: Ευρωπαϊκές εμπορευματικές μεταφορές ανά μέσο μεταφοράς (1995-2013) ...	8
Σχήμα 3: Εμπορευματικές μεταφορές – Σύγκριση Ε.Ε. (28) με τον υπόλοιπο κόσμο	9
Σχήμα 4: Οδικές Μεταφορές Εμπορευμάτων στην Ελλάδα 2003-2013	10
Σχήμα 5: Τύποι και αντίστοιχες μέγιστες διαστάσεις οδικών οχημάτων σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 96/53/ΕΚ.....	11
Σχήμα 6: Τροχοφόρα βάση για την οδική μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων	12
Σχήμα 7: Ενεργειακές απώλειες φορτηγού οχήματος όπως προκύπτουν από κύκλο οδήγησης σε οδό με μηδενική κλίση	15
Σχήμα 8: Ποσοστά αντίστασης κύλισης που δέχονται οι τροχοί ενός Αμερικανικού φορτηγού οχήματος ανάλογα της θέσης τους	19
Σχήμα 9: Ροή του αέρα γύρω από ένα τυπικό Ευρωπαϊκό φορτηγό όχημα	21
Σχήμα 10: Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας της αεροδυναμικής αντίστασης και της αντίστασης κύλισης σε συνάρτηση της ταχύτητας.....	22
Σχήμα 11: Διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο για φορτηγά οχήματα	23
Σχήμα 12: Εμπορευματοκιβώτιο 40' γενικής χρήσης	24
Σχήμα 13: Ελάχιστη – Μέγιστη Ισχύς που απαιτείται για εξαρτήματα, Scania (1400 σ.α.λ.)	25
Σχήμα 14: Δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου με κατάλληλη οδηγική συμπεριφορά	32
Σχήμα 15: Μοντέλο Ροής Συμβατικού Κινητήρα Εσωτερικής Καύσης	34
Σχήμα 16: Διάγραμμα Ροής Μοντέλου Πανεπιστημίου Berkeley	36
Σχήμα 17: Διάγραμμα δυνάμεων που ασκούνται σε φορτηγό κινούμενο σε ανωφέρεια	39
Σχήμα 18: Τυπική κατανομή ενέργειας καυσίμου σε όχημα που κινείται σε επίπεδο δρόμο	41
Σχήμα 19: Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο φορτηγού, μέσες τιμές κατανάλωσης κενού οχήματος και διαφορές κατανάλωσης κενού και πλήρως έμφορτου οχήματος για διαφορετικές κατηγορίες κλίσης εδάφους	45
Σχήμα 20: Παράμετροι εισόδου στο μοντέλο εκτίμησης κατανάλωσης	56
Σχήμα 21: Διάγραμμα ροής του μοντέλου εκτίμησης της κατανάλωσης.....	58
Σχήμα 22: Σταθμός Φορτηγών Οχημάτων (Σ.Φ.Ο.) - Βιομηχανική Περιοχή Ασπροπύργου.....	62
Σχήμα 23: Φορτηγό Όχημα Α, DAF CF (Μοντέλο έτους 2009, κατηγορίας Euro V).....	63
Σχήμα 24: Φορτηγό Όχημα Β, Volvo FH-12 (Μοντέλο έτους 1993, κατηγορίας Euro I)	63
Σχήμα 25: Ο φορητός Δέκτης MagellanMobileMapper CX που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις	64

Σχήμα 26: Απεικόνιση ιστορικού μετακινήσεων ενός φορτηγού σε μία ημέρα σε ψηφιακό υπόβαθρο χαρτών της Google	66
Σχήμα 27: Συχνότητα λήψης πληροφοριών για την θέση ενός φορτηγού οχήματος από σύστημα διαχείρισης στόλου για διαδρομές της 4 ^{ης} Αυγούστου 2015 (άνω σχήμα) και της 6 ^{ης} Αυγούστου 2015 (κάτω σχήμα)	68
Σχήμα 28: Απεικόνιση διαδρομών φορτηγού στις 4 Αυγούστου 2015.....	71
Σχήμα 29: Εμπορευματοκιβώτιο τύπου Flat rack βάρους περίπου 5 τόνων, για τη πραγματοποίηση ειδικών μεταφορών	72
Σχήμα 30: Απεικόνιση διαδρομών φορτηγού στις 5 Αυγούστου 2015.....	73
Σχήμα 31: Απεικόνιση διαδρομών φορτηγού στις 6 Αυγούστου 2015.....	74
Σχήμα 32: Ταχύτητες πριν και μετά την εφαρμογή του Κινητού Μέσου Όρου σε τμήμα της 1ης ημέρας.....	77
Σχήμα 33: Κατηγορίες μετρήσεων και αντίστοιχες εφαρμογές που αξιοποιήθηκαν.....	78
Σχήμα 34: Εξέλιξη Κατανάλωσης Καυσίμου στα φορτηγά των 40 τόνων [39].....	79
Σχήμα 35: Επίδραση της ταχύτητας στην Κατανάλωση Καυσίμου ενός Φορτηγού Οχήματος	80
Σχήμα 36: Μεταβολή Κατανάλωσης Καυσίμου λόγω Κυκλοφοριακής Ροής.....	82
Σχήμα 37: Συμμετοχή αεροδυναμικής αντίστασης και αντίστασης κύλισης στη κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος.....	83
Σχήμα 38: Διάγραμμα ταχύτητας χρόνου για μετρήσεις με συσκευή GPS επί του οχήματος (μπλε γραμμή) και για στοιχεία από το σύστημα διαχείρισης στόλου οχημάτων (κόκκινη γραμμή). Μετρήσεις της 4ης Αυγούστου 2015	90
Σχήμα 39: Ανάλυση του τμήματος 1 του Σχήματος 38	90
Σχήμα 40: Ανάλυση του τμήματος 2 του Σχήματος 38	91
Σχήμα 41: Ανάλυση του τμήματος 3 του Σχήματος 38	91
Σχήμα 42: Ανάλυση του τμήματος 5 του Σχήματος 38	92
Σχήμα 43: Ανάλυση του τμήματος 7 του Σχήματος 38	92
Σχήμα 44: Κατανομή των διαφορών μεταξύ της θεωρούμενης ως πραγματική κατανάλωση και της κατανάλωσης που προκύπτει μέσω Σ.Δ.Σ. για διαδρομές σε τοπικές και συλλεκτήριες οδούς	94
Σχήμα 45: Κατανομή των διαφορών μεταξύ της θεωρούμενης ως πραγματική κατανάλωση και της κατανάλωσης που προκύπτει μέσω Σ.Δ.Σ. για διαδρομές σε λεωφόρους.....	95
Σχήμα 46: Κατανάλωση καυσίμου 40-τονου φορτηγού οχήματος συναρτήσει της ταχύτητας	98
Σχήμα 47: Κατανάλωση καυσίμου βαρέως φορτηγού οχήματος συναρτήσει του ωφέλιμου φορτίου όταν κινείται με σταθερή ταχύτητα 70 χλμ/ώρα	99
Σχήμα 48: Κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος συναρτήσει της ταχύτητας και του ωφέλιμου φορτίου	100

Σχήμα 49: Κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος συναρτήσει της κλίσης της οδού Σταθερή ταχύτητα 70 χλμ/ώρα, συνολικό βάρος φορτηγού 26400 kg.....	101
Σχήμα 50: Συμμετοχή αεροδυναμικής αντίστασης, αντίστασης κύλισης και αντίστασης λόγω κλίσης στη κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος.....	102
Σχήμα 51: Συμμετοχή κυκλοφοριακών συνθηκών (μία στάση ανά χιλιόμετρο), αεροδυναμικής αντίστασης και αντίστασης κύλισης στη κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος.....	103
Σχήμα 52: Ο Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης για βαρέα οχήματα που κινούνται σε αστικές οδούς, υπεραστικές οδούς και αυτοκινητόδρομους	105
Σχήμα 53: Χάρτης διαδρομής από τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά έως τον Σταθμό των φορτηγών στον Ασπρόπυργο	106
Σχήμα 54: Πρώτο σκέλος διαδρομής επί της Λεωφόρου Δημοκρατίας	107
Σχήμα 55: Δεύτερο σκέλος διαδρομής: Λεωφόρος Σχιστού – Σκαραμαγκά	108
Σχήμα 56: Τρίτο σκέλος διαδρομής: Λεωφόρος Αθηνών	109
Σχήμα 57: Τέταρτο σκέλος διαδρομής: Αστικές οδοί Ασπροπύργου.....	110
Σχήμα 58: Σύγκριση μεταξύ “ιδεατού” προφίλ ταχύτητας (κόκκινη γραμμή), “πραγματικού” προφίλ ταχύτητας (μπλε γραμμή) και προφίλ σταθερής μέσης ταχύτητας (πράσινη γραμμή).....	111
Σχήμα 59: Κατανομή συχνότητας του μέσου χρόνου μετακίνησης στα τμήματα λεωφόρος Σχιστού (άνω) και οδός Μεγαρίδος στον Ασπρόπυργο (κάτω)	113
Σχήμα 60: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μεταμόρφωση με χρήση της Αττικής Οδού	115
Σχήμα 61: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μεταμόρφωση χωρίς χρήση της Αττικής Οδού	115
Σχήμα 62: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Χαλάνδρι με χρήση της Αττικής Οδού	116
Σχήμα 63: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Χαλάνδρι χωρίς τη χρήση της Αττικής Οδού....	116
Σχήμα 64: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μαρκόπουλο με χρήση της Αττικής Οδού	117
Σχήμα 65: Διαδρομή Ασπρόπυργος - Μαρκόπουλο χωρίς τη χρήση της Αττικής Οδού	118

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Συμμετοχή Αεροδυναμικής Αντίστασης στις συνολικές απώλειες συναρτήσει της ταχύτητας	21
Πίνακας 2: Τυπικές διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων κατά ISO	24
Πίνακας 3: Μεταβλητές εισόδου για διάφορα μοντέλα υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου	53
Πίνακας 4: Σταθερές παράμετροι εισόδου.....	56
Πίνακας 5: Διαδρομές, χρόνοι και Ωφέλιμα φορτία 1ης Ημέρας.....	70
Πίνακας 6: Διαδρομές, χρόνοι και Ωφέλιμα φορτία 2ης Ημέρας.....	72
Πίνακας 7: Διαδρομές, χρόνοι και Ωφέλιμα φορτία 3ης Ημέρας.....	74
Πίνακας 8: Εκτίμηση κατανάλωσης και διαφορές από VDA σύμφωνα με το σενάριο #3	82
Πίνακας 9: Περιγραφή στοιχείων βάρους στις διαδρομές.....	85
Πίνακας 10: Σύγκριση αποτελεσμάτων εκτίμησης και μετρημένης τελικής κατανάλωσης	87
Πίνακας 11: Διαφορά κατανάλωσης μεταξύ πραγματικού και εκτιμώμενου μέσω των στοιχείων Σ.Δ.Σ. προφίλ ταχύτητος.....	93
Πίνακας 12: Διαφορά πραγματικής με υπολογισθείσα κατανάλωση με και χωρίς του διορθωτικούς συντελεστές.....	97
Πίνακας 13: Μετρήσεις Χρόνου για διαδρομές με και χωρίς τη χρήση της Αττικής Οδού	119
Πίνακας 14: Επιπτώσεις από τη χρήση της Αττικής Οδού για συγκεκριμένες διαδρομές	120

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, Άρθρο 2 Κατηγορίες και ορισμοί. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.opengov.gr/yme/?p=36>
- [2] European Commission, 2015, EU Transport in Figures, Statistical Pocketbook 2015. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/doc/2015/pocketbook2015.pdf>
- [3] Αιτιολογική έκθεση στο Σχέδιο Νόμου υπ' αριθμ. 3887 "Οδικές Εμπορευματικές Μεταφορές", 30 Σεπτεμβρίου 2010.
- [4] Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία, Στατιστικά μεταφορών για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/statistics-illustrated>
- [5] ΤΡΑΙΝΟΣΕ, 2013, Εκπόνηση έρευνας για την οργάνωση του τομέα των συνδυασμένων μεταφορών και των υπηρεσιών της εφοδιαστικής αλυσίδας της ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε. στον άξονα Αθήνα-Θεσσαλονίκη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [6] National research Council of the National Academies, 2010, Technologies and approaches to reducing the fuel consumption of medium- and heavy-duty vehicles. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.nap.edu/catalog/12845/technologies-and-approaches-to-reducing-the-fuel-consumption-of-medium-and-heavy-duty-vehicles>
- [7] Wikipedia, 2015, Diesel Fuel, Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_fuel
- [8] Diesel Technology Forum, Οργάνωση σχετική με κινητήρες ντίζελ, καύσιμα και τεχνολογία. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.dieselforum.org/index.cfm>
- [9] National Petroleum Council, 2012, Chapter Ten Heavy-Duty Engines & Vehicles. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.npc.org/reports/FTF-report-080112/Chapter_10-HD_Engines-Vehicles.pdf
- [10] Chuang, D., 2012, Packed Snow Performance of Low Rolling Resistance Class 8 Heavy Truck Tires, National Research Council Canada
- [11] Bridgestone, Tire Contributions to the Fuel Bill. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.bridgestonetrucktires.com/us_eng/real/magazines/ra_special-edit_4/ra_special4_fuel-tires.asp
- [12] Dings, J., 2010, The case for the exemption of aerodynamic devices in future type-approval legislation for heavy goods vehicles

- [13] National Research Council Canada, 2012, Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-menu-eng-2939.html>
- [14] Coyle, M., 2007. Effects of Payload on the Fuel Consumption of Trucks, Department for Transport (DfT). Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.scribd.com/doc/130012093/RR5-Effects-of-Payload-on-the-Fuel-Consumption-of-Trucks>
- [15] Γερμανική Ένωση Ασφαλιστών, Transport Information Service, Container types. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.tis-gdv.de/tis_e/containe/inhalt2.htm
- [16] Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης, ISO 668:2013, Series 1 freight containers – Classification, dimensions and ratings. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=59673
- [17] Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης, ISO 1496-1:2013, Series 1 freight containers – Specification and testing – Part 1: General cargo containers for general purposes. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=59672
- [18] Wikipedia, 2015, Intermodal Container. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://en.wikipedia.org/wiki/Intermodal_container
- [19] Pettersson, N., Johansson, H., 2006, Modelling and control of auxiliary loads in heavy vehicles, International Journal of control Vol. 79, No. 5, May 2006
- [20] Duggal, V., Cummins, Inc., Industrial Perspectives of the 21st Centruy Truck Partnership, Παρουσίαση στην επιτροπή, Dearbon, 6 Απριλίου 2009
- [21] National Biodiesel Board, 2015. Εθνική εμπορική ένωση που εκπροσωπεί τη βιομηχανία ντίζελ στις Η.Π.Α. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: www.biodiesel.org
- [22] Alternative Fuels Data Center. Υπουργείο Ενέργειας Η.Π.Α. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.afdc.energy.gov/>
- [23] Υπουργείο Ενέργειας Η.Π.Α., Clean Cities Guide to Alternative Fuel and Advanced Medium- and Heavy-Duty Vehicles, 2013
- [24] Τα πάντα για τα κιβώτια CVT, 2009, Διαδικτυακό Περιοδικό Αυτοκίνησης Caroto. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.caroto.gr/2009/05/10/%CE%BA%CE%B9%CE%B2%CF%8E%CF%84%CE%B9%CE%B1-cvt/>

- [25] Ντίνης, Ο.Θ., 2010, Από τη Χάραξη ως την Κατασκευή των Οδών, Εκδόσεις Ζήτη
- [26] Sime, M., et al., Ομοδοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων, 2000, WesTrack Track Roughness, Fuel Consumption and Maintenance Costs
- [27] Marks, H., 2009, Smoothness Matters: The Influence of Pavement on Fuel Consumption
- [28] Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2001, Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Χαράξεις (ΟΜΟΕ – Χ)
- [29] Min-Wook, K., et al., 2013, New highway geometric design methods for minimizing vehicular fuel consumption and improving safety
- [30] Bridgestone, What Consumes fuel? Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.bridgestonetrucktires.com/us_eng/real/magazines/ra_special-edit_4/ra_special4_fuel-speed.asp
- [31] SmartDrive Systems, 2011, Fuel Efficiency Study: Commercial Transportation. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.smartdrive.net/documents/smartdrive-trucking-fuel-study_2011.pdf
- [32] Nam, E., 2004, Advanced Technology Vehicle Modeling in PERE, United States Environmental Protection Agency. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www3.epa.gov/otaq/models/ngm/420d04002.pdf>
- [33] Barth, M., et al., 2005, Development of a Heavy-Duty Diesel Modal Emissions and Fuel Consumption Model, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://merritt.cdlib.org/d/ark:%252F13030%252Fm5cj8fkb/1/producer%252FPRR-2005-01.pdf>
- [34] LaClair, T., 2011, Large Scale Duty Cycle (LSDC) Project: Tractive Energy Analysis Methodology and Results from Long-Haul Truck Drive Cycle Evaluations, Oak Ridge National Laboratory. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub33189.pdf>
- [35] Schmied, M., Knorr, W., 2012, Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services, European Association for forwarding transport, logistics and customs services. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.clecat.org/images/CLECAT_Guide_on_Calculating_GHG_emissions_for_freight_forwarding_and_logistics_services.pdf

- [36] Τουρνάκη, Ε., Το αποτύπωμα άνθρακα στις σιδηροδρομικές συνδυασμένες μεταφορές : Εφαρμογή στη γραμμή Αθηνών – Θεσσαλονίκης, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [37] Παγκόσμια Ένωση Οδικών Μεταφορών, 2004, HDM-4 Software. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-assets-management/HDM-4-Software/>
- [38] Διαδικτυακό εργαλείο δημιουργίας χαρτών και σχεδιαγραμμάτων από γεωγραφικά δεδομένα. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: gpsvisualizer
- [39] Γερμανική Ένωση Αυτοκινητοβιομηχανιών (VDA), The Commercial Vehicle-environmentally friendly and efficient
- [40] International Road Transport Union, 2007, Evolution of Fuel Consumption 40-tonne truck. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.iru.org/cms-filessystem-action?file=mix-publications/DYK-Truck.E.pdf>
- [41] Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση, Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού HEPOS. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.hepos.gr/>
- [42] European Commission, 2012, Good Practice Guide, Chapter 3 – Container Specifications. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://ec.europa.eu/taxation_customs/elearning/demo/container/library/GPG/chapter_3_Container_specifications.pdf
- [43] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Carillo Xanuy, A., et al., Versatile, Efficient and Longer Wagon for European Transportation.
- [44] Εκπόνηση έρευνας για την οργάνωση του τομέα των συνδυασμένων μεταφορών και των υπηρεσιών της εφοδιαστικής αλυσίδας της τριανοσε Α.Ε. στον άξονα Αθήνα-Θεσσαλονίκη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δεκέμβριος 2013
- [45] Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης φορτηγών οχημάτων (ETC). Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.php>
- [46] Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων, Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.fuelprices.gr/>
- [47] Αττική Οδός, Τιμές διοδίων. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.aodos.gr/summary.asp?catid=19624> (Τελευταία επίσκεψη 17/11/2015)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

