



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΦΟΡΤΗΓΩΝ
ΟΔΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ



ΦΑΦΟΥΤΕΛΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΑΛΛΗΣ ΑΘ.

Αθήνα, Νοέμβριος 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου και συνεπώς τις σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου για τα μαθήματα όλων των ειδών που πήρα από εκείνους και ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου, κύριο Αθανάσιο Μπαλλή, για τη βοήθεια και τη στήριξή του σε μία πολύ απαιτητική περίοδο.

Ακόμα, την οικογένειά μου για την υποστήριξη και ξεχωριστά τη μητέρα μου, Ελένη και τον πατέρα μου, Ηλία Φαφουτέλλη, για την καθοδήγηση και τη βοήθειά καθ' όλη τη διάρκεια της μαθητικής και φοιτητικής ζωής μου.

Τέλος, όλους τους φίλους μου και ιδιαίτερα την Έλενα που είναι δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΦΑΦΟΥΤΕΛΛΗΣ, Π. «ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΦΟΡΤΗΓΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ»

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση όλων των παραγόντων που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος και του τρόπου που ο καθένας επιδρά σε κάθε παράμετρο κατανάλωσης ενέργειας, οι οποίες είναι το έργο αεροδυναμικής αντίστασης, το έργο αντίστασης κύλισης και οι μεταβολές δυναμικής και κινητικής ενέργειας.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου με χρήση ενός μοντέλου που βασίζεται σε αυτό του Αμερικανικού οργανισμού Oak Ridge National Laboratory. Συγκεκριμένα γίνεται μια ανάλυση της κατανάλωσης που προκύπτει από κάθε παράμετρο για ένα ευρύ φάσμα τιμών των παραγόντων που τις επηρεάζουν.

Τέλος, γίνεται σύγκριση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της οδικής και της σιδηροδρομικής μεταφοράς στη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το φορτηγό πλεονεκτεί όταν πρόκειται να μεταφερθούν ελαφριά προϊόντα και γενικά μικρός όγκος προϊόντων, ενώ το τρένο σε όλες τις άλλες περιπτώσεις.

ABSTRACT

FAFOUTELLIS, P. “FUEL CONSUMPTION OF HEAVY DUTY TRUCKS”

The target of this paper is to introduce the factors that affect the fuel consumption of a heavy duty truck and the effect of each on the parameters of energy and fuel consumption, which are the work of the aerodynamic resistance, the work of the rolling resistance and the variation of the dynamic and the kinetic energy.

Then, fuel consumption is calculated using a model that is based on the one of the American Oak Ridge National Laboratory. More specific, an analysis of fuel consumption is performed by calculating it for a long range of the values of each factor.

Last, a comparison is performed between the CO₂ emissions of road and railway transportation for the Athens – Thessaloniki route. The results show that the truck has an advantage when light products or a small amount of products in general are about to be transported and, on the other hand, the train should be preferred on every other occasion.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ..... 13

1.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	13
1.2 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΗΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ	14
1.3 ΟΙ ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	15
1.4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ	17
1.5 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ..... 19

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	19
2.2 ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΥ	22
2.3 ΣΤΑΣΕΙΣ	24
2.4 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	25
2.5 ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	28
2.6 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΧΗΜΑ	32
2.7 ΕΛΑΣΤΙΚΑ	34
2.8 ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ.....	36
2.9 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	39
2.10 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΟΛΟΥ	40
2.11 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	41
2.12 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΤΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	42
2.13 ΤΡΟΠΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	45
2.14 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	45
2.15 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ..... 50

3.1 ΡΟΛΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	50
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	51
3.3 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ ΩΣΤΕ ΝΑ ΜΗΔΕΝΙΖΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΚΑΤΩΦΕΡΕΙΑ	54
3.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ.....	57
3.4.1 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΤΑΧΥΤΗΤΑ	57

3.4.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ.....	60
3.4.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΚΛΙΣΗ	62
3.4.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΣΤΑΣΕΙΣ	64
3.4.5 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ	67
3.4.6 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΗ	68
3.4.7 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΒΑΡΟΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ.....	69
3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	70
3.6 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΣΥΡΜΟΥ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΔΙΚΩΝ – ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΘΗΝΑ – ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	75
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	75
4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	76
4.3 ΣΕΝΑΡΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	77
4.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΓΙΑ ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.....	80
4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΔΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	81
4.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	85
4.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	88
4.8 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΟΔΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Νόμιμο μήκος διατάξεων φορτηγών στην ΕΕ.....	14
Εικόνα 2: Επιρροή ταχύτητας στους παράγοντες κατανάλωσης καυσίμου...	26
Εικόνα 3: Σωστή τοποθέτηση φορτίου σε οχήματα με ανοιχτή καρότσα	30
Εικόνα 4: Απεικόνιση αεροδυναμικής αντίστασης στην επιφάνεια του οχήματος.....	32
Εικόνα 5: Κατάλογος ελαστικών και ευρωπαϊκή ετικέτα κατάταξης.....	35
Εικόνα 6: Δυνάμεις που ασκούνται κατά την κίνηση οχήματος	51
Εικόνα 7: Δυνάμεις που ασκούνται κατά την κίνηση του οχήματος σε κατωφέρεια	55
Εικόνα 8: Διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη από Google Earth.....	75
Εικόνα 9: Φύλλο συλλογής δεδομένων και υπολογισμών Microsoft Excel ...	77

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μεταφορά αγαθών στην Ελλάδα με κάθε μέσο από το 1990 (δισ τόνο-χιλιόμετρα).....	16
Πίνακας 2: Μεταφορά εμπορευμάτων στην ΕΕ – 27 με κάθε μέσο από το 1990 (δισ τόνο-χιλιόμετρα)	17
Πίνακας 3: Πίνακας τιμών IRI οδοστρώματος	37
Πίνακας 4: Απαιτούμενα δεδομένα εισόδου διαδικτυακών εφαρμογών	49
Πίνακας 5: Αποτελέσματα υπολογισμού με διαδικτυακά μοντέλα για τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη.....	49
Πίνακας 6: Ελάχιστη κλίση οδού για μηδενισμό κατανάλωσης σε κατωφέρεια ανάλογα με μικτή μάζα οχήματος και ταχύτητα κίνησης.....	56
Πίνακας 7: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές της ταχύτητας.....	57
Πίνακας 8: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές του μικτού βάρους.....	60
Πίνακας 9: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές της κλίσης	62
Πίνακας 10: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές του πλήθους των στάσεων	65
Πίνακας 11: Κατανάλωση (l/100km) συναρτήσει της ταχύτητας για διάφορες τιμές της κλίσης.....	67
Πίνακας 12: Κατανάλωση (l/100km) συναρτήσει της ταχύτητας για διάφορες τιμές του μικτού βάρους	68
Πίνακας 13: Κατανάλωση (l/100km) συναρτήσει του μικτού βάρους για διάφορες τιμές της κλίσης	69
Πίνακας 14: Διαστάσεις πρότυπων εμπορευματοκιβωτίων	77

Πίνακας 15: Πλήθος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #1	78
Πίνακας 16: Πλήθος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #2	79
Πίνακας 17: Πλήθος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #3	79
Πίνακας 18: Βάρος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #1	79
Πίνακας 19: Βάρος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #2	80
Πίνακας 20: Βάρος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #3	80
Πίνακας 21: Κατανάλωση καυσίμου για τη μεταφορά κάθε ε/κ	81
Πίνακας 22: Κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές αερίων Σεναρίου #1	82
Πίνακας 23: Κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές αερίων Σεναρίου #2	83
Πίνακας 24: Κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές αερίων Σεναρίου #3	84
Πίνακας 25: Συγκεντρωτικός πίνακας διαδρομής Αθήνα – Θεσσαλονίκη κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμου για όχημα μικτού βάρους 42tn	90

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Μεταφορά αγαθών εντός ΕΕ με κάθε μέσο μεταφοράς από το 1990 έως το 2025 (σε δις τόνο-χιλιόμετρα)	13
Γράφημα 2: Μέση κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος από το 1967 έως το 2006	20
Γράφημα 3: Μετρήσεις ORNL για οικονομία καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα για διαφορετικά βάρη οχήματος σε ανηφορικό οδόστρωμα	23
Γράφημα 4: Μετρήσεις ORNL για οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος του οχήματος για διαφορετικές ταχύτητες σε ανηφορικό οδόστρωμα	23
Γράφημα 5: Κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τις στάσεις για όχημα κινούμενο με ταχύτητα 50 km/h	25
Γράφημα 6: Κατανάλωση – ταχύτητα για διάφορα βάρη	27
Γράφημα 7: Οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος για οχήματα 340 και 380 ίππων σύμφωνα με τις μετρήσεις του Βρετανικού Υπουργείου Συγκοινωνιών	29
Γράφημα 8: Οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος για οχήματα διαφορετικών κατηγοριών βάρους σύμφωνα με τις μετρήσεις του Βρετανικού Υπουργείου Συγκοινωνιών.....	30
Γράφημα 9: Μετρήσεις ORNL για οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος του οχήματος για διαφορετικές ταχύτητες	31
Γράφημα 10: Οικονομία καυσίμου για τους δύο τύπους οδοστρώματος	38
Γράφημα 11: Μέση κατανάλωση για κάθε πρότυπο Euro X	42
Γράφημα 12: Σύγκριση οχημάτων τεχνολογίας Euro 3 με οχήματα Euro 4 ..	43
Γράφημα 13: Οικονομία καυσίμου μοντέλων οχημάτων πριν και μετά το 2010.....	44
Γράφημα 14: Οικονομία καυσίμου οχήματος με την πάροδο του χρόνου	44

Γράφημα 15: Ενέργεια έλξης σε περίπτωση μεγάλης και μικρής κλίσης οδοστρώματος	52
Γράφημα 16: Σχέση ενέργειας έλξης και κατανάλωσης καυσίμου	53
Γράφημα 17: Ελάχιστη κλίση οδού για μηδενική κατανάλωση συναρτήσει της ταχύτητας για διάφορες τιμές της μισκής μάζας	56
Γράφημα 18: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – ταχύτητας σύμφωνα με το μοντέλο ORNL για κλίση με 0% και μισκό βάρος 35tn.....	58
Γράφημα 19: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει της ταχύτητας για κλίση 0% και μισκό βάρος 35tn	58
Γράφημα 20: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις ως προς την επιρροή της ταχύτητας.....	59
Γράφημα 21: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – μισκού βάρους σύμφωνα με μοντέλο ORNL για κλίση 0% και ταχύτητα 85km/h.....	60
Γράφημα 22: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει του μισκού βάρους για κλίση 0% και ταχύτητα 85km/h ...	61
Γράφημα 23: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις ως προς την επιρροή του μισκού βάρους.....	62
Γράφημα 24: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – κλίσης οδού σύμφωνα με μοντέλο ORNL για μισκό βάρος 35tn και ταχύτητα 85km/h	63
Γράφημα 25: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει της κλίσης για μισκό βάρος 35tn και ταχύτητα 85km/h....	63
Γράφημα 26: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις ως προς την κίνηση σε ανηφορικό οδόστρωμα για διάφορες τιμές της ταχύτητας συναρτήσει του μεταφερόμενου καθαρού βάρους.....	64
Γράφημα 27: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – στάσεων σύμφωνα με το μοντέλο ORNL για κλίση 0%, μισκό βάρος 35tn και ταχύτητα 85km/h	65

Γράφημα 28: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει του αριθμού των στάσεων για κλίση 0%, μικό βάρος 35tn και ταχύτητα 85km/h	66
Γράφημα 29: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις ως προς τον αριθμό των στάσεων, για ταχύτητα κίνησης 50km/h	66
Γράφημα 30: Κατανάλωση – ταχύτητα για διάφορες κλίσεις	67
Γράφημα 31: Κατανάλωση – ταχύτητα για διάφορα βάρη	68
Γράφημα 32: Κατανάλωση – βάρος για διάφορες κλίσεις.....	69
Γράφημα 33: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του συντελεστή τριβής για ταχύτητα 85km/h, κλίση 0% και μικό βάρος 35tn.....	70
Γράφημα 34: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του καθαρού βάρους των αγαθών Σεναρίου #1	82
Γράφημα 35: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του καθαρού βάρους των αγαθών Σεναρίου #2	83
Γράφημα 36: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του καθαρού βάρους των αγαθών Σεναρίου #3	84
Γράφημα 37: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς Σενάριο #1 (συνήθης μίξη φορτίων).....	85
Γράφημα 38: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς Σενάριο #2 (ελαφριά φορτία)	86
Γράφημα 39: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς Σενάριο #3 (βαριά φορτία)	86
Γράφημα 40: Σύγκριση μοντέλου ORNL με διαδικτυακές εφαρμογές για τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη.....	88

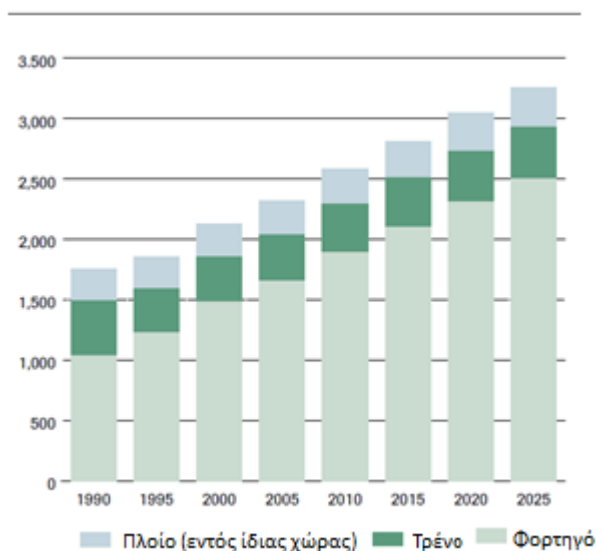
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

1.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Η ποιότητα των μεταφορών παίζει έναν πάρα πολύ σημαντικό ρόλο στην οικονομία μιας χώρας. Αποτελούν οι ίδιες μεταφορές πηγή εσόδων (μέσω της φορολόγησης), ευνοούν την ανάπτυξη της επιχειρηματικότητας, εξοικονομούν χρόνο που μπορεί να αξιοποιηθεί παραγωγικά, δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας και, εν τέλει, συνεισφέρουν σε ποσοστό 10% στο ΑΕΠ μιας χώρας [1].

Οι μεταφορές μπορεί να αφορούν ανθρώπους ή προϊόντα. Οι μεταφορές των προϊόντων μπορεί να είναι θαλάσσιες, αεροπορικές, οδικές ή σιδηροδρομικές. Διάφοροι παράγοντες επιδρούν στην επιλογή του τρόπου μεταφοράς. Για παράδειγμα, για τη μεταφορά προϊόντων μεταξύ δύο χωρών επιλέγεται θαλάσσια (ως πιο οικονομική) ή αεροπορική (ως πιο γρήγορη) μεταφορά, ενώ δεν πρέπει να αποκλειστεί και οδική ή σιδηροδρομική μεταφορά (πιθανώς για λόγους που θα σχετίζονται και με τη γεωγραφία της περιοχής), όπως γίνεται μεταξύ χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Εκτός από την περίπτωση των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι χερσαίες μεταφορές κυριαρχούν στην περίπτωση της μεταφοράς προϊόντων από και προς μεγάλα εμπορικά κέντρα. Δηλαδή στη διανομή των προϊόντων εντός μιας χώρας. Μάλιστα, οι οδικές μεταφορές είναι αυτές που επιλέγονται στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων.



Γράφημα 1: Μεταφορά αγαθών εντός ΕΕ με κάθε μέσο μεταφοράς από το 1990 έως το 2025 (σε δισεκατομμύρια τόνο-χιλιόμετρα) [11]

1.2 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΗΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση για να εξασφαλίσει την ασφαλέστερη κυκλοφορία των φορτηγών και για να μειώσει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, έχει επιβάλει με οδηγίες της την τυποποίηση των οχημάτων που επιτρέπεται να κυκλοφορούν στους δρόμους της. Αυτό αφορά τόσο τις διαστάσεις των φορτηγών, όσο και το βάρος τους, την εκπομπή καυσαερίων καθώς και τη διάταξη του ρυμουλκούμενου, αν υπάρχει.

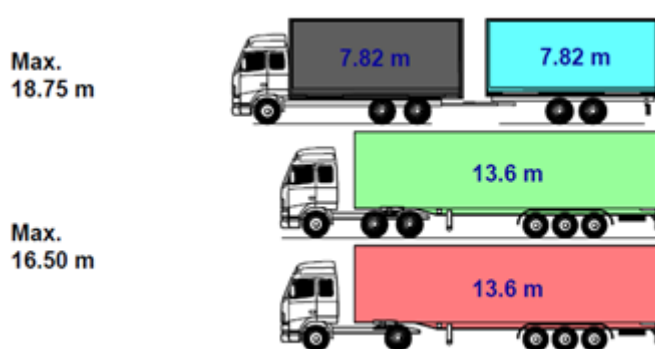
Αναλυτικά, η ισχύουσα αυτή τη στιγμή νομοθεσία ορίζει τις κατηγορίες των φορτηγών οχημάτων ως εξής [2], [38]:

- Βαρύ όχημα, αυτό με μικτό βάρος >3,5 tn
- Οχήματα με βάρος 7,5 και 12 tn, που αποτελούν και βαθμίδες για δίπλωμα οδήγησης
- Βαρύ φορτηγό, κάθε όχημα με βάρος μεγαλύτερο των 16 tn.
- 25/26 tn, όριο για όχημα χωρίς ρυμουλκούμενο
- 36 tn, όχημα με λιγότερους από 5 άξονες
- 44 tn, για όχημα με 5 ή παραπάνω άξονες.

Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος καθορίζεται από τη διάταξη που ακολουθείται, δηλαδή την ύπαρξη ή όχι ρυμουλκούμενου. Συγκεκριμένα:

- Συμπαγές όχημα: μήκος έως 12 μέτρα
- Αρθρωτό όχημα με ένα ρυμουλκούμενο: μήκος έως 16,5 μέτρα, με μήκος ρυμουλκούμενου έως 13,6 μέτρα
- Οδικός συρμός με δύο ρυμουλκούμενα: συνολικό μήκος 18,75 μέτρα, με ρυμουλκούμενα μήκους έως 7,8 μέτρα έκαστο.

Ακόμα, η μέγιστη ταχύτητα κίνησης των βαρέων οχημάτων ορίζεται στα 90 km/h.



Εικόνα 1: Νόμιμο μήκος διατάξεων φορτηγών στην ΕΕ [38]

Η σχέση των αξόνων με το βάρος του οχήματος για νόμιμα φορτηγά εντός της ΕΕ είναι η εξής:

- Όχημα 2 αξόνων: μικτό βάρος έως 18 tn
- Όχημα 3 αξόνων: έως 26 tn

- Όχημα με ρυμουλκούμενο έως 4 αξόνων: έως 36 tn
- Όχημα με ρυμουλκούμενο 5 ή παραπάνω αξόνων: έως 44 tn

Το μέγιστο βάρος των 44 τόνων αναφέρεται σε πρότυπη παλέτα ISO 40 ποδιών. Αλλιώς το όριο είναι 40 τόνοι.

Το μέγιστο πλάτος είναι 2,55 και 2,60 υπό κάποιες συνθήκες (υπερκατασκευή κλιματισμού), ενώ το μέγιστο ύψος 4 μέτρα.

1.3 ΟΙ ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Για να εισέλθει κάποιος στο επάγγελμα του οδικού μεταφορέα πρέπει να του χορηγηθεί άδεια για Δημοσίας Χρήσεως Φορτηγό Αυτοκίνητο. Αυτές οι άδειες αφορούν φορτηγά που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για μεταφορές τρίτων έναντι κομίστρου. Στον αντίποδα, υπάρχουν και οι άδειες Ιδιωτικής Χρήσεως, για οχήματα που χρησιμοποιούνται μόνο για λογαριασμό των κατόχων τους.

Στην Ελλάδα, μέχρι το 2010 το κράτος αποφάσιζε για το πλήθος των αδειών ΔΧΦΑ, με διαδικασίες που δεν ήταν πάντα διαφανείς. Δεν εξηγείται αλλιώς η μη αύξηση του αριθμού τους από το 1976, παρά την κατακόρυφη αύξηση των μεταφορών. Εικάζεται ότι υπάρχει ένα καθεστώς προστατευτισμού υπέρ όσων κατείχαν ήδη το 1976 άδειες, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με το συμφέρον του κοινωνικού συνόλου και πλήττει την οικονομία της χώρας. Στις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες, καθώς και στις περισσότερες του ανεπτυγμένου και αναπτυσσόμενου κόσμου, το κράτος δεν καθορίζει τον αριθμό των αδειών και η παρέμβασή του στον κλάδο αφορά αποκλειστικά θέματα ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος.

Οι άδειες ΔΧΦΑ χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τις διαδρομές που επιτρέπεται να κάνει ο ιδιοκτήτης τους. Οι Νομαρχιακές άδειες αφορούν μεταφορές εντός κάποιου νομού, οι Εθνικές εντός της χώρας και οι Διεθνείς αφορούν μεταφορές από μια χώρα σε άλλες. Για την καθεμιά ο κάτοχος πληρώνει το ανάλογο κόμιστρο. Ένα παράδοξο ακόμα της Ελληνικής νομοθεσίας είναι πως φορτηγά που έχουν πιστοποιηθεί για διεθνείς μεταφορές δεν επιτρέπεται να κάνουν μεταφορά σε εθνικό επίπεδο.

Το 2010 νομοθετήθηκε, μετά από πιέσεις από το εξωτερικό και εν μέσω αντιδράσεων από τους επαγγελματίες του κλάδου, η απελευθέρωση του επαγγέλματος. Ωστόσο δεν είχε ουσιαστικά αποτελέσματα, μιας και λόγω των εμποδίων που τέθηκαν στους νεοεισερχόμενους (γραφειοκρατία, υψηλό κόστος απόκτησης) οι άδειες που εκδόθηκαν από τότε και μετά ήταν λίγο περισσότερες από 60. Συγκεκριμένα, ενώ στους παλιούς κατόχους τέθηκε ως προϋπόθεση διατήρησης της άδειάς τους η συμμόρφωση με τον περιορισμό των εκπομπών EURO 4 (του 2005), στους νέους απαιτήθηκε συμμόρφωση στο EURO 5 (2008-2009), μία σειρά από δικαιολογητικά και εγγυητική επιστολή. [36]

Θα μπορούσαν λοιπόν να ειπωθούν πολλά για το «κλειστό» επάγγελμα του οδικού μεταφορέα στην Ελλάδα και για τις στρεβλώσεις της Ελληνικής νομοθεσίας, ωστόσο δεν είναι απαραίτητο. Αυτό που αξίζει να τονιστεί είναι πως το ισχύον καθεστώς δεν επιτρέπει τον ανταγωνισμό στον κλάδο, με επιπτώσεις στην παραγωγικότητά του, στην ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων που χρησιμοποιούν οδικές μεταφορές, στην κοινωνία και στο περιβάλλον, μιας και δεν ανανεώνεται ο στόλος των οχημάτων. Ακόμα υπονομεύει και τις προοπτικές της χώρας να εξελιχθεί, λόγω και της θέσης της, σε μεγάλη εμπορική-μεταφορική δύναμη στην Ευρώπη.

Στην Ελλάδα, λόγω της γεωγραφικής θέσης της χώρας που την καθιστά βασικό συνδετικό κρίκο της Βόρειας Ευρώπης με τις χώρες της ΝΑ Ευρώπης, της Ασίας, της Αφρικής και της Ανατολικής Μεσογείου, ο κλάδος των Οδικών Εμπορευματικών Μεταφορών (OEM) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ελληνική οικονομία. Η θέση αυτή δίνει στην Ελλάδα τη δυνατότητα να λειτουργήσει ως διαμετακομιστικό κέντρο στο εμπόριο μεταξύ των ανωτέρω χωρών με τη συμβολή και των βασικών της λιμένων [36].

Επιπλέον, οι OEM πλεονεκτούν στην Ελλάδα λόγω και της ορεινής μορφολογίας του εδάφους της και του συνεπαγόμενου περιορισμένου ρόλου των σιδηροδρομικών μεταφορών της χώρας. Οι OEM, γενικότερα, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους και της μεγάλης ευελιξίας και αναπτύσσονται ταχύτατα σε όλες τις χώρες, συνεπικουρούμενες και από την ταχεία ανάπτυξη του οδικού δικτύου.

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του 2007, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα, στις αρχές της δεκαετίας του '90, το 63,5% των μεταφορών γίνονταν με φορτηγό, ποσοστό που το 2010 θα ξεπερνούσε το 68%. Μάλιστα υπήρχαν προβλέψεις ότι αυτή η αύξηση θα συνεχιζόταν με ετήσιο ρυθμό 2% μέχρι το 2030. Τα στοιχεία αυτά αναθεωρήθηκαν μετά το ξέσπασμα της οικονομικής κρίσης, χωρίς ωστόσο ο κλάδος να χάνει τα πρωτεία. Στην υπόλοιπη Ευρώπη οι τάσεις ήταν επίσης αυξητικές αν και λιγότερο ισχυρές.

	1990	1995	2000	2005	2010	2020	2030	Μέση ετήσιο % μεταβολή 2005/1990	Μέση ετήσιο % μεταβολή 2005/1995	Μέση ετήσιο % μεταβολή 2010/2005	Μέση ετήσιο % μεταβολή 2030/2005
Με Φορτηγό	12,5	14,6	17,6	22,0	26,0	32,8	37,8	3,8%	4,2%	3,4%	2,2%
Με Σιδηρόδρομο	0,6	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	0,0%	7,2%	5,9%	2,8%
Ακτοπλοϊκώς	6,6	7,1	8,7	10,1	11,4	12,6	14,1	2,9%	3,6%	2,5%	1,3%
Σύνολο	19,7	22,0	26,7	32,7	38,2	46,4	53,1	3,4%	4,0%	3,2%	2,0%
Μερίδιο ΦΑ (%)	63,5	66,4	65,9	67,3	68,1	70,7	71,2				

Πίνακας 1: Μεταφορά αγαθών στην Ελλάδα με κάθε μέσο από το 1990 (δισ τόνο-χιλιόμετρα) [36]

	1990	1995	2000	2005	2010	2020	2030	Μέση ετήσια % μεταβολή 2005/1990	Μέση ετήσια % μεταβολή 2005/1995	Μέση ετήσια % μεταβολή 2010/2005	Μέση ετήσια % μεταβολή 2030/2005
Με Φορτηγά	1.096,9	1.279,3	1.507,5	1.790,0	2.046,3	2.485,6	2.803,0	3,3%	3,4%	2,7%	1,8%
Με Σιδηρόδρομο	524,8	385,0	396,1	393,9	427,2	504,6	558,9	-1,9%	0,2%	1,6%	1,4%
Ακτοπλοϊκώς	257,2	264,7	271,3	280,1	294,2	331,3	355,3	0,6%	0,6%	1,0%	1,0%
Σύνολο	1.878,9	1.929,0	2.174,9	2.464,0	2.768,7	3.321,5	3.717,2	1,8%	2,5%	2,4%	1,7%
Μερίδιο ΦΑ (%)	58,4	66,3	69,3	72,6	74,0	74,8	75,4				

Πίνακας 2: Μεταφορά εμπορευμάτων στην ΕΕ-27 με κάθε μέσο από το 1990 (δix τόνο-χιλιόμετρα) [36]

1.4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ

Η κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού αποτελεί πολύ κρίσιμο παράγοντα, διότι το καύσιμο αποτελεί το 40% του συνολικού κόστους ενός στόλου οχημάτων [4]. Ένας ακόμα βασικός λόγος που μελετάται η κατανάλωση καυσίμου είναι η προστασία του περιβάλλοντος, μιας και συνδέεται άμεσα με τις βλαβερές εκπομπές αερίων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου είναι πάρα πολλοί. Η διακύμανση της τιμής των σπουδαιότερων από αυτούς, όπως π.χ. της ταχύτητας κίνησης και του βάρους του φορτίου, μπορεί να μεταβάλλει σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση καυσίμου.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση θεμάτων που έχουν σχέση με τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στην κατανάλωση καυσίμου οδικών οχημάτων. Ο σκοπός της εργασίας είναι να επιλεγεί τελικά ένα μοντέλο για τον υπολογισμό της κατανάλωσης, με βάση το οποίο θα γίνει και διερεύνηση των παραμέτρων. Ακόμα να υπολογιστεί η κατανάλωση καυσίμου για τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη και να συγκριθεί με αυτή της σιδηροδρομικής μεταφοράς.

1.5 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας είναι εισαγωγικό και αναφέρεται στη σπουδαιότητα των μεταφορών και ιδιαίτερα των οδικών. Στη συνέχεια περιγράφεται το νομοθετικό πλαίσιο που τις διέπει και ο σκοπός εκπόνησης της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη βιβλιογραφική επισκόπηση όσον αφορά τον τρόπο που διάφοροι παράγοντες επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου, καθώς και την παρουσίαση κάποιων μοντέλων υπολογισμού της κατανάλωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά οι σχέσεις υπολογισμού του μοντέλου που επιλέχθηκε, καθώς και η επεξήγηση της μεθοδολογίας που ακολουθείται. Ακόμα γίνεται ο έλεγχος εγκυρότητας των σχέσεων αυτών.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου για τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα της σιδηροδρομικής μεταφοράς.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα συμπεράσματα, οι εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα και, τέλος, η βιβλιογραφία.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Όλη η ενέργεια που χρησιμοποιεί το φορτηγό τόσο για την κίνησή του όσο και για άλλες λειτουργίες (π.χ. θέρμανση) παράγεται από το καύσιμο που υπάρχει αποθηκευμένο στη δεξαμενή. Η θερμότητα που εκπέμπει η μηχανή, τα φώτα πορείας, ο κλιματισμός, η κίνηση του οχήματος, τα φώτα στα όργανα του ταμπλό, ακόμα και ο θόρυβος που ακούγεται είναι όλα αποτελέσματα της μετατροπής του πετρελαίου σε ενέργεια.

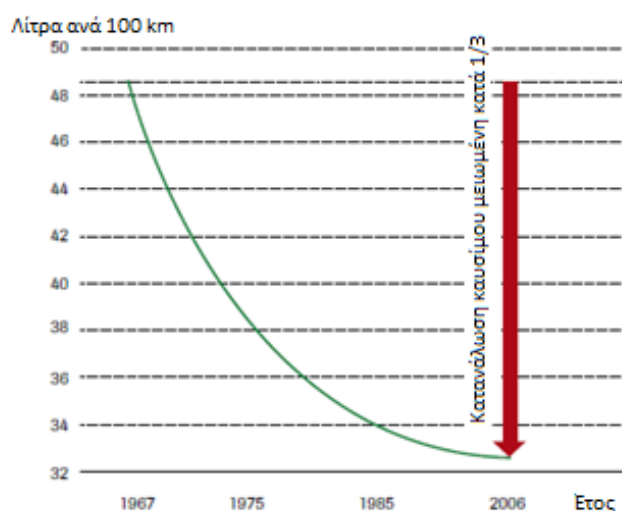
Η λειτουργία μιας μηχανής εσωτερικής καύσης (όπως είναι ο πετρελαιοκινητήρας και ο βενζινοκινητήρας) βασίζεται στην παραγωγή σπινθήρα καθώς ένα έμβολο συμπιέζει την καύσιμη ύλη παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα σε ένα θάλαμο. Η καύση του καυσίμου που συντελείται εκλύει ενέργεια που μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια στο σύστημα κίνησης του οχήματος.

Η μεγάλη πλειοψηφία των φορτηγών χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο (σε ποσοστό πάνω από 75%). Από 'κει και πέρα, υπάρχουν και φορτηγά με βενζινοκινητήρα, αλλά πρόκειται για τα μικρότερου βάρους οχήματα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των δύο είναι ότι είναι πολύ διαδεδομένα και άρα εύκολο να βρεθούν οπουδήποτε. Το πετρέλαιο είναι πιο οικονομικό, γι' αυτό και υπερτερεί έναντι της βενζίνης. Πρόσφατα άρχισαν να χρησιμοποιούνται ως καύσιμα και το φυσικό αέριο και το βιοκαύσιμο. Αυτά είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον, ωστόσο η αποδοτικότητά τους σε σχέση με το πετρέλαιο είναι μικρή και το μεγαλύτερο κόστος τους τα αφήνει για την ώρα πιο χαμηλά στις προτιμήσεις.

Το μέλλον αναμένεται να φέρει και περισσότερα ηλεκτροκίνητα φορτηγά (ήδη υπάρχει έστω και περιορισμένη χρήση τους), των οποίων οι εκπομπές στο περιβάλλον είναι μηδενικές. Προς το παρόν η ανάγκη τους για συχνή φόρτιση και η μικρή αυτονομία τους δεν επιτρέπει τη χρήση τους σε τυπικά ταξίδια ενός φορτηγού. Ένα υβριδικό όχημα (ηλεκτρο- και βενζινοκίνητο) θα μπορούσε να αποτελέσει μια ενδιάμεση λύση.

Η μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη είναι τα λίτρα καυσίμου που καταναλώθηκαν ανά 100 χιλιόμετρα (l/100km). Στις ΗΠΑ και στη Βρετανία χρησιμοποιούν περισσότερο τα μίλια ανά γαλόνι (mpg). Η αμερικανική μονάδα μέτρησης θα μπορούσε να ταυτιστεί με την περισσότερη Ευρωπαϊκή km/l, δηλαδή τα χιλιόμετρα που μπορεί να διανύσει ένα φορτηγό με ένα λίτρο πετρέλαιο. Με άλλα λόγια, οι δύο μονάδες είναι αντίστροφες. Όταν μειώνεται η τιμή της κατανάλωσης σε l/100km τότε αυξάνεται η αντίστοιχη σε mpg. Γι' αυτό το λόγο, ενώ η πρώτη αναφέρεται ως μονάδα κατανάλωσης, η δεύτερη είναι μονάδα «οικονομίας». Η ακριβής μεταξύ τους αντιστοιχία είναι: $l/100km = 235/mpg$.

Η μέχρι τώρα εμπειρία [9] έχει δείξει ότι η κατανάλωση καυσίμου των φορτηγών για συνήθεις συνθήκες φορτίου, ταχύτητας κ.τ.λ. κυμαίνεται μεταξύ 30 και 35 l/100km (7.8-6.7 mpg). Η τιμή αυτή ισούται περίπου με την τριπλάσια ενός τυπικού ΙΧ οχήματος. Η αντίστοιχη τιμή τη δεκαετία του 1960 ήταν πάνω από 48 l/100km, παρατηρείται δηλαδή μια μείωση της τάξης του 33% τα τελευταία 50 χρόνια. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η μείωση θα ήταν ακόμα περισσότερο εντυπωσιακή, αν οι κανονισμοί που έχει επιβάλλει η ΕΕ για τις εκπομπές της εξάτμισης ήταν λιγότερο αυστηροί. Αν δηλαδή ένα όχημα δε συμμορφωνόταν στους κανονισμούς αυτούς θα μπορούσε να επιτύχει μικρότερη κατανάλωση κατά 8-10% [9].



Γράφημα 2: Μέση κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος από το 1967 έως το 2006 [9]

Ο μακροπρόθεσμος στόχος για τους κατασκευαστές βαρέων οχημάτων είναι η μέση τιμή της κατανάλωσης να προσεγγίσει τα 20 l/100km. Αυτό μέχρι στιγμής έχει επιτευχθεί μόνο μία φορά. Πρόκειται για διαδρομές που έγιναν στην πίστα δοκιμών Prototipo στην πόλη Nardo της Ιταλίας το 2008 με δύο οχήματα Mercedes Actros τα οποία κινούνταν ασταμάτητα για επτά συνεχόμενες ημέρες. Η συνολική απόσταση που καλύφθηκε ήταν πάνω από 12700 χιλιόμετρα με μέση ταχύτητα 80 km/h και ωφέλιμο φορτίο 25 τόνους (μικτό βάρος 40 τόνους).

Μετά τη λήξη των δοκιμών, οι μετρητές έγραφαν 19,44 l/100km. Φυσικά η οδήγηση έγινε κάτω από ιδανικές συνθήκες, σε πίστα αυτοκινητοδρόμου με άριστης ποιότητας οδόστρωμα, χωρίς φρεναρίσματα, μειωμένη αντίσταση αέρα, χρήση φαρδιών μονών ελαστικών και cruise control. Οι κατασκευαστές αναφέρουν πως σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης η αντίστοιχη τιμή θα είναι από 30-35 l/100km. Αυτό βέβαια δε μειώνει την επιτυχία του εγχειρήματος, που κέρδισε και μια θέση στο βιβλίο Γκίνες. [4]

Το πείραμα αυτό αποδεικνύει ότι ο στόχος των 20 l/100km δεν είναι ανέφικτος και η πρόοδος της αυτοκινητοβιομηχανίας και της τεχνολογίας τον φέρνει ακόμα πιο κοντά.

Κατά τη διαδικασία της καύσης στον κινητήρα ενός οχήματος παράγονται αέρια που ελευθερώνονται στο περιβάλλον. Κάποια από αυτά προκαλούν ανεπανόρθωτες ζημιές ή επηρεάζουν αρνητικά το φυσικό περιβάλλον, απειλώντας έμμεσα τη ζωή του ανθρώπου.

Μερικές από αυτές τις χημικές ουσίες είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, ενώσεις του μολύβδου, άλλα βαρέα μέταλλα και υδρογονάνθρακες που έχουν πολλές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία.

Επομένως, ένας ακόμα λόγος που μελετάται η κατανάλωση καυσίμου είναι οι επιπτώσεις που αυτή έχει στο περιβάλλον. Η μείωση της κατανάλωσης θα οδηγούσε και στη μείωση των εκπομπών, ενώ η χρήση νεότερης γενιάς καυσίμων στην εξάλειψή τους.

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές προέρχονται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η οριστική λύση σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν να αντικατασταθούν από άλλες μορφές ενέργειας. Μέχρι τότε όμως, θα πρέπει να γίνεται η χρήση τους με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σύνεση και φειδώ.

Υπολογίζεται ότι σχεδόν το 1/3 της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση αφορά τις μεταφορές. Επιπλέον, ότι η ζήτηση για μεταφορές αυξάνεται, με συνέπεια η αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας να αγγίζει το 45% από το 1980, μεγαλύτερη από κάθε άλλο κλάδο [19]. Το γεγονός αυτό δείχνει αν μη τι άλλο την τεράστια σημασία των μεταφορών σε μια εξελισσόμενη κοινωνία. Επίσης όμως καθιστά επιβεβλημένη την έρευνα και την προσπάθεια για μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε όλα τα μεταφορικά μέσα, καθώς και τη στροφή σε φιλικότερες προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας.

Η προσπάθεια αυτή για ενημέρωση και οι αυστηροί νόμοι από πλευράς της ΕΕ φαίνεται ότι έχουν αποδώσει καρπούς. Με την τεράστια ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας όσον αφορά την τεχνολογία των κινητήρων, εκτός από τη μείωση στην κατανάλωση, μειώθηκαν και οι βλαβερές εκπομπές. Συγκεκριμένα κατά 88% του CO, 55% των υδρογονανθράκων, ενώ τα οξείδια του αζώτου μειώθηκαν κατά 97%. Οι τιμές αυτές αφορούν τη μείωση από το 1990 και την έκδοση των οδηγιών EURO 0 και EURO 1. [9]

Κατασκευαστές οχημάτων και επιστήμονες συγκοινωνιολόγοι είτε μηχανολόγοι μηχανικοί έχουν καταπιαστεί κατά καιρούς με το θέμα της κατανάλωσης καυσίμου. Οι έρευνές τους, εκτός από τον υπολογισμό της ίδιας της κατανάλωσης, έχουν εστιαστεί κυρίως στην κατανόηση του τρόπου που διαφορετικοί παράγοντες την επηρεάζουν, έτσι ώστε να προταθούν λύσεις για τη μείωσή της. Ακόμα, γνωρίζοντας αυτές τις πληροφορίες, συμβουλεύουν και τους χρήστες των οχημάτων για το πώς να τα εκμεταλλεύονται πιο αποδοτικά.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου και συνοπτικά κάποιες από τις σημαντικότερες έρευνες των τελευταίων ετών, με έμφαση στα σημεία που αφορούν περισσότερο το θέμα της συγκεκριμένης εργασίας.

2.2 ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΥ

Η κλίση της οδού είναι ένας παράγοντας που μπορεί να αλλάξει άρδην την κατανάλωση καυσίμου σε ένα όχημα. Αιτία γι' αυτό είναι πως ο τρόπος οδήγησης, αλλά και ο τρόπος λειτουργίας της μηχανής είναι τελείως διαφορετικός σε περίπτωση ανηφορικής ή κατηφορικής οδού, απ' ό, τι σε επίπεδη. Από δυναμικής άποψης, η μηχανή του οχήματος έχει να υπερνικήσει μία επιπλέον δύναμη, τη βαρυτική, σε περίπτωση ανηφορικού εδάφους. Αντίθετα, σε περίπτωση κατηφορικού εδάφους η δύναμη της βαρύτητας διευκολύνει την κίνηση του οχήματος.

Όταν ένα όχημα κινείται σε ανηφόρα, ο οδηγός είναι αναγκασμένος να πατά το γκάζι περισσότερο σε σχέση με το συνηθισμένο για να κρατήσει σταθερή την ταχύτητα του οχήματός του. Αυτό από μόνο του σημαίνει περισσότερη κατανάλωση, μιας και συνεπάγεται λειτουργία της μηχανής σε περισσότερες στροφές. Επιπροσθέτως, αν η κλίση είναι μεγαλύτερη από 3-4% υπάρχει πιθανότητα ο οδηγός να αναγκαστεί να κατεβάσει τη σχέση μετάδοσης, κάτι που επίσης έχει σοβαρή επίπτωση στην οικονομία καυσίμου. Σύμφωνα με μετρήσεις του αμερικανικού εργαστηρίου ORNL (που θα παρουσιαστούν πιο αναλυτικά στη συνέχεια), η αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου μπορεί να ξεπεράσει το 100% σε ανηφορικό οδόστρωμα. [23]

Αντίθετα η κίνηση σε κατηφορικό έδαφος μειώνει την κατανάλωση καυσίμου. Σε περιπτώσεις μάλιστα μικρής κλίσης (έως 2%), το όχημα κινείται μόνο με την επίδραση του βάρους του και της αρχικής του ταχύτητας και μπορεί να θεωρηθεί πως η κατανάλωση καυσίμου μηδενίζεται.

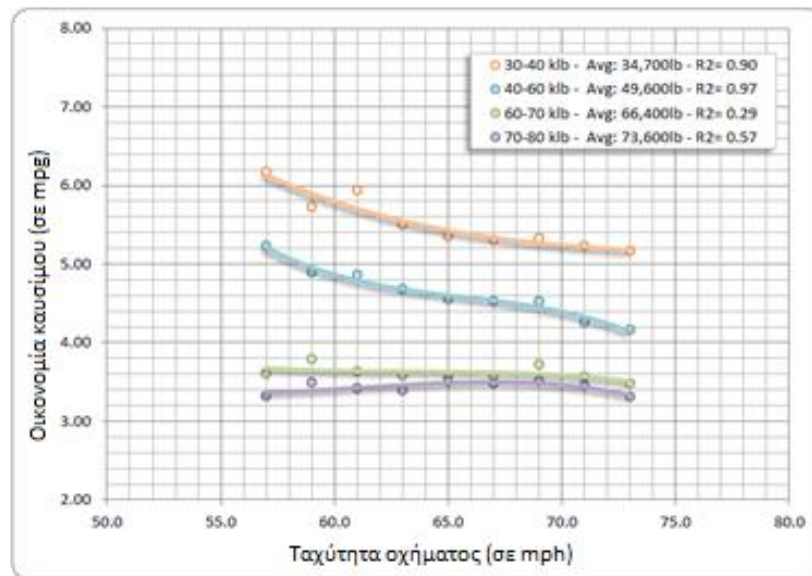
Στους μεγαλύτερους αυτοκινητοδρόμους στην Ελλάδα και παγκοσμίως, η κλίση του οδοστρώματος δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 7-8%, ενώ σπάνια συναντά κανείς κλίση πάνω από 4%. Τα φορτηγά κινούνται σχεδόν αποκλειστικά σε μεγάλους αυτοκινητοδρόμους, άρα δε συναντούν συχνά ανηφορικό έδαφος.

Το Oak Ridge National Laboratory (ORNL), είναι ένα ερευνητικό κέντρο που υπάγεται στο υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ και συνεργάζεται με το Πανεπιστήμιο του Tennessee. Σε άρθρο του που εκδόθηκε το 2011 [23] έγινε προσπάθεια για την ποσοτικοποίηση της επιρροής της ταχύτητας, του βάρους και της κλίσης του εδάφους στην κατανάλωση καυσίμου.

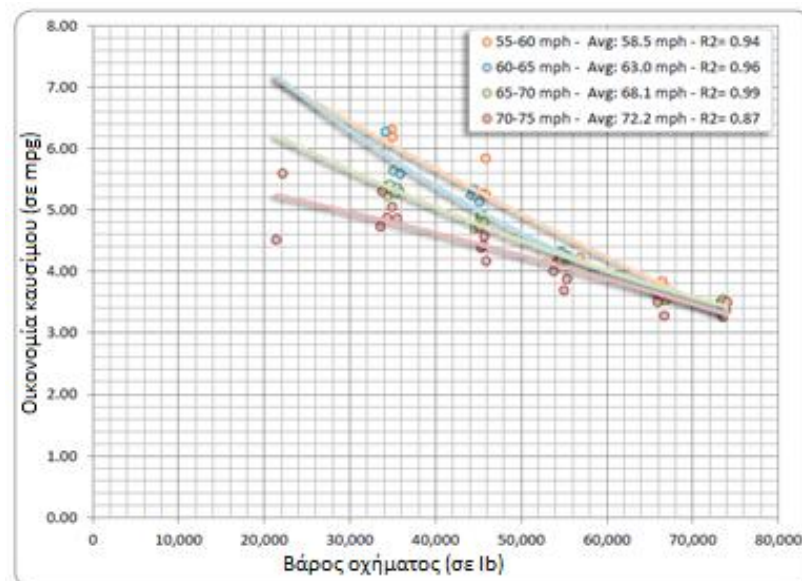
Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 140 ταξίδια σε τρεις τυπικές διαδρομές σε αυτοκινητοδρόμους των ΗΠΑ, καλύπτοντας συνολικά πάνω από 21500 χιλιόμετρα.

Οι δοκιμές έγιναν με φορτηγά class-8, που στην Ευρωπαϊκή κατάταξη αντιστοιχεί με το όχημα των 44 τόνων. Στην αρχή παρουσιάζονται οι τρεις διαδρομές και τα προφίλ ταχύτητας και κλίσης για κάθε διαδρομή. Οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν 62 φορές η πρώτη, 28 φορές η δεύτερη και 50 φορές η τρίτη, με διαφορετικά βάρη κάθε φορά.

Οι δρόμοι όπου έγιναν οι δοκιμές είχαν κλίση από -3% έως 3%. Όσον αφορά τα ανηφορικά τμήματα των διαδρομών (1-3%) οι μετρήσεις έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα:



Γράφημα 3: Μετρήσεις ORNL για οικονομία καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα για διαφορετικά βάρη οχήματος σε ανηφορικό οδόστρωμα [23]



Γράφημα 4: Μετρήσεις ORNL για οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος του οχήματος για διαφορετικές ταχύτητες σε ανηφορικό οδόστρωμα [23]

Τέλος, όσον αφορά την κατανάλωση σε κατηφορικό οδόστρωμα, αυτή, σύμφωνα με τον οργανισμό, έχει μηδενική τιμή.

2.3 ΣΤΑΣΕΙΣ

Ένα φορτηγό που κινείται εντός αστικού δικτύου, θα αναγκαστεί από τις συνθήκες κυκλοφορίας και τη σηματοδότηση να πραγματοποιήσει κάποιες στάσεις και εκκινήσεις. Επίσης, αν το όχημα κινείται σε μεγάλο αυτοκινητόδρομο (Εθνική οδός) θα κάνει υποχρεωτικά κατ' ελάχιστο τόσες στάσεις και εκκινήσεις όσοι και οι σταθμοί των διοδίων, σε περίπτωση που δε χρησιμοποιεί ο οδηγός κάποιο μηχανήμα αυτόματης χρέωσης (e-pass).

Ακόμα, τα φορτηγά πραγματοποιούν συχνά πολύ μεγάλα ταξίδια, οπότε είναι λογικό οι οδηγοί τους να πραγματοποιούν στάσεις για να ξεκουραστούν ή να ικανοποιήσουν θεμελιώδεις ανάγκες τους (φαγητό κτλ.). Από τη νομοθεσία άλλωστε επιβάλλεται ένα διάλειμμα 45 λεπτών μετά από 4,5 ώρες συνεχόμενης οδήγησης, ενώ ο μέγιστος συνολικός χρόνος οδήγησης ανά ημέρα δεν επιτρέπεται να ξεπερνά τις 9 ώρες.

Οι συχνές στάσεις όμως, αυξάνουν δραματικά την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος. Η οδήγηση σε χαμηλές σχέσεις μετάδοσης δεν επιτρέπει την αποδοτική λειτουργία της μηχανής με αποτέλεσμα το διάστημα που μεσολαβεί από την εκκίνηση του οχήματος μετά από στάση μέχρι να αναπτύξει μια (σταθερή) πιο υψηλή ταχύτητα και να σταθεροποιηθεί η λειτουργία της μηχανής η κατανάλωση καυσίμου να είναι δυσανάλογα μεγάλη.

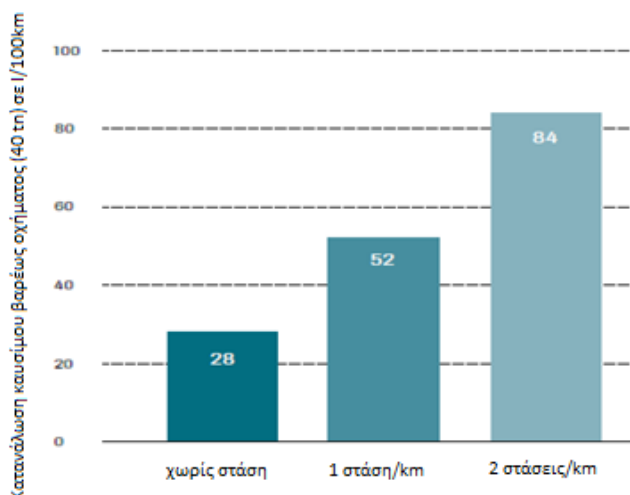
Αυτό το ζήτημα απασχόλησε τη Γερμανική Ένωση Αυτοκινητοβιομηχανίας (VDA), η οποία πρόσφατα διεξήγαγε έρευνα με σκοπό να καταδείξει τη μείωση στις εκπομπές βλαβερών αερίων από βαρέα οχήματα τις τελευταίες δεκαετίες. Επίσης, μεταξύ άλλων, ασχολήθηκαν με το φαινόμενο της πρόσθετης μόλυνσης που οφείλεται στις στάσεις των βαρέων οχημάτων, λόγω της μη πρόβλεψης για συντονισμένη σηματοδότηση και εναλλακτικών διαδρομών εντός των αστικών δικτύων.

Κάθε μία στάση που κάνει το φορτηγό συνοδεύεται και από μία επανεκκίνηση. Κατά τη διάρκεια της επανεκκίνησης το φορτηγό κινείται σε χαμηλές σχέσεις μετάδοσης και υψηλές στροφές, μέχρι να ανακτήσει την επιθυμητή ταχύτητα. Λόγω αυτού του γεγονότος, η κατανάλωση καυσίμου θα αυξηθεί κατά 86% αν πραγματοποιεί μία στάση ανά χιλιόμετρο και θα τριπλασιαστεί αν κάνει δύο στάσεις ανά χιλιόμετρο, σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν.

Το γεγονός αυτό καθιστά το φορτηγό ένα αντισυμβαλλόμενο μέσο για μεταφορά προϊόντων σε περιπτώσεις που είναι γνωστό εκ των προτέρων ότι είναι απαραίτητες οι συχνές στάσεις (π.χ. εντός αστικών περιοχών), ωστόσο, λόγω έλλειψης εναλλακτικών και μεγαλύτερης ευελιξίας, παραμένει αναγκαίο.

Ακόμα, παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη μελέτη η έννοια της κατανάλωσης σε όρους λίτρων ανά τονο-χιλιόμετρο, δηλαδή η συσχέτιση του καυσίμου με το μεταφορικό έργο.

Τονίζεται επίσης η ανάγκη εκπαίδευσης και ενημέρωσης του οδηγού σχετικά με τις ενέργειες που μειώνουν την κατανάλωση, προκειμένου να χρησιμοποιεί το όχημά του με τον πιο αποδοτικό τρόπο.



Γράφημα 5: Κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τις στάσεις για όχημα κινούμενο με ταχύτητα 50 km/h [9]

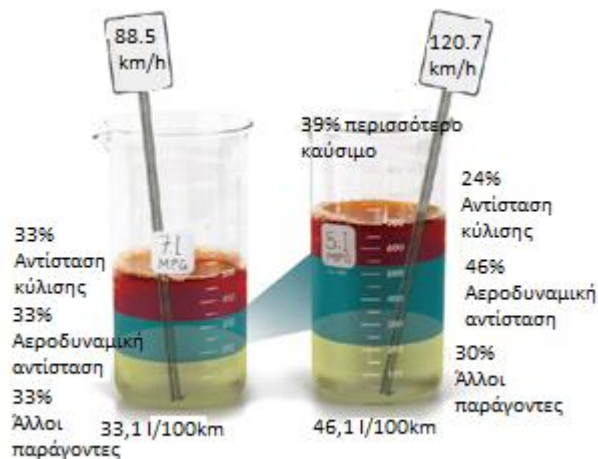
2.4 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Είναι γενικώς αποδεκτό και αποδεδειγμένο ότι η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται με τη μείωση της ταχύτητας. Στην πραγματικότητα, η βέλτιστη ταχύτητα για ένα φορτηγό είναι γύρω στα 60 km/h, ενώ ικανοποιητική θεωρείται και η κίνηση με έως 70 km/h [20]. Ωστόσο, η επίπτωση που θα έχουν τόσο χαμηλές ταχύτητες στο χρόνο του ταξιδιού της καθιστά ανποικονομικές και ανέφικτες. Στους Ευρωπαϊκούς αυτοκινητόδρομους, όπου κινείται το μεγαλύτερο ποσοστό βαρέων οχημάτων, η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι τα 90 km/h.

Η μηχανή και γενικότερα το σύστημα κίνησης του οχήματος καλείται να υπερνικήσει δύο είδη αντιστάσεων:

- **Αεροδυναμική αντίσταση:** Η αεροδυναμική αντίσταση είναι πρακτικά αμελητέα σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, όμως μετατρέπεται στο σημαντικότερο παράγοντα καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Για ταχύτητες μεγαλύτερες από 70 km/h, η αντίσταση του αέρα είναι σημαντικότερη από την αντίσταση κύλισης, καθώς ευθύνεται για σχεδόν τη μισή ενέργεια που καταναλώνεται [24]. Η αεροδυναμική αντίσταση παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου, γι' αυτό και οι κατασκευαστές προσπαθούν να βελτιώσουν την αεροδυναμική του οχήματός τους (το θέμα αυτό θα αναφερθεί πιο αναλυτικά στη συνέχεια).

- Αντίσταση κύλισης τροχών: Η αντίσταση κύλισης είναι το ποσό της έλξης που δημιουργείται στις ρόδες, καθώς το όχημα κινείται στο δρόμο. Παρ' όλο που η αντίσταση κύλισης δεν αυξάνεται τόσο γρήγορα όσο η αεροδυναμική με την αύξηση της ταχύτητας, είναι διαρκώς παρούσα και παίζει πρωτεύοντα ρόλο στις μικρότερες ταχύτητες. Το ακριβές της μέγεθος επηρεάζεται από παράγοντες όπως λ.χ. το βάρος του φορτίου.



Εικόνα 2: Επιρροή ταχύτητας στους παράγοντες κατανάλωσης καυσίμου [24]

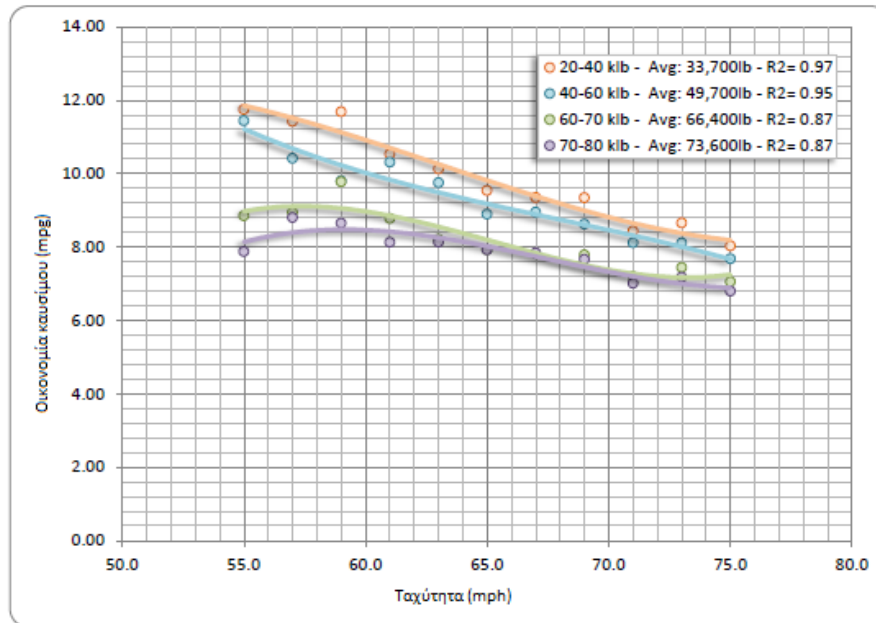
Η επιρροή της ταχύτητας στα δύο παραπάνω μεγέθη την καθιστά έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες κατανάλωσης καυσίμου.

Την επιρροή της ταχύτητας στην κατανάλωση καυσίμου προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει το Oak Ridge National Laboratory, που αναφέρθηκε και προηγουμένως [23].

Οι μετρήσεις της κατανάλωσης έγιναν για οχήματα με διαφορετικό φορτίο και διαφορετικές ταχύτητες. Για να αποσαφηνιστεί η επιρροή της ταχύτητας και μόνο, ελήφθησαν υπόψη μετρήσεις που αφορούσαν ίδια βάρη φορτίου και οχήματα ίδιου τύπου που κινούνταν με διαφορετικές ταχύτητες. Από τα αποτελέσματα, προέκυψαν καμπύλες και συνεπώς σχέσεις μεταξύ ταχύτητας και κατανάλωσης καυσίμου για διάφορα βάρη φορτίου.

Για συνολικό βάρος οχήματος μικρότερο από 20 τόνους, δηλαδή για όχημα χωρίς ωφέλιμο φορτίο, η καμπύλη που περιγράφει τη συμπεριφορά του είναι ευθεία, δηλαδή η κατανάλωση καυσίμου και η ταχύτητα έχουν σε μεγάλη προσέγγιση γραμμική σχέση. Για βάρος περισσότερο από 20 τόνους, η σχέση παύει να είναι γραμμική.

Από τις μετρήσεις κατανάλωσης προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που περιγράφει τη σχέση της ταχύτητας με το βάρος και την κατανάλωση καυσίμου.



Γράφημα 6: Κατανάλωση – Ταχύτητα για διάφορα βάρη [23]

Η επιρροή της ταχύτητας και από περιβαλλοντική σκοπιά εξετάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος Portal της ΕΕ [19].

Το πρόγραμμα αυτό αφορά τη χρηματοδότηση της έρευνας σε διάφορους τομείς εκ μέρους της ΕΕ. Ένας από αυτούς τους τομείς είναι οι μεταφορές. Επικεφαλής της έρευνας είναι ο Sergio Mitrovich και εκδόθηκε στην τελική της μορφή το 2003.

Το βασικό της θέμα είναι οι επιπτώσεις των μεταφορών στο περιβάλλον, όπως μαρτυρά και ο τίτλος. Γι' αυτό στις εξισώσεις που παρουσιάζονται γίνεται υπολογισμός των εκπομπών ρύπων (σε g/km) και όχι της κατανάλωσης καυσίμου. Ωστόσο η κατανάλωση καυσίμου που αντιστοιχεί σε μια ποσότητα ρύπων υπολογίζεται με τη χρήση ενός συντελεστή. Αναφέρονται δε η ταχύτητα κίνησης, το φορτίο και η κλίση του δρόμου ως οι πιο καθοριστικοί παράγοντες για την εκπομπή ρύπων.

Προτείνεται ακόμα ένα μοντέλο υπολογισμού, το οποίο προκύπτει ως αποτέλεσμα από τα στατιστικά δεδομένα της ΕΕ και δημιουργήθηκε από τον Sergio Mitrovich και την ομάδα του και αφορά αποκλειστικά βαρέα οχήματα. Σύμφωνα με αυτό οι εκπομπές δίνονται από τη σχέση:

$$\varepsilon = K + a \cdot v + b \cdot v^2 + c \cdot v^3 + d/v + e/v^2 + f/v^3,$$

όπου ε είναι η τιμή των εκπομπών σε g/km, v η μέση ταχύτητα κίνησης και K , a , b , c , d , e , f συντελεστές που είναι διαθέσιμοι για τους τύπους των βαρέων οχημάτων.

2.5 ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Το συνολικό βάρος ενός φορτηγού (βάρος αμαξώματος και ωφέλιμο φορτίο) είναι ο παράγοντας που έχει την πλέον αποφασιστική επιρροή στην κατανάλωση καυσίμου. Αυτό συμβαίνει διότι η μηχανική αντίσταση κύλισης είναι ευθέως ανάλογη του βάρους του οχήματος.

Με σκοπό την ποσοτικοποίηση της επιρροής του βάρους στην κατανάλωση καυσίμου, το Υπουργείο Συγκοινωνιών του Ηνωμένου Βασιλείου σε συνεργασία με άλλους φορείς πραγματοποίησε το 2007 δοκιμές με όλους τους τύπους φορτηγών οχημάτων που κυκλοφορούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση [12].

Στις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν οχήματα 44 και 32 τόνων, με διάφορες διατάξεις και φορτία. Για κάθε ένα από αυτά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν. Η επεξεργασία των μετρήσεων κατέληξε σε δύο βασικά συμπεράσματα:

Πρώτον, οχήματα με κοινά τα λοιπά τους χαρακτηριστικά αλλά διαφορετική ιπποδύναμη δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές στην κατανάλωση. Συγκεκριμένα, η σχέση βάρους και κατανάλωσης ανάλογα με την ιπποδύναμη δίνεται από τις εξής εξισώσεις:

$$FC=10,8-0,139*P, \text{ για } 340 \text{ PS}$$

$$FC=10,6-0,143*P, \text{ για } 380 \text{ PS}$$

όπου FC είναι η κατανάλωση καυσίμου σε MPG και P το ωφέλιμο φορτίο σε τόνους.

Δεύτερον, βρέθηκαν εξισώσεις που προσαρμόζονται σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό στα δεδομένα όσον αφορά τη σχέση της κατανάλωσης με το ωφέλιμο φορτίο για τα οχήματα των 32 και 44 τόνων. Αυτές είναι:

$$FC=9,701-0,165*P, \text{ για } 44 \text{ tn}$$

$$FC=11,754-0,287*P, \text{ για } 32 \text{ tn}$$

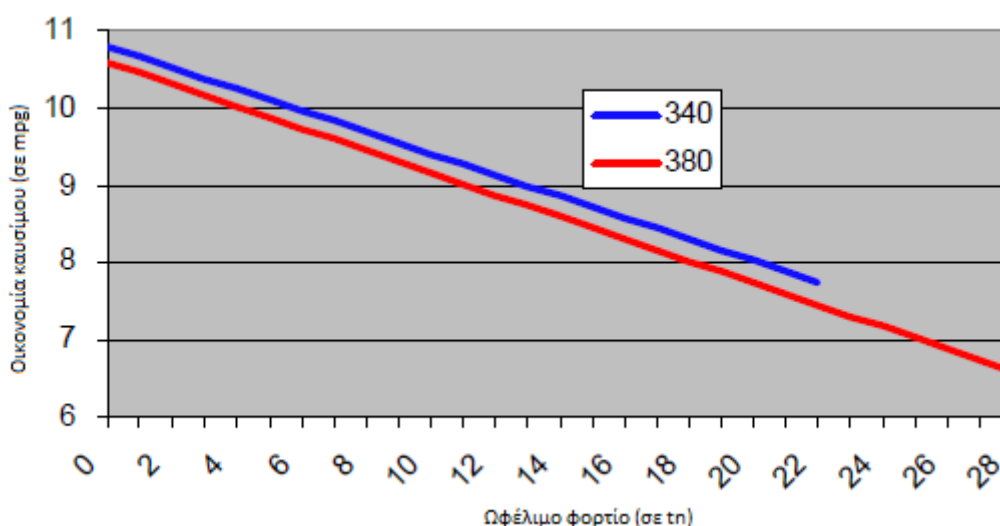
Από τις δύο εξισώσεις (και από τις δύο προηγούμενες) είναι δυνατόν να ξεχωρίσει κανείς δύο όρους. Την οικονομία καυσίμου για άφορτο όχημα και τη μείωσή της (αύξηση σε όρους l/100km), που είναι ανάλογη με το φορτίο. Το όχημα των 32 tn έχει μικρότερη κατανάλωση όταν είναι άφορτο (μεγαλύτερη οικονομία), ωστόσο η επίδραση του βάρους είναι σημαντικότερη σε αυτό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα για φορτίο μεγαλύτερο των 17 τόνων να καταναλώνει περισσότερο από το μεγαλύτερο όχημα των 44 τόνων.

Τέλος, η έρευνα για λόγους απλότητας, δεν ανέφερε αναλυτικά τις αντίστοιχες εξισώσεις για μικρότερα οχήματα. Αντ' αυτού προτείνει τη χρήση ενιαίου συντελεστή μείωσης της οικονομίας καυσίμου ίσο με 0,112 για κάθε άλλο τύπο οχήματος, χωρίς σημαντικά λάθη.

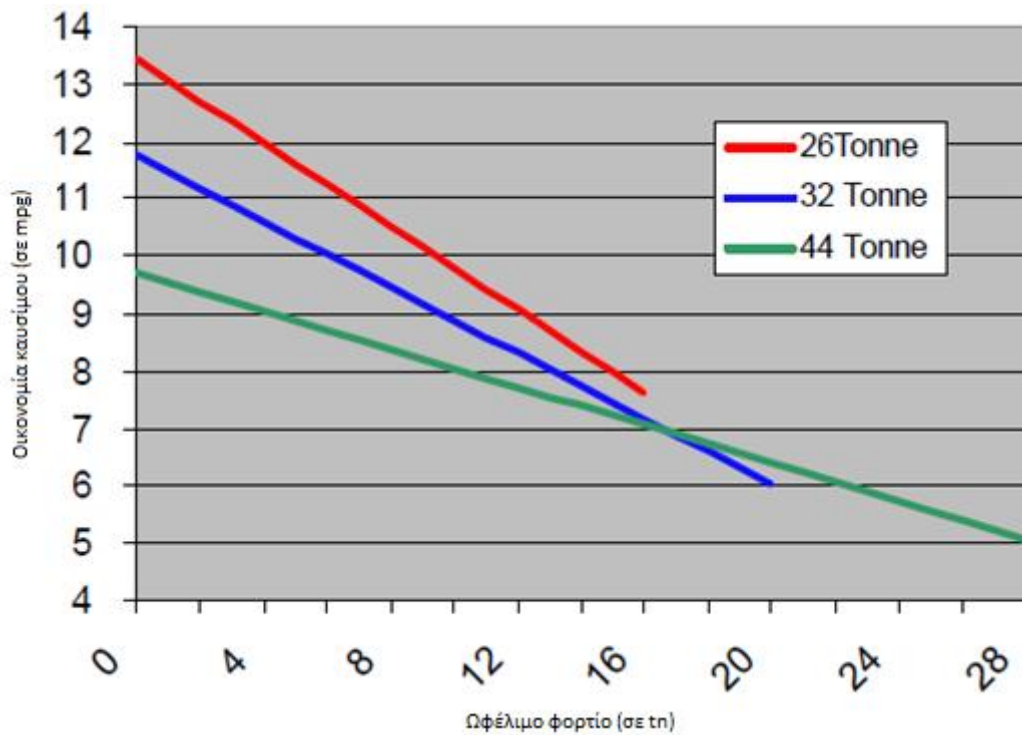
Με βάση τα παραπάνω εύλογα βγαίνει το συμπέρασμα ότι για τη μεταφορά φορτίου μικρού βάρους θα πρέπει να επιλεγεί π.χ. το όχημα των 32 τόνων έναντι αυτού των 44 τόνων. Αυτό είναι σωστό μόνο εν μέρει. Όπως σημειώνει σε έκθεση του προς την Ένωση Ευρωπαίων Κατασκευαστών Οχημάτων ο συγκοινωνιολόγος Kenth Lumsden ένα μεγαλύτερο όχημα κάνει και πιο αποδοτική χρήση του καυσίμου. Αυτό γίνεται σαφές αν σκεφτεί κανείς ότι ο VDA χρησιμοποιεί ως μονάδα μέτρησης της οικονομίας καυσίμου τα λίτρα που καταναλώνονται ανά τόνο-χιλιόμετρο, συσχετίζει δηλαδή την κατανάλωση καυσίμου με το μεταφορικό έργο που αυτή θα προσφέρει. Έτσι το κόστος κίνησης ενός άδειου οχήματος, σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση, είναι πολλαπλάσιο αυτού ενός πλήρως έμφορτου οχήματος, αν και οι συμβατικές μονάδες μέτρησης δηλώνουν το αντίθετο, μιας και το δεύτερο έχει παράξει μεταφορικό έργο.

Ο VDA δηλώνει με την παραπάνω ανάλυση ότι η μη κίνηση φορτηγών που δεν είναι πλήρως έμφορτα μειώνει έμμεσα την κατανάλωση καυσίμου και τις βλαβερές εκπομπές, γιατί μειώνει το πλήθος των οχημάτων που συνολικά θα κινηθούν [9]. Επομένως είναι οικονομικότερο και ενεργειακά αποδοτικότερο τα οχήματα που κινούνται να μεταφέρουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φορτίο. Και σε αυτή την περίπτωση το όχημα των 44 τόνων υπερτερεί όλων των υπόλοιπων.

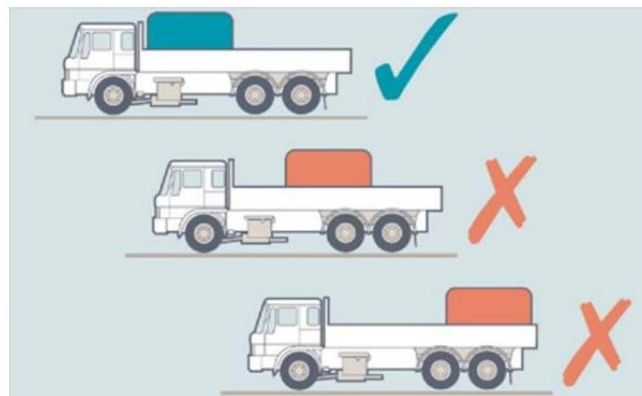
Η θέση του φορτίου στο ρυμουλκούμενο όχημα, ιδίως όταν δεν έχει κλειστή οροφή, παίζει επίσης το ρόλο της. Πρέπει το φορτίο να τοποθετείται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην καμπίνα και να έχει όσο το δυνατόν χαμηλότερο ύψος. Οι δύο αυτοί παράγοντες παίζουν ρόλο στην αεροδυναμική του οχήματος, η οποία θα αναλυθεί ενδελεχώς στη συνέχεια.



Γράφημα 7: Οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος για οχήματα 340 και 380 ίππων σύμφωνα με τις μετρήσεις του Βρετανικού Υπουργείου Συγκοινωνιών [12]

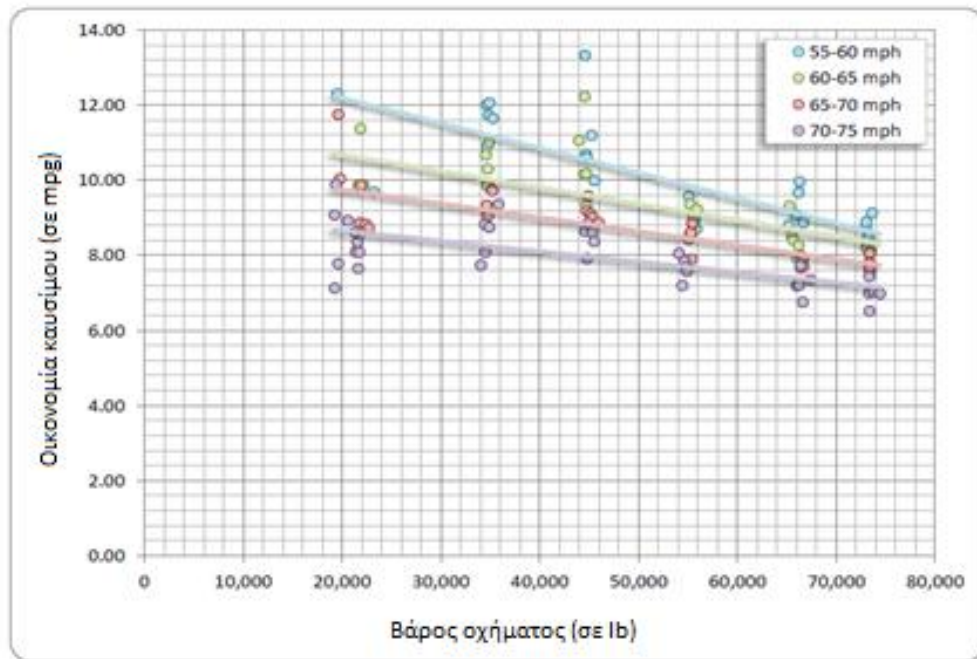


Γράφημα 8: Οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος για οχήματα διαφορετικών κατηγοριών βάρους σύμφωνα με τις μετρήσεις του Βρετανικού Υπουργείου Συγκοινωνιών[12]



Εικόνα 3: Σωστή τοποθέτηση φορτίου σε οχήματα με ανοιχτή καρότσα [31]

Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από την έρευνα του ORNL [23], που ήδη έχει αναφερθεί. Αυτά παρουσιάζονται στο επόμενο γράφημα.



Γράφημα 9: Μετρήσεις ORNL για οικονομία καυσίμου σε σχέση με το βάρος του οχήματος για διαφορετικές ταχύτητες [23]

Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια τα παραπάνω διαγράμματα να αποδοθούν με μία ενιαία εξίσωση. Προέκυψε η εξής:

$FE = -5 \cdot 10^{-10} * w^2 + 8 \cdot 10^{-6} * w + 9,6687$, όπου FE η οικονομία καυσίμου σε mpg και w το βάρος σε lb.

2.6 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΧΗΜΑ

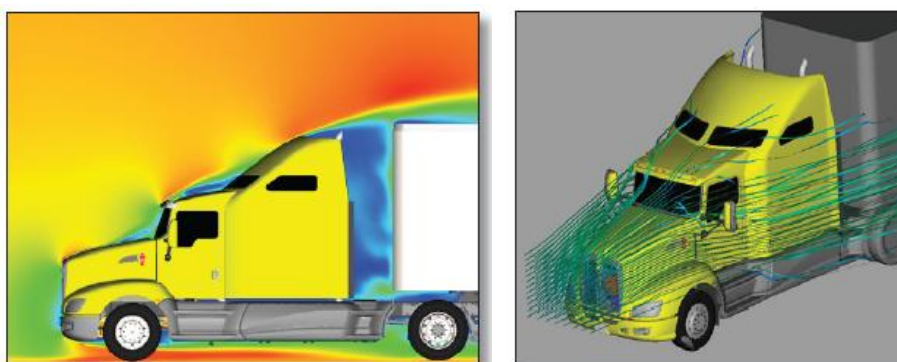
Η σημασία της αεροδυναμικής, δηλαδή της μείωσης της αντίστασης του αέρα, έχει ήδη αναφερθεί.

Για να έχει ένα φορτηγό αεροδυναμικό σχήμα, θα πρέπει τα διάφορα εξαρτήματά του να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις. Η συνολική συνεισφορά του σχήματος του οχήματος στην οικονομία καυσίμου ενός οχήματος μπορεί να φτάσει το 10-12%. Σύμφωνα με έρευνες [7], [31], η αεροδυναμική ενός φορτηγού εξαρτάται από:

- Την εξομάλυνση της οροφής. Μία πλήρως επίπεδη οροφή προσφέρει οικονομία καυσίμου έως 7%.
- Το αν είναι λείο και το λοιπό αμάξωμα του οχήματος, με συνεισφορά 1%.
- Την τοποθέτηση του φίλτρου αέρα κάτω από το καπό και όχι πάνω σε αυτό, με συνεισφορά επίσης 1-2%.
- Τη χρήση αεροδυναμικών πλευρικών καθρεπτών, 1%.
- Την απόσταση μεταξύ ρυμουλκού και ρυμουλκούμενου (αν υπάρχει). Για κάθε 25 εκατοστά απόστασης έχουμε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 0,5-1%.

Γενικώς οι παραπάνω παράγοντες δε λειτουργούν αθροιστικά, αλλά κατατάσσουν τα οχήματα ως προς την αεροδυναμική τους. Η κατάταξη έχει ως εξής:

- Μη αεροδυναμικό όχημα (αν δε διαθέτει επίπεδες επιφάνειες, ούτε όλους τους λοιπούς παράγοντες ή διαθέτει ρυμουλκούμενο)
- Μικρής αεροδυναμικής (διαθέτει κάποιους από τους παράγοντες, αλλά όχι λείες επιφάνειες)
- Μέσης αεροδυναμικής (διαθέτει λείες επιφάνειες και κάποιους από τους λοιπούς παράγοντες ή όλους τους παράγοντες και ρυμουλκούμενο σε απόσταση μικρότερη των 2 μέτρων από την καμπίνα)
- Αεροδυναμικό όχημα (διαθέτει λείες επιφάνειες και όλους τους λοιπούς παράγοντες και δε διαθέτει ρυμουλκούμενο)



Εικόνα 4: Απεικόνιση αεροδυναμικής αντίστασης στην επιφάνεια του οχήματος [7]

Η Kenworth είναι αμερικανική εταιρεία κατασκευής βαρέων οχημάτων. Στην έκθεσή της που ήδη αναφέρθηκε [7] εστίασε στον τρόπο που διαφορετικοί παράγοντες επηρεάζουν την οικονομία καυσίμου. Οι βασικοί παράγοντες πάνω στους οποίους έγινε έρευνα είναι η αεροδυναμική, η χρήση των ενδεδειγμένων ανταλλακτικών εξαρτημάτων, η τεχνολογία, ο εκ των προτέρων σχεδιασμός της διαδρομής, η συμπεριφορά του οδηγού και η καλή συντήρηση του οχήματος.

Όσον αφορά την αεροδυναμική αντίσταση, η εταιρεία δεν εστίασε στη σχέση της με την ταχύτητα, αλλά στη μείωσή της σε σχέση με το σχήμα του οχήματος και των εξαρτημάτων του. Το πείραμα περιελάμβανε αρχικά υπολογισμούς με βάση τη θεωρία της Μηχανικής των Ρευστών και μοντελοποίηση. Στη συνέχεια έγιναν δοκιμές σε πίστα στην Ουάσινγκτον και τέλος σε πραγματικές συνθήκες. Οι δοκιμές αυτές αφορούσαν οδήγηση με παρόμοια οχήματα, αλλά με διαφορετικά εξαρτήματα και διατάξεις, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η επιρροή καθενός στην κατανάλωση καυσίμου.

2.7 ΕΛΑΣΤΙΚΑ

Τα ελαστικά αποτελούν σημαντικό παράγοντα οικονομίας καυσίμου για τα βαρέα οχήματα, μιας και μέσω αυτών γίνεται η επαφή του οχήματος με το οδόστρωμα. Πρέπει γενικά να πληρούν τρεις προϋποθέσεις: ασφάλεια, εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση του θορύβου κύλισης.

Με τον όρο ασφάλεια, εννοείται η καλή πρόσφυση του ελαστικού στο οδόστρωμα σε περίπτωση πέδησης, ακόμα και σε αντίξοες συνθήκες, π.χ. σε βρεγμένο οδόστρωμα. Η οικονομία καυσίμου που μπορούν να προσφέρουν τα ελαστικά έχει να κάνει κυρίως με τη μικρή αντίσταση κύλισης, η ποιότητα της οποίας έχει άμεση επίπτωση στη σωστή λειτουργία της μηχανής και στην κατανάλωση καυσίμου. Η κάλυψη των δύο αυτών προϋποθέσεων εξαρτάται κυρίως από το υλικό κατασκευής των ελαστικών, την αυλάκωση/διαμόρφωση της εξωτερικής τους επιφάνειας και τη χρήση από τη μεριά του οδηγού της ενδεδειγμένης πίεσης ελαστικών. Οι ίδιοι παράγοντες επηρεάζουν και το θόρυβο που παράγουν τα ελαστικά κατά την κίνηση του οχήματος.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, θέλοντας να δώσει μεγάλη έμφαση στα παραπάνω ζητήματα, καθώς και στην ενημέρωση των οδηγών-καταναλωτών, εισήγαγε την 1^η Νοεμβρίου 2012 τη Νέα Ευρωπαϊκή Ετικετογράφηση των ελαστικών. Σύμφωνα με αυτή την οδηγία, οι κατασκευαστές ελαστικών θα πρέπει να κατατάξουν τα ελαστικά που παράγουν σε μια κλίμακα από Α έως G, ανάλογα με την ενεργειακή τους αποτελεσματικότητα (μέσω της μέτρησης της αντίστασης κύλισης), την πρόσφυση σε βρεγμένο έδαφος και το θόρυβο που παράγουν. Ακόμα οι διανομείς των ελαστικών και των οχημάτων θα έχουν την ευθύνη, σύμφωνα με την οδηγία, να ενημερώνουν τους καταναλωτές για το σύστημα Ετικετογράφησης, ενώ οι σχετικές με το προϊόν που αγοράζουν πληροφορίες θα πρέπει να αναφέρονται στο τιμολόγιο ή σε συνημμένο έγγραφο.

Σύμφωνα με τους μεγαλύτερους κατασκευαστές, η κάθε κατηγορία προσφέρει οικονομία καυσίμου 6% σε σχέση με την αμέσως κατώτερη, δηλαδή συνολικά μια διαφορά 24% από κατηγορία Α σε Ε (οι μικρότερες κατηγορίες δε χρησιμοποιούνται σε επαγγελματικά οχήματα) [14], [15].

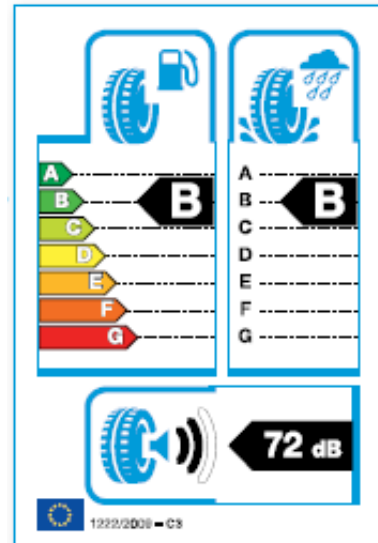
Φυσικά η αντίσταση κύλισης (όπως και η πρόσφυση και ο παραγόμενος θόρυβος) επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, ανεξάρτητους από την ποιότητα των ελαστικών. Η συντήρηση και η έγκαιρη αντικατάσταση τους είναι ένας από αυτούς. Ένα παλιό και φθαρμένο ελαστικό δεν μπορεί παρά να έχει χάσει τις αρχικές του ιδιότητες και εκτός από μη οικονομικό θα είναι και επικίνδυνο. Ακόμα, το συνολικό βάρος του οχήματος παίζει σημαντικό ρόλο. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος, τόσο αυξάνεται η μηχανική αντίσταση.

Ο ακριβής τρόπος κατανάλωσης ενέργειας και ανάπτυξης αντίστασης κύλισης είναι ο εξής: Λόγω του βάρους του οχήματος, το ελαστικό παραμορφώνεται στην περιοχή επαφής με την επιφάνεια του εδάφους, διαχέοντας ενέργεια με τη μορφή θερμότητας. Όσο περισσότερο

παραμορφώνεται, τόσο υψηλότερη είναι η αντίσταση κύλισης και συνεπώς τόσο μεγαλύτερη η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως με την πρόοδο της τεχνολογίας και της γνώσης πάνω και σε αυτόν τον τομέα, θα γίνεται συνεχώς εφικτή η κατασκευή όλο και πιο ποιοτικών ελαστικών, με τη θετική επίδραση που θα έχει αυτό τόσο στην εξοικονόμηση καυσίμου, όσο και στην ασφάλεια των οδηγών και τη μείωση της ηχορύπανσης.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΤΗ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΖΑΝΤΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ				
X LINE™					
17.5	245/70 R 17.5 XTA 2+ ENERGY™ TL 143/141J MI	C	B		69 dB
17.5	245/70 R 17.5 X® LINE™ ENERGY™ T TL 143/141J VB MI	B	B		68 dB
17.5	205/75 R 17.5 XZA 2 TL 124/122M MI	D	B		67 dB
17.5	215/75 R 17.5 X® LINE™ ENERGY™ T TL 135/133J VB MI	B	B		68 dB
17.5	215/75 R 17.5 XTA 2+ ENERGY™ TL 135/133J MI	C	B		69 dB
17.5	215/75 R 17.5 XZA 2 TL 126/124M MI	D	B		67 dB
17.5	225/75 R 17.5 XZA 2 TL 129/127M MI	D	B		67 dB
17.5	235/75 R 17.5 X® LINE™ ENERGY™ T TL 143/141J VB MI	B	B		68 dB
17.5	235/75 R 17.5 XTA 2+ ENERGY™ TL 143/141J MI	C	B		69 dB
17.5	235/75 R 17.5 XZA 2 TL 132/130M MI	D	B		67 dB
19.5	445/45 R 19.5 XTA 2+ ENERGY™ TL 160J MI	C	B		69 dB
19.5	425/55 R 19.5 XTA 2 ENERGY™ TL 160J MI	C	B		69 dB
19.5	245/70 R 19.5 XTA 2 ENERGY™ TL 141/140J MI	C	B		69 dB
19.5	265/70 R 19.5 X® LINE™ ENERGY™ T TL 143/141J VB MI	B	B		68 dB



Εικόνα 5: Κατάλογος ελαστικών και ευρωπαϊκή ετικέτα κατάταξης [15]

2.8 ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

Το οδόστρωμα αποτελεί το επίπεδο κύλισης του οχήματος, οπότε είναι προφανές πως η ποιότητά του θα επηρεάζει την κίνηση του οχήματος και συνεπώς και την κατανάλωση καυσίμου.

Η επιρροή του οδοστρώματος έχει να κάνει με την αντίσταση κύλισης που θα προβάλλει (συντελεστής τριβής) στα ελαστικά του οχήματος. Γενικά είναι επιθυμητό να μην είναι πολύ μεγάλη αυτή η αντίσταση, αλλά ούτε και τόσο μικρή που να μην προσφέρει την απαιτούμενη πρόσφυση και να καθίσταται επικίνδυνο.

Ακόμα, αν το οδόστρωμα έχει εμφανίσει φθορές, όπως για παράδειγμα ρωγμές και ρηγματώσεις, λακκούβες, λείανση αδρανών, δεν επιτρέπει στο όχημα να αναπτύξει και να κινηθεί με την επιθυμητή ταχύτητα. Μπορεί επίσης να αναγκάσει τον οδηγό σε φρεναρίσματα, των οποίων οι επιπτώσεις είναι μεγάλες στην οικονομία καυσίμου.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηρίζουν την ποιότητα του οδοστρώματος και την ανάγκη ή όχι να γίνουν εργασίες συντήρησης σε αυτό. Για τον ίδιο σκοπό έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες που εκφράζουν ποσοτικά την κατάσταση του οδοστρώματος. Ένας από τους πιο διαδεδομένους είναι ο δείκτης PSI ή αλλιώς Δείκτης Παρούσας Εξυπηρετικότητας. Ο PSI υπολογίζεται συναρτήσει του μεγέθους των φθορών που έχει υποστεί το οδόστρωμα και δηλώνει το βαθμό στον οποίο το οδόστρωμα καλύπτει τις απαιτήσεις του χρήστη σε σχέση με τον καιρό που κατασκευάστηκε [39].

Σύμφωνα με το Υπουργείο Συγκοινωνιών των ΗΠΑ, η σχέση του PSI με την κατανάλωση καυσίμου είναι άμεση και εκφράζεται με τη μείωση της ταχύτητας κίνησης των οχημάτων για μικρές τιμές του PSI (δηλαδή οδόστρωμα σε κακή κατάσταση).

Αυτό το συμπέρασμα αναφέρεται μεταξύ άλλων στο άρθρο [17]. Το HERS είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης της επίδρασης αλλαγών π.χ. σε συγκοινωνιακά ζητήματα με στόχο την εύρεση της προσφορότερης λύσης από άποψη κόστους-ωφέλειας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε από το Υπουργείο Συγκοινωνιών των ΗΠΑ για να προβλεφθούν τα οφέλη μιας επένδυσης σε αυτοκινητοδρόμους και να αποφασιστεί αν τελικά πρέπει να γίνει ή όχι. Η τεχνική έκθεση δημοσιεύτηκε το 2002.

Τα οφέλη που θα έχει μια τέτοια επένδυση είναι πολυδιάστατα και δεν περιορίζονται στη μείωση του χρόνου διαδρομής και την κατανάλωση καυσίμου. Η κατανάλωση καυσίμου και δη των βαρέων οχημάτων αποτελεί λοιπόν έναν μόνο από τους παράγοντες που εξετάστηκαν. Για τις ανάγκες όμως της παρούσας μελέτης θα δοθεί σε αυτόν περισσότερη βάση.

Για να υπολογίσει τις διάφορες παραμέτρους, ανάμεσα στις οποίες και η κατανάλωση καυσίμου, το μοντέλο που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα προβλέπει αρχικά τη μελλοντική κίνηση του δρόμου, τη μελλοντική κατάσταση του οδοστρώματος, την τωρινή και τη μελλοντική μέση ταχύτητα και τη

χωρητικότητα του δρόμου μετά τις βελτιώσεις. Για να τα προβλέψει αυτά χρειάζεται ως δεδομένα τις τωρινές συνθήκες κυκλοφορίας και τις αλλαγές που πρόκειται να γίνουν.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο γίνεται αναφορά και της ποιότητας του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμου, η οποία δεν εισέρχεται άμεσα στον υπολογισμό. Αρχικά υπολογίζεται ο δείκτης PSI του οδοστρώματος ως εξής:

$$PSI = 5.0 * \exp(\text{SURFACT} * IRI),$$

όπου SURFACT = -0,0038 για εύκαμπτο οδόστρωμα, -0,0046 για ημιεύκαμπτο και -0,0043 για άκαμπτο και IRI ανάλογα με την κατάσταση του οδοστρώματος όπως στον παρακάτω πίνακα.

Τιμή IRI	Περιγραφή
0	Καινούριο ή σχεδόν καινούριο οδόστρωμα χωρίς κανένα είδος φθοράς.
52	Εύκαμπτο οδόστρωμα μπορεί να εμφανίζει τυχαίες ρωγμές και μικρή αυλάκωση. Δύσκαμπτο οδόστρωμα με μικρές αλλοιώσεις, όπως μικρή ρηγμάτωση και θρυμματισμό.
119	Επιφάνεια εύκαμπτου οδοστρώματος με ελατώματα όπως αυλάκωση και εκτεταμένη ρηγμάτωση. Το δύσκαμπτο οδόστρωμα θα έχει υποστεί επίσης συνδυασμό αστοχιών.
213	Εύκαμπτο οδόστρωμα με μεγάλες λακκούβες και βαθιές ρηγματώσεις, αυλάκωση σε ποσοστό μεγαλύτερο από 50% της επιφάνειας του. Παρομοίως και για δύσκαμπτο οδόστρωμα.
374	Πολύ εκτεταμένες φθορές στο οδόστρωμα, συμπεριλαμβανομένων ρωγμών και λακκούβων σε ποσοστό πάνω από 75% της επιφάνειας.
999	

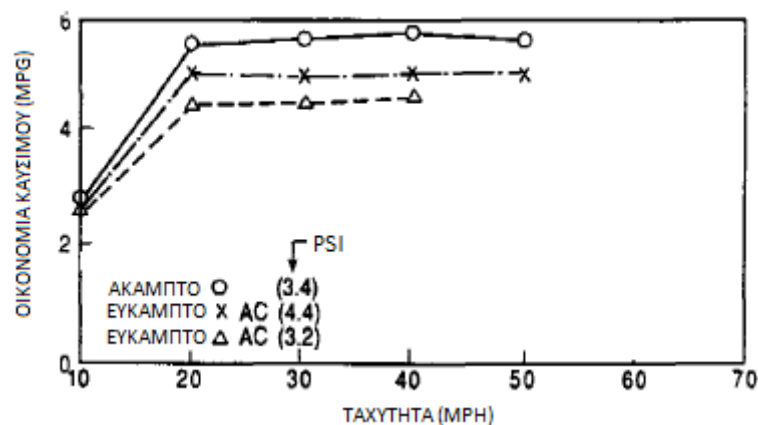
Πίνακας 3: Πίνακας τιμών IRI οδοστρώματος [17]

Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέγιστη τιμή της ταχύτητας συναρτήσει του PSR. Ο ακριβής τρόπος υπολογισμού είναι:

$$V_{\text{ROUGH}} = 0,9 / (0,0255 - 0,00333 * \text{PSR}) \text{ (σε mph)}$$

Η ταχύτητα δεν μπορεί να ξεπεράσει, λόγω της κατάστασης του οδοστρώματος, τη συγκεκριμένη τιμή. Για τιμές του PSI μεγαλύτερες του 3, δηλαδή για οδόστρωμα μετρίως καλής κατάστασης, η τιμή της V_{ROUGH} προκύπτει μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για φορτηγά, κάτι που σημαίνει ότι το οδόστρωμα δεν επηρεάζει την κίνηση του οχήματος.

Άλλη μελέτη [41], δείχνει ότι ο τύπος του οδοστρώματος παίζει επίσης ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου. Η κίνηση ενός φορτηγού σε άκαμπτο οδόστρωμα μπορεί να εξοικονομήσει έως και 20% περισσότερο καύσιμο. Η εξήγηση που δίνεται γι' αυτό είναι ότι λόγω του μεγάλου βάρους του φορτηγού, η παραμόρφωση του οδοστρώματος είναι αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που παράγει η μηχανή του οχήματος να καταναλώνεται εκεί. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η διαφορά στην κατανάλωση για τους δύο τύπους οδοστρώματος. Αξίζει να παρατηρήσει κανείς και ότι η οικονομία καυσίμου για άκαμπτο οδόστρωμα είναι μεγαλύτερη, παρ' όλο που ο δείκτης PSI είναι μικρότερος.



Γράφημα 10: Οικονομία καυσίμου για τους δύο τύπους οδοστρώματος [41]

2.9 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Η καλή συντήρηση του οχήματος είναι απαραίτητη προκειμένου αυτό να λειτουργεί με τη μέγιστη αποδοτικότητα και να εξοικονομεί μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου. Ο όρος συντήρηση αναφέρεται στην επισκευή ή αλλαγή κατά περίπτωση εξαρτημάτων και υγρών του φορτηγού που λόγω της φθοράς και του χρόνου έχουν χάσει τις αρχικές τους ιδιότητες με αποτέλεσμα να επιτείνουν την κατανάλωση καυσίμου.

Πιο συγκεκριμένα, αν η πίεση ελαστικών είναι μικρότερη από την προτεινόμενη, τότε αυξάνεται η αντίσταση κύλισης και συνεπώς η κατανάλωση καυσίμου. Η πίεση των ελαστικών πρέπει να ελέγχεται μία φορά την εβδομάδα, ειδικά αν το όχημα κάνει συχνά ταξίδια. Πέρα από την πίεσή τους, υπάρχουν και ελαστικά με πιο μαλακή ή σκληρή επιφάνεια. Τα δεύτερα είναι καταλληλότερα για τη μεταφορά φορτίων μεγάλου βάρους, αν και έχουν μεγαλύτερη αντίσταση κύλισης. Τα ελαστικά με πιο μαλακό πέλμα επιτρέπουν την οικονομικότερη οδήγηση σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Υπάρχουν επίσης ελαστικά για ασφαλέστερη και οικονομικότερη οδήγηση σε βρεγμένο οδόστρωμα. Θα πρέπει λοιπόν να επιλέγονται κάθε φορά τα καταλληλότερα, ανάλογα με την περίπτωση.

Μεγάλη σημασία έχει και η συχνή αλλαγή των λαδιών και των φίλτρων αέρα. Πολυκαιρισμένα λάδια δεν επιτρέπουν την καλή λίπανση των εξαρτημάτων, κάτι που υποβαθμίζει τη λειτουργία της μηχανής και αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου. Επιπροσθέτως, με τον καιρό η σκόνη και άλλα παρόμοια σωματίδια φράσουν τα φίλτρα αέρα και δεν επιτρέπουν την αποδοτική λειτουργία του οχήματος.

Τέλος, η καθαριότητα του οχήματος παίζει κι αυτή ρόλο στη σωστή λειτουργία του. Αν και πρόκειται για έναν υποτιμημένο παράγοντα, αν το όχημα δεν είναι καθαρό τόσο εσωτερικά, όσο και εξωτερικά, είναι πιθανό σκόνη και άλλα σωματίδια να εισχωρήσουν στα φίλτρα αέρα και στα ηλεκτρικά συστήματά του και να προκαλέσουν βλάβες. Παρ' όλο λοιπόν που η επίδραση μπορεί να κάνει μήνες ή χρόνια να γίνει αισθητή, είναι σίγουρο ότι σε βάθος χρόνου δε θα είναι αμελητέα. [31]

2.10 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΟΛΟΥ

Σε αυτό το σημείο δε θα γίνει αναφορά στην τεχνολογία της μηχανής και γενικότερα των οχημάτων, που δεδομένα προοδεύει σταθερά όσο περνούν τα χρόνια και έχει φτάσει την οικονομία καυσίμου στα επίπεδα που είναι σήμερα (30% περισσότερη οικονομία από το 1960 και 97% μείωση των επικίνδυνων εκπομπών από το 1990), αλλά σε εφευρέσεις που ανήκουν κυρίως σε άλλους τομείς.

Το GPS δε χρησιμεύει μόνο για πλοήγηση, αλλά μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη γεωμετρία του δρόμου (στροφές, ανηφορικό έδαφος κ.τ.λ.), επιτρέποντας έτσι τον καλύτερο προγραμματισμό του ταξιδιού. Οι περισσότερες συσκευές άλλωστε προτείνουν και οι ίδιες τη βέλτιστη διαδρομή.

Ακόμα, υπάρχει ο μετρητής της κατανάλωσης καυσίμου (που σε πολλές περιπτώσεις είναι εκ των προτέρων ενσωματωμένος στο ταμπλό του οχήματος) που δείχνει στον οδηγό πόσο καύσιμο χρησιμοποιεί σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, εκείνος έχει τη δυνατότητα να παρατηρήσει τη διαφορά στην κατανάλωση κάτω από διαφορετικές συνθήκες και να βελτιώσει συνήθειες που αυξάνουν την κατανάλωση καυσίμου. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα ειδοποιούν τον οδηγό με κάποιο φωτάκι που αναβοσβήνει ή κάποιο ήχο αν ξεπεράσει το μέγιστο όριο κατανάλωσης που εκείνος προηγουμένως έχει θέσει.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν κυκλοφορήσει και εφαρμογές για έξυπνα τηλέφωνα, οι οποίες κάνουν τις παραπάνω λειτουργίες και κρατούν επίσης αρχείο με δεδομένα στα οποία μπορεί να ανατρέξει ο οδηγός. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές κάνουν χρήση του GPS και άλλων αισθητήρων που είναι ενσωματωμένοι στα τηλέφωνα, καθώς και πληροφοριών από το διαδίκτυο και είναι διαθέσιμες έναντι κάποιου αντιτίμου. [31]

2.11 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ-ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Οι καιρικές συνθήκες είναι πιθανό να αναγκάσουν τον οδηγό να μεταβάλλει τις οδηγικές του συνήθειες. Για παράδειγμα, σε περίπτωση βροχής και χιονιού ή παγετού θα τον κάνει περισσότερο επιφυλακτικό. Έτσι, μπορεί να κινείται πιο αργά, να φρενάρει συχνότερα ή να οδηγεί σε χαμηλότερες σχέσεις μετάδοσης. Όλα αυτά επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την κατανάλωση καυσίμου.

Τέτοια φαινόμενα μπορεί επίσης να έχουν και έμμεση επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου. Είναι πιθανό λόγω ακριβώς αυτών των φαινομένων να δημιουργηθεί συμφόρηση σε κάποιους δρόμους, κάτι που με τις στάσεις και επανεκκινήσεις που συνεπάγεται, αποτελεί παράγοντα που μπορεί να αυξήσει δραματικά την κατανάλωση ενέργειας. Ακόμα, τα φαινόμενα αυτά επιδεινώνουν την κατάσταση του οδοστρώματος, οι επιπτώσεις της οποίας εξετάστηκαν παραπάνω.

Η θερμοκρασία ασκεί πιο άμεση επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας. Γενικά, όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από τους 20° C η λειτουργία της μηχανής δεν είναι το ίδιο αποδοτική, όπως έχει αποδειχθεί από εργαστηριακές δοκιμές και επαληθευτεί από μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες. Σε θερμοκρασία κοντά στους 0° C, η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται ακόμα και πάνω από 10%. [20]

Από την άλλη μεριά, η απαραίτητη πρόσληψη οξυγόνου από τη μηχανή γίνεται καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες, μιας και τα μόρια οξυγόνου είναι πυκνότερα. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την παρουσία οξυγόνου είναι και το υψόμετρο. Όσο ψηλότερα κινείται το φορτηγό από το επίπεδο της θάλασσας, τόσο λιγότερο οξυγόνο υπάρχει. Συνεπώς η μηχανή λειτουργεί λιγότερο αποδοτικά [31]. Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτό ότι η μείωση ή η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 20° C μπορεί να έχει διφορούμενη επίδραση.

Το σύγγραμμα [20] αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας/καυσίμου με διάφορους παράγοντες.

Το πρώτο τμήμα, που αναφέρεται στις οδικές μεταφορές, αν και κυρίως εστιάζει στα επιβατικά οχήματα, δίνει κάποια στοιχεία και για τα φορτηγά. Ως οι βασικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου αναφέρονται μεταξύ άλλων τα χαρακτηριστικά της διαδρομής (απόσταση, ταχύτητα, επιτάχυνση, στάσεις), τα χαρακτηριστικά της οδού (κλίση, καμπύλες, ποιότητα οδοστρώματος), οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, πάγος, χιόνι), ο τύπος, το βάρος και η τεχνολογία του οχήματος, η καύσιμη ύλη, η σηματοδότηση και τα χαρακτηριστικά του οδηγού.

Πιο συγκεκριμένα αξίζει να αναφέρουμε ότι ως βασική σχέση υπολογισμού της κατανάλωσης δίνεται η εξής:

$F = 112 \cdot D + 1,05 \cdot T$, όπου F η συνολική κατανάλωση καυσίμου σε ml, D η απόσταση σε km και T ο χρόνος σε δευτερόλεπτα.

Η σχέση αυτή αναφέρεται σε επιβατικά αυτοκίνητα. Από τη μελέτη της όμως προκύπτει ότι για τα βαρέα οχήματα η βέλτιστη ταχύτητα κίνησης είναι τα 50 km/h, ενώ ταχύτητα μέχρι 70 km/h θεωρείται επίσης ικανοποιητική.

Στη βασική αυτή σχέση μπορεί να προστεθεί ένας ακόμη παράγοντας που θα αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας και των καιρικών συνθηκών.

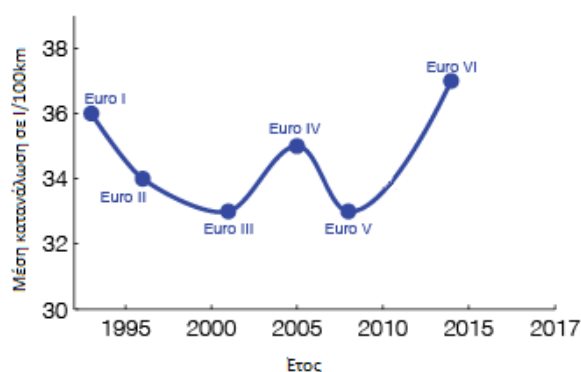
2.12 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΤΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με στοιχεία του Συνδέσμου Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων (ΣΕΑΑ), η παλαιότητα των βαρέων οχημάτων που κυκλοφορούν στην Ελλάδα ξεπερνά στις περισσότερες περιπτώσεις τα 20 έτη, ενώ τα οχήματα που έρχονται στην Ελλάδα είναι έτσι κι αλλιώς 10 χρόνια μεταχειρισμένα [40].

Το θέμα της παλαιότητας του οχήματος έχει δύο πτυχές: αφενός καθορίζει το πρότυπο της ΕΕ στο οποίο θα συμμορφώνεται το όχημα και αφετέρου τη δυνατότητά του να ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις του χρήστη του, όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου.

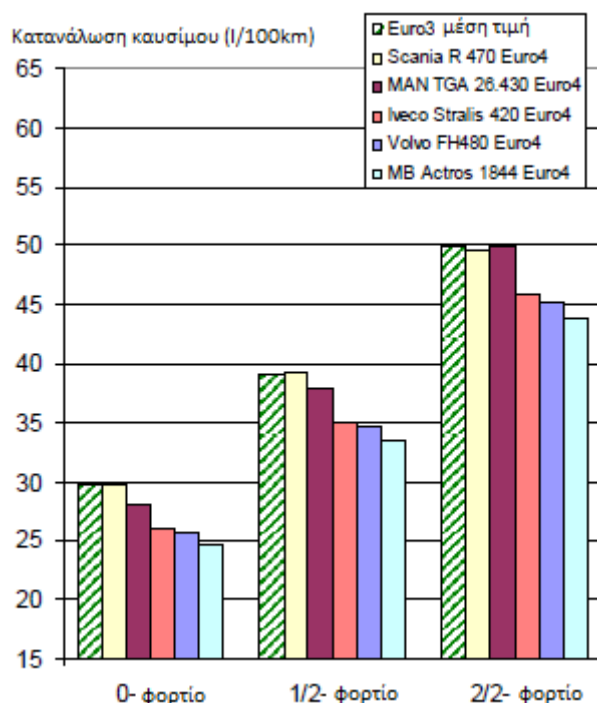
Η νομοθεσία Euro X (όπου X ένας αριθμός) εισήχθη από την ΕΕ, αρχής γενομένης το 1992 με το Euro 1, και ανανεώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Κατά κύριο λόγο πρόκειται για κάποιους περιορισμούς στις εκπομπές βλαβερών αερίων που κανένα όχημα δεν επιτρέπεται να ξεπερνά. Οι στόχοι της συγκεκριμένης νομοθεσίας είναι να θέσει κοινούς κανόνες στις αυτοκινητοβιομηχανίες, να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα και να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση και τέλος να διευκολύνει την πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικές με την επισκευή και συντήρηση των οχημάτων [29].

Τα πρότυπα που έχουν δημοσιευτεί μέχρι στιγμής είναι τα Euro 1(1993), Euro 2(1996), Euro 3(2000), Euro 4(2005), Euro 5(2009) και Euro 6(2014). Γίνεται αντιληπτό ότι, έστω έμμεσα, το πρότυπο στο οποίο συμμορφώνεται κάθε όχημα επιδρά στην κατανάλωση καυσίμου. Οι αλλαγές στην κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του προτύπου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Γράφημα 11: Μέση κατανάλωση για κάθε πρότυπο Euro X [27]

Το συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι ένα νεότερο πρότυπο Euro X γενικώς σημαίνει και μικρότερη κατανάλωση καυσίμου. Για του λόγου το αληθές παρατίθεται και το παρακάτω γράφημα, όπου συγκρίνονται διάφορα μοντέλα φορτηγών Euro 4 με τη μέση τιμή των Euro 3 μοντέλων.

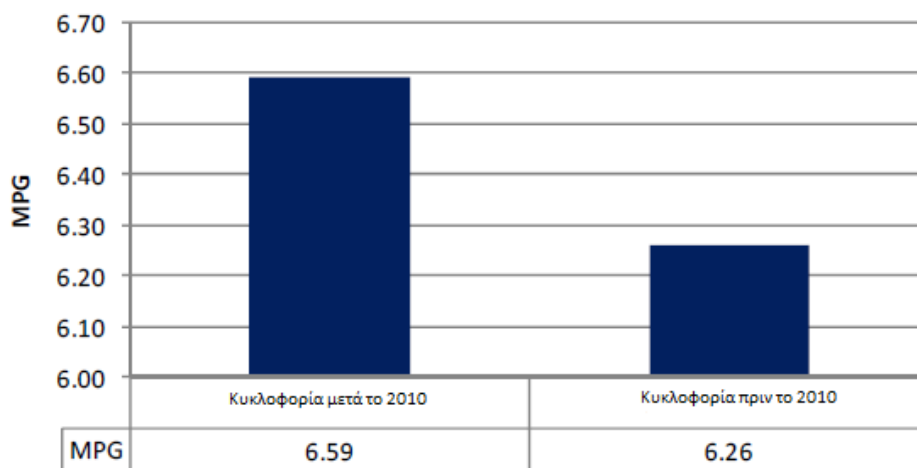


Γράφημα 12: Σύγκριση οχημάτων τεχνολογίας Euro 3 με οχήματα Euro 4 [25]

Όσον αφορά την παλαιότητα του οχήματος, σχετική μελέτη έγινε το 2010 [30]. Στο συγκεκριμένο, γίνεται αρχικά αναφορά στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες μεταφορών λόγω της οικονομικής κρίσης και τη σπουδαιότητα που αποκτά και για αυτό το λόγο η εξοικονόμηση καυσίμου.

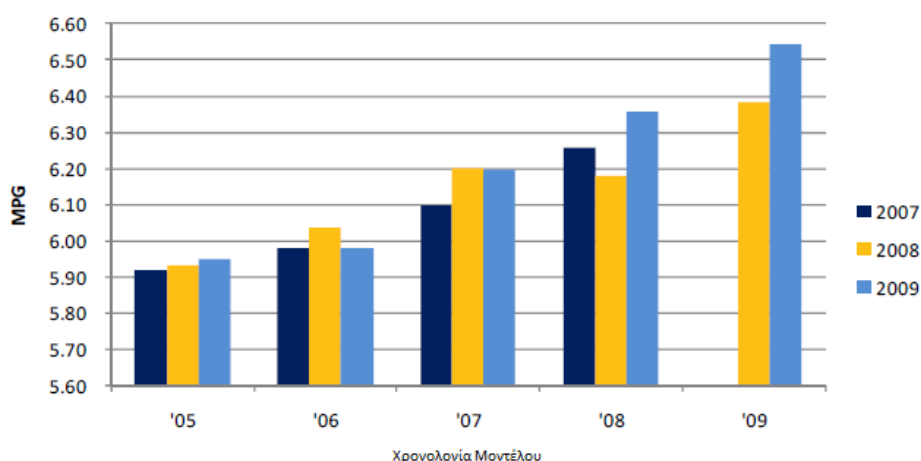
Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση ενός καινούριου στόλου οχημάτων με ένα στόλο παλαιότερων οχημάτων, όσον αφορά το κόστος συντήρησης γενικά και την κατανάλωση καυσίμου. Το δείγμα που εξετάστηκε αποτελούνταν συνολικά από 15000 οχήματα, 7 διαφορετικών εταιρειών.

Όπως ήταν αναμενόμενο, το κόστος συντήρησης είναι μεγαλύτερο για παλαιότερα οχήματα και έχει την τάση να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Όσον αφορά τα καύσιμα, επίσης τα παλαιότερα οχήματα καταναλώνουν περισσότερο από τα πιο καινούρια. Μάλιστα, η διαφορά ανάμεσα σε μοντέλα του 2005 και μοντέλα του 2010 είναι της τάξης του 10%. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η διαφορά στην οικονομία καυσίμου για μοντέλα που κυκλοφόρησαν πριν και μετά το 2010.



Γράφημα 13: Οικονομία καυσίμου μοντέλων οχημάτων πριν και μετά το 2010 [30]

Αντίθετα, όταν πρόκειται για το ίδιο όχημα και τα καύσιμα που αυτό καταναλώνει με την πάροδο του χρόνου, παρατηρείται κατά κύριο λόγο βελτίωση της συμπεριφοράς του τα τρία πρώτα χρόνια κυκλοφορίας του. Όπως σημειώνεται, αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη βελτίωση της αποδοτικότητας της μηχανής όταν το όχημα έχει διατρέξει μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα και στην καλύτερη χρήση που του κάνει ο οδηγός. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η οικονομία καυσίμου μοντέλων του 2005, 2006, 2007, 2008 και 2009 με την πάροδο του χρόνου.



Γράφημα 14: Οικονομία καυσίμου οχήματος με την πάροδο του χρόνου [30]

2.13 ΤΡΟΠΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Ο ίδιος ο οδηγός ενός φορτηγού, με τον τρόπο που το οδηγεί, μπορεί να επιτύχει έως και 12% μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου [4].

Κατά κύριο λόγο, αξίζει να αναφερθεί ότι ενέργειες όπως η οδήγηση σε υψηλές ταχύτητες, τα απότομα φρεναρίσματα και γενικώς οι μεγάλες διακυμάνσεις στην ταχύτητα κίνησης του οχήματος αυξάνουν την κατανάλωση καυσίμου, σε αντίθεση με την κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Η χρήση του cruise control, του μηχανισμού που επιτρέπει την κίνηση του οχήματος με σταθερή ταχύτητα χωρίς ο οδηγός να έχει το πόδι του στο γκάζι, προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου και θα πρέπει να χρησιμοποιείται για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Δευτερεύοντα ρόλο παίζουν και μερικές ακόμα οδηγικές συνήθειες. Η γρήγορη αλλαγή ταχύτητας και η οδήγηση σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σχέση μετάδοσης είναι μία από αυτές. Όταν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η παράλειψη κάποιας ταχύτητας και η απευθείας μετάβαση στην αμέσως μεγαλύτερη (π.χ. από 3^η κατευθείαν σε 5^η) συνεισφέρει στην εξοικονόμηση καυσίμου.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως, ειδικά όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, συνιστάται να παραμένει η μηχανή αναμμένη για 3 έως 5 λεπτά πριν ξεκινήσει το όχημα, έτσι ώστε να έχει ανεβάσει θερμοκρασία και να λειτουργεί πιο αποδοτικά. Τέλος, όταν το όχημα κινείται σε υψηλές ταχύτητες, τα παράθυρα πρέπει να είναι κλειστά, διότι το άνοιγμα των παραθύρων αυξάνει την αεροδυναμική αντίσταση. Αντίθετα, όταν η οδήγηση γίνεται σε πιο χαμηλές ταχύτητες (κάτω από 60 km/h) είναι προτιμότερο ο οδηγός να έχει ανοιχτά τα παράθυρα παρά τον κλιματισμό, διότι ο τελευταίος επιβαρύνει τη λειτουργία της μηχανής. [31]

2.14 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, ένας από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας είναι και η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας του τρένου με αυτή του φορτηγού, έτσι ώστε να εξακριβωθεί κάτω από ποιες συνθήκες κάθε ένα από τα δύο μέσα μεταφοράς είναι αποδοτικότερο του άλλου.

Για να γίνει η σύγκριση τους με τις οδικές μεταφορές, οι απαραίτητες πληροφορίες για τις σιδηροδρομικές μεταφορές αντλήθηκαν από τη διπλωματική εργασία της Ε. Τουρνάκη με τίτλο «Το Αποτύπωμα Άνθρακα στις Σιδηροδρομικές Συνδυασμένες Μεταφορές: Εφαρμογή στη γραμμή Αθηνών – Θεσσαλονίκης» [42].

Το κυριότερο σημείο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η διατύπωση ενός μοντέλου υπολογισμού της ενέργειας που καταναλώνεται στις σιδηροδρομικές μεταφορές (του καυσίμου δηλαδή) και των ρύπων που

αντιστοιχούν σε αυτή, ή αλλιώς το αποτύπωμα άνθρακα των σιδηροδρομικών μεταφορών, με σκοπό τη σύγκριση των μεγεθών αυτών με τα αντίστοιχα των οδικών μεταφορών. Οι υπολογισμοί γίνονται για διάφορους τύπους συρμών και χαρακτηριστικά της γραμμής.

Το αποτύπωμα άνθρακα είναι η συνολική ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου ανά έτος που εκπέμπει ένα άτομο, μια οικογένεια, μια δραστηριότητα, μια επιχείρηση κ.τ.λ. Επειδή τα αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι πολλά, η ποσότητα καθενός από αυτά μετατρέπεται σε τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), που επίσης είναι αέριο του θερμοκηπίου.

Αρχικά αναφέρονται όλοι οι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας των μεταφορών, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι τα οξείδια του αζώτου, οι υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Στη συνέχεια αναλύεται ο κάθε ρύπος (προέλευση, ποσότητα κτλ) καθώς και φαινόμενα όπως του θερμοκηπίου και της τρύπας του όζοντος.

Παρακάτω εξηγούνται οι έννοιες της TTW και WTW κατανάλωσης. Η πρώτη αφορά αποκλειστικά τη λειτουργία του οχήματος, είναι δηλαδή άμεση συνέπεια του έργου της μεταφοράς. Ο όρος WTW, αντίθετα, αφορά τη συνολική κατανάλωση καυσίμου και περιλαμβάνει και την ενέργεια που καταναλώθηκε προκειμένου να γίνει η εξόρυξη του καυσίμου, η επεξεργασία του, η μεταφορά του και η διανομή του, καθώς και τη λειτουργία του οχήματος.

Παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα και οι οδηγίες που καθορίζουν τις εκπομπές στο περιβάλλον (συνεπώς και την κατανάλωση καυσίμου), τα υπολογιστικά εργαλεία που ήδη υπάρχουν, καθώς και οι αντίστοιχες βάσεις δεδομένων. Από τα παραπάνω αντλήθηκαν και πληροφορίες για τη συγγραφή της εργασίας και τη διατύπωση του μοντέλου υπολογισμού των εκπομπών και της κατανάλωσης.

Ύστερα από αυτά, περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στους υπολογισμούς. Αρχικά περιγράφονται κάποια απαραίτητα για τους υπολογισμούς στοιχεία. Αυτά είναι το είδος των φορτίων, οι μεταφερόμενες μονάδες και το τροχαίο υλικό.

Τα φορτία κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη φύση τους και τη μεταχείριση που απαιτούν. Υπάρχουν επικίνδυνα, υγρά και ξηρά φορτία. Τα ξηρά με τη σειρά τους διακρίνονται σε χύδην, γενικά, μοναδοποιημένα και στα φορτία που χρήζουν ειδικής μεταχείρισης.

Οι μεταφερόμενες μονάδες δημιουργήθηκαν λόγω της ανάγκης για προτυποποίηση διαστάσεων των μεταφερόμενων ποσοτήτων και διευκόλυνση της διαδικασίας μεταφοράς. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι οι παλέτες και τα εμπορευματοκιβώτια. Στην εργασία αναφέρονται οι διαστάσεις, το βάρος και τα λοιπά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων μονάδων.

Ο όρος τροχαίο υλικό αναφέρεται στα ρυμουλκούμενα βαγόνια που χρησιμοποιούνται σε ένα συρμό. Το σημαντικότερο από αυτά είναι η

εμπορευματική φορτάμαξα. Παρακάτω αναφέρονται λεπτομερώς οι κατηγορίες φορταμαξών και τα χαρακτηριστικά τους.

Αφού αποσαφηνιστούν τα παραπάνω κομμάτια, αρχίζει η διαδικασία υπολογισμού. Αρχικά, από το συνολικό βάρος των φορτίων και σύμφωνα με τους πίνακες πρότυπων εμπορευματοκιβωτίων, υπολογίζεται το απαιτούμενο πλήθος των εμπορευματοκιβωτίων.

Με βάση αυτό υπολογίζεται στη συνέχεια ο αριθμός των φορταμαξών από τις οποίες θα αποτελείται ο συρμός. Για να γίνει αυτό, λαμβάνονται υπόψη κάποιοι περιορισμοί. Αρχικά, το μέγιστο βάρος του συρμού ανά άξονα, το οποίο καθορίζεται με βάση την αντοχή της σιδηροδρομικής γραμμής. Υπάρχουν επίσης περιορισμοί που αφορούν τις διαστάσεις του φορτίου, τον αριθμό των αξόνων, το συνολικό μήκος του συρμού, το είδος του τροχαίου υλικού ανάλογα με την ταχύτητα και τη διάταξη του τροχαίου υλικού.

Μετά από αυτά, γίνεται ο υπολογισμός του αριθμού των μηχανών έλξης. Τα απαιτούμενα δεδομένα για αυτή τη διαδικασία είναι ο τύπος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής έλξης. Βάση του υπολογισμού είναι η θεωρία της έλξης.

2.15 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Στο διαδίκτυο υπάρχουν πολλές δωρεάν εφαρμογές υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου, τόσο για φορτηγά, όσο και για άλλα μέσα μεταφοράς. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η απαίτηση για λίγα και απλά δεδομένα εισόδου, έτσι ώστε να είναι εύχρηστα και οι υπολογισμοί να γίνονται γρήγορα. Αυτό όμως έχει σαν αποτέλεσμα τα αποτελέσματα που δίνουν να μην έχουν τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, ωστόσο αυτή είναι σε σχετικά ικανοποιητικά επίπεδα, αν ληφθούν υπόψη τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν. Κάποια από τα πιο διαδεδομένα αναφέρονται παρακάτω.

Το πιο αναλυτικό έχει αναπτυχθεί από την EcoTransIT, μια εταιρεία που δραστηριοποιείται στο χώρο της Κυκλοφοριακής και Σιδηροδρομικής τεχνικής και στη δημιουργία σχετικού λογισμικού [35]. Το συγκεκριμένο μοντέλο, βασίζεται στην τεράστια βάση δεδομένων GIS της επιχείρησης. Ο χρήστης καλείται να δώσει τα σημεία προέλευσης και προορισμού και το μικτό βάρος του οχήματος και σαν αποτέλεσμα παίρνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της διαδρομής που επέλεξε. Στην περισσότερο αναλυτική εκδοχή του μοντέλου, ο χρήστης μπορεί να εισάγει και τον τύπο του οχήματος, την τεχνολογία του (σύμφωνα με τα πρότυπα EURO 1-6), καθώς και το ποσοστό πλήρωσης του οχήματος και το ποσοστό της επιπλέον διαδρομής που θα διανύσει το όχημα άφορτο.

Ένα άλλο εξίσου λεπτομερές μοντέλο είναι αυτό της ιστοσελίδας pier2pier.com από τη Δανία [34]. Η συγκεκριμένη σελίδα είναι αφιερωμένη στις θαλάσσιες συνδυασμένες μεταφορές και περιέχει πλήθος πληροφοριών σχετικά με αυτές. Ακόμα, χρησιμοποιείται από διάφορες εταιρείες του κλάδου για προβολή τους. Το συγκεκριμένο μοντέλο επίσης δέχεται ως δεδομένα εισόδου την προέλευση, τον προορισμό, το μικτό βάρος και την τεχνολογία του οχήματος και επιπλέον τη μέση ταχύτητα κίνησης. Σαν αποτέλεσμα δίνει και αυτό τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το συγκεκριμένο μοντέλο παρουσιάζει και στο χρήστη τη σχέση υπολογισμού της ποσότητας των αερίων που δεν είναι άλλη από την:

$$\text{Εκπομπές} = \frac{\text{Βάρος} * \text{Απόσταση} * \text{Εκπομπές προτύπου}}{1000^2}$$

Τέλος, δύο πιο απλοϊκά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί από τον καθηγητή οικονομολόγο για θέματα ενέργειας του Πανεπιστημίου του Σικάγο Steffen Mueller για την εταιρεία EA Logistics (που παρέχει συμβουλές και λογισμικό για θέματα προστασίας του περιβάλλοντος) [32] και από το Πανεπιστήμιο Yale, τομέας Βιωσιμότητας [33]. Το πρώτο απαιτεί από το χρήστη την απόσταση που θα διανυθεί (όχι προέλευση-προορισμό) και το βάρος του φορτίου. Το δεύτερο απαιτεί μόνο τα σημεία προέλευσης και προορισμού. Σαν αποτέλεσμα δίνουν και αυτά την ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου.

Η ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου μετράται σε kg CO₂e (κιλά ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα).

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται συνοπτικά τα δεδομένα εισόδου που απαιτεί κάθε μοντέλο καθώς και τα αποτελέσματα που δίνει το καθένα για κάποιες τιμές των παραγόντων.

Προέλευση μοντέλου	Παράγοντες							
	προέλευση-προορισμός	απόσταση	βάρος συνολικό ή φορτίου	τύπος φορτηγού	τεχνολογία (π.χ. EURO 4 ή 5)	ποσοστό φόρτωσης	επιπλέον χλμ άδειου οχήματος	μέση ταχύτητα
EcoTransIT	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
Delivered GREAN		✓	✓					
Yale Community	✓							
PIER2PIER.COM	✓		✓		✓			✓

Πίνακας 4: Απαιτούμενα δεδομένα εισόδου διαδικτυακών εφαρμογών

Σταθεροί Παράγοντες						
προέλευση-προορισμός	απόσταση	τύπος	τεχνολογία	ποσοστό φόρτωσης	επιπλέον χλμ άδειου	ταχύτητα
Αθήνα-Θεσ/νικη	506 km	44tn	EURO 5	80%	0%	90 km/h
Απλούστερα μοντέλα						
Πηγή	Εκπομπές CO2e (kg)	Κατανάλωση (l/100km)				
Delivered Grean	515	38,1	* για βάρος φορτίου 9,1 tn			
Yale Community	541	40,0				
Σύνθετα μοντέλα						
	EcoTransIT		PIER2PIER.COM		Delivered Grean	
Βάρος φορτίου (tn)	Εκπομπές CO2e (kg)	Κατανάλωση (l/100km)	Εκπομπές CO2e (kg)	Κατανάλωση (l/100km)	Εκπομπές CO2e (kg)	Κατανάλωση (l/100km)
0	410	30,3	363	26,9	-	-
5	510	37,7	458	33,9	283	20,9
10	620	45,9	554	41,0	566	41,9
15	730	54,0	649	48,0	849	62,8
20	830	61,4	745	55,1	1132	83,8
25	940	69,6	840	62,2	1415	104,7

Πίνακας 5: Αποτελέσματα υπολογισμού με διαδικτυακά μοντέλα για τη διαδρομή Αθήνα - Θεσσαλονίκη

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί και θα τεκμηριωθεί ο τρόπος που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου.

Ως βάση έχει ληφθεί το μοντέλο του Oak Ridge National Laboratory (ORNL) [22]. Πριν παρουσιαστεί αναλυτικά, αξίζει να γίνει αναφορά στη σπουδαιότερη μεταβλητή του μοντέλου, την ταχύτητα, και το ρόλο της.

3.1 ΡΟΛΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Στο μοντέλο που προτείνεται, επιλέχθηκε να γίνει ο υπολογισμός της κατανάλωσης του καυσίμου με χρήση της στιγμιαίας ταχύτητας των σημείων της διαδρομής και όχι με χρήση μιας μέσης ταχύτητας. Η επιλογή αυτή έγινε για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στον τρόπο υπολογισμού.

Η προσέγγιση με χρήση της στιγμιαίας ταχύτητας, απαιτεί η κατανάλωση να υπολογιστεί είτε με χρήση κάποιου πρότυπου κύκλου οδήγησης είτε μετά από συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Στην πρώτη περίπτωση όμως, ο υπολογισμός δε θα είχε πολύ μεγάλη ακρίβεια (που είναι το βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων που χρησιμοποιούν στιγμιαία ταχύτητα), διότι ένας πρότυπος κύκλος οδήγησης μπορεί να απέχει σημαντικά από τον πραγματικό. Στη δεύτερη περίπτωση, δε θα ήταν δυνατή η πρόβλεψη της κατανάλωσης πριν την έναρξη του ταξιδιού αφενός, και αφετέρου θα απαιτούνταν συλλογή δεδομένων που δεν μπορεί να κάνει ο καθένας. Τελικά επιλέχθηκε η θεώρηση σταθερής ταχύτητας στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής και στα σημεία υποχρεωτικής στάσης (σταθμοί διοδίων) επιβράδυνση και εν συνεχεία επιτάχυνση με σταθερό ρυθμό.

Παγκοσμίως, η τάση είναι το ερευνητικό ενδιαφέρον να συγκεντρώνεται μεν στα μοντέλα στιγμιαίας ταχύτητας, όμως τα μοντέλα μέσης ταχύτητας χρησιμοποιούνται, λόγω των πλεονεκτημάτων του γρήγορου και εύκολου υπολογισμού, στην πλειοψηφία των πρακτικών εφαρμογών.

Το πεδίο όπου μειονεκτούν κατά κύριο λόγο τα μοντέλα σταθερής ταχύτητας είναι οι περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη διακύμανση της τιμής της ταχύτητας, η οποία παίζει και μεγάλο ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου.

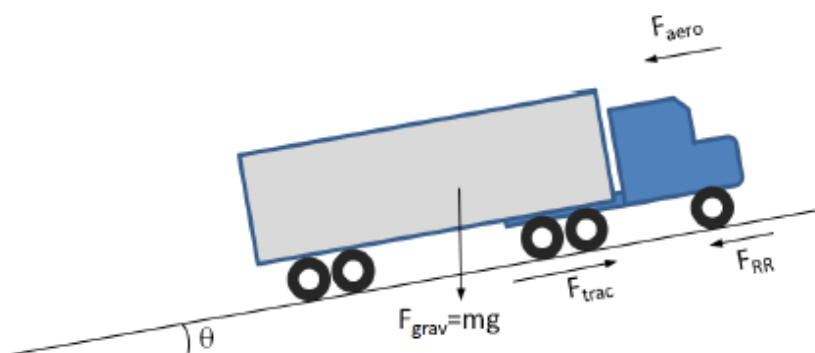
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Το άρθρο [22] δημοσιεύτηκε από το Oak Ridge National Laboratory (ORNL) το 2011. Περιγράφει ένα από τα πλέον αναγνωρισμένα και αποδεκτά μοντέλα, όσον αφορά την ακρίβειά του, σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος.

Η ανάλυση που γίνεται στηρίζεται στη θεωρία της ενέργειας έλξης, δηλαδή γίνεται χρήση γνωστών από τη φυσική και τη δυναμική σχέσεων προκειμένου να περιγραφεί η κίνηση του φορτηγού και η κατανάλωση ενέργειας (καυσίμου).

Η δύναμη έλξης είναι η δύναμη που δρα μεταξύ του οχήματος και του οδοστρώματος με σκοπό την επιτάχυνση ή επιβράδυνσή του. Πρέπει να υπερνικήσει την αντίσταση κύλισης και την αεροδυναμική αντίσταση και, στην περίπτωση ανηφορικού εδάφους, την αντίστοιχη δύναμη βαρύτητας. Έχει θετική τιμή όταν το όχημα επιταχύνει και η μηχανή πρέπει να προσφέρει ενέργεια στις ρόδες και αρνητική όταν το όχημα επιβραδύνει. Η ύπαρξή της επιβάλλεται έτσι ώστε το όχημα να υπερνικά τις αντιστάσεις και να επιταχύνει από τον 2^ο νόμο του Νεύτωνα.

Το έργο της δύναμης έλξης αποτελεί την ενέργεια έλξης. Αν είναι γνωστές οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησής του, τότε μπορεί να υπολογιστεί η ενέργεια έλξης. Όσα περιγράφηκαν μέχρι τώρα φαίνονται και στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 6: Δυνάμεις που ασκούνται κατά την κίνηση οχήματος

Σύμφωνα με το 2^ο νόμο του Νεύτωνα, ισχύει η παρακάτω εξίσωση

$$F_{trac} = m * \frac{dv}{dt} + m * g * \sin\theta + F_{aero} + F_{RR}$$

όπου F_{trac} η δύναμη έλξης, F_{aero} η αεροδυναμική αντίσταση και F_{RR} η αντίσταση κύλισης.

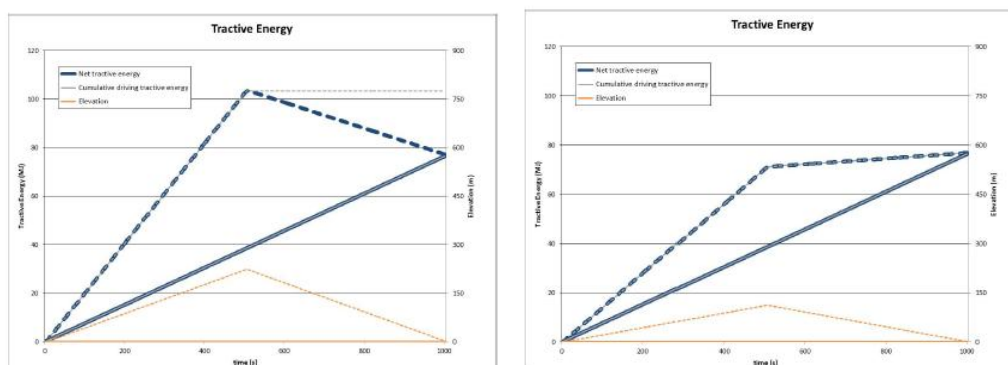
Ενώ, σύμφωνα με τη Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας, λαμβάνεται και η επόμενη σχέση:

$$\Delta E_{trac} = \frac{1}{2} * m * (v_2^2 - v_1^2) + m * g * (h_2 - h_1) + \Delta E_{aero} + \Delta E_{RR}$$

Στην τελευταία αυτή σχέση εκφράζεται το έργο της δύναμης έλξης ως το άθροισμα των έργων των αντιστάσεων και των μεταβολών στην κινητική και δυναμική ενέργεια. Τα τέσσερα αυτά μεγέθη αποτελούν τις παραμέτρους κατανάλωσης ενέργειας και, όπως θα φανεί πιο καθαρά στη συνέχεια, εξαρτώνται από τους παράγοντες που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

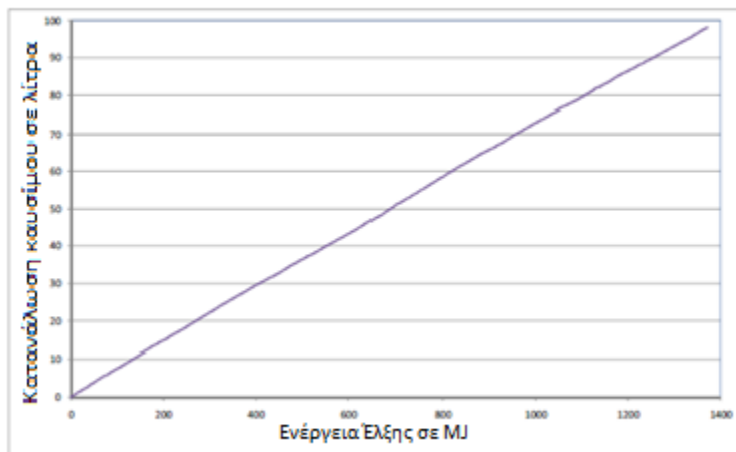
Ένα ζήτημα πολύ μεγάλης σημασίας για την ανάλυση με βάση την ενέργεια έλξης είναι το πρόσημο της δύναμης έλξης. Επιρροή στην κατανάλωση καυσίμου έχει η θετική μόνο ενέργεια έλξης και όχι η καθαρή τιμή της. Καθαρή τιμή της ενέργειας έλξης είναι η διαφορά της θετικής ενέργειας έλξης (του έργου δηλαδή της δύναμης έλξης στα διαστήματα που το όχημα επιτάχυνε) με την αρνητική ενέργεια έλξης (έργο κατά την επιβράδυνση). Ως παράδειγμα, αναφέρεται η άνοδος (και κάθοδος) σε ένα ύψωμα μεγάλης κλίσης σε σύγκριση με ένα μικρής κλίσης. Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας κατά την άνοδο (θετική ενέργεια) και επιβράδυνση κατά την κάθοδο λόγω της μεγάλης κλίσης (αρνητική ενέργεια). Στη δεύτερη περίπτωση η ενέργεια που απαιτείται κατά την άνοδο είναι λιγότερη, ενώ κατά την κάθοδο δεν χρειάζεται να επιβραδύνει το όχημα, διότι η μικρή κλίση επιτρέπει την κίνησή του με την επίδραση της βαρυτικής δύναμης, χωρίς να αυξηθεί υπερβολικά η ταχύτητα.

Εν τέλει, αν υποθέσουμε ότι η θετική ενέργεια στη δεύτερη περίπτωση (που ισούται με την καθαρή τιμή της, αφού η αρνητική είναι μηδέν) ισούται με την καθαρή στην πρώτη περίπτωση (θετική μείον αρνητική), αυτό δε θα σημαίνει ότι στις δύο περιπτώσεις θα καταναλωθεί η ίδια ποσότητα καυσίμου. Για καλύτερη κατανόηση παρατίθενται και τα παρακάτω σχήματα. Το ζήτημα αυτό ξεκαθαρίζεται περισσότερο και παρακάτω.



Γράφημα 15: Ενέργεια έλξης σε περίπτωση μεγάλης και μικρής κλίσης οδοστρώματος [22]

Για να γίνει σαφής η σχέση μεταξύ ενέργειας έλξης και κατανάλωσης καυσίμου αρκεί να δει κανείς το παρακάτω διάγραμμα. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς για ένα τυπικό κύκλο οδήγησης (προφίλ ταχύτητας ανά δευτερόλεπτο) η σχέση τους είναι γραμμική.



Γράφημα 16: Σχέση Ενέργειας έλξης και κατανάλωσης καυσίμου [22]

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος αναλυτικού υπολογισμού των απαιτούμενων μεγεθών, ξεκινώντας με την αντίσταση κύλισης. Η αντίσταση κύλισης ισούται με:

$$F_{RR} = C_{RR} * m * g \text{ (N)},$$

όπου C_{RR} συντελεστής με τιμή 0,004-0,008 που εξαρτάται από την ποιότητα του οδοστρώματος και των ελαστικών (συνηθέστερη τιμή 0,007) και $m * g$ (m σε kg) το μικό βάρος του οχήματος.

Συνεπώς το έργο της αντίστασης κύλισης κατά την επιτάχυνση του οχήματος είναι :

$$E_{RR,drive} = C_{RR} * m * g * \sum \Delta s_i \text{ (J)},$$

όπου s_i (σε m) το μήκος των σημείων της διαδρομής όπου το όχημα επιτάχυνε.

Η αεροδυναμική αντίσταση δίνεται από τον τύπο

$$F_{aero} = C_D * A_f * 0,5 * \rho * v^2 \text{ (N)}$$

και το έργο της ισούται με

$$E_{aero,drive} = C_D * A_f * \int (0,5 * \rho * v^3),$$

όπου C_D συντελεστής με συνηθέστερη τιμή 0,62, A_f το εμβαδό της μπροστινής επιφάνειας του φορτηγού (σε m^2), ρ η πυκνότητα του αέρα (σε

kg/m³) και ν η ταχύτητα συναρτήσει του χρόνου (σε m/s). Το ολοκλήρωμα αφορά ολοκλήρωση ως προς το χρόνο για τη διάρκεια της επιτάχυνσης.

Τελικά η ενέργεια έλξης θα είναι για όλη τη διαδρομή:

$$E_{trac} = E_{RR,drive} + E_{aero,drive} + \Delta W \text{ (J)},$$

όπου ΔW η μεταβολή της μηχανικής ενέργειας (δυναμικής και κινητικής).

Τέλος υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα:

$$F_{C,trac} = \frac{1}{n_{engine} * LHV} * \left(\frac{E_{trac}}{n_{trans}} + E_{acces} \right), E_{trac} \text{ σε MJ},$$

όπου n_{engine} , LHV, n_{trans} , συντελεστές με συνηθέστερες τιμές 0,42, 35,8 και 0,9 αντίστοιχα και αφορούν την απόδοση της μηχανής και του συστήματος κίνησης του οχήματος και E_{acces} η ενέργεια που καταναλώνεται από τα διάφορα αξεσουάρ του οχήματος (π.χ. ραδιόφωνο, κλιματισμός).

Συστήνεται για τους συντελεστές να επιλέγονται οι συνηθέστερες τιμές, αν δεν υπάρχουν πραγματικά δεδομένα.

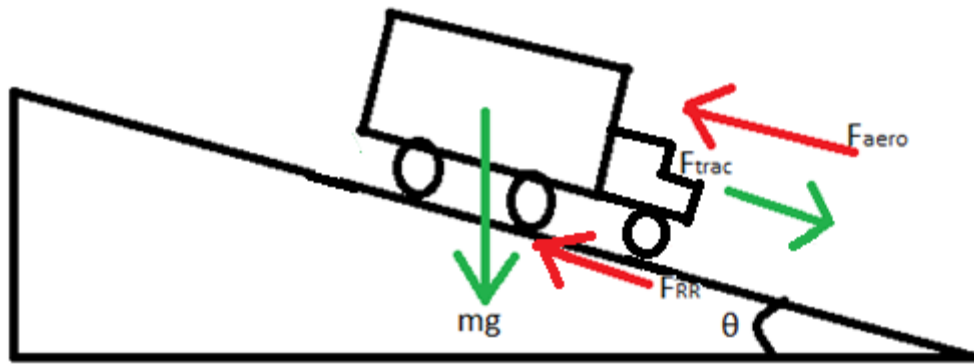
3.3 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ ΩΣΤΕ ΝΑ ΜΗΔΕΝΙΖΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΚΑΤΩΦΕΡΕΙΑ

Κατά την κίνηση ενός φορτηγού ασκούνται σε αυτό οι εξής δυνάμεις:

- Το βάρος του $m \cdot g$
- Η αεροδυναμική αντίσταση F_{aero}
- Η αντίσταση κύλισης F_{RR}
- Η δύναμη έλξης F_{trac}

Η δύναμη έλξης είναι αυτή που προσφέρει η μηχανή του οχήματος στο σύστημα κίνησης, συνεπώς συνεπάγεται κατανάλωση καυσίμου. Παίζει το ρόλο της εξισορρόπησης του ισοζυγίου των δυνάμεων, δηλαδή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τις δύο αντιστάσεις σε επίπεδο οδόστρωμα και από τις δύο αντιστάσεις και την οριζόντια συνιστώσα του βάρους σε ανηφορικό, ώστε το όχημα να κινείται και να επιταχύνει.

Παρόμοια είναι η κατάσταση και κατά την κίνηση σε κατηφορικό οδόστρωμα (επόμενο σχήμα), μόνο που η συνιστώσα του βάρους συμβάλλει στην κίνηση του οχήματος, ακόμα κι αν μειώσουμε τη δύναμη έλξης. Μάλιστα, για κάποιες τιμές της γωνίας θ, ανάλογα και με το φορτίο και την ταχύτητα κίνησης του οχήματος, μπορεί το βάρος από μόνο του να υπερνικήσει τις δύο αντιστάσεις. Σε αυτή την περίπτωση το όχημα μπορεί να κινηθεί χωρίς δύναμη έλξης, άρα και χωρίς να καταναλώνει καύσιμα.



Εικόνα 7: Δυνάμεις που ασκούνται κατά την κίνηση οχήματος σε κατωφέρεια

Έστω ότι ένα όχημα βρίσκεται προ μιας κατωφέρειας και κινείται με ταχύτητα v . Σύμφωνα με τους νόμους του Νεύτωνα, για να διατηρήσει την ταχύτητά του σταθερή κατά την κατάβαση αρκεί να ισχύει ($F_{trac}=0$):

$$m * g * \sin\theta = F_{aero} + F_{RR}$$

Σύμφωνα με τον αμερικανικό οργανισμό ORNL, οι αντιστάσεις δίνονται από τις εξής εξισώσεις:

- $F_{aero} = C_D * A_f * \frac{1}{2} * \rho * v^2$, όπου $C_D=0,62$ συντελεστής, $A_f=2,5*4$ το εμβαδό της μπροστινής επιφάνειας του φορτηγού (πλάτος 2,5m, ύψος 4m), $\rho=1,2\text{kg/m}^3$ η πυκνότητα του αέρα και v η ταχύτητα σε m/s.
- $F_{RR} = C_{RR} * m * g$, όπου $C_{RR}=0,007$ συντελεστής τριβής, m συνολική μάζα του οχήματος και $g=9.81 \text{ m/s}^2$ η επιτάχυνση της βαρύτητας.

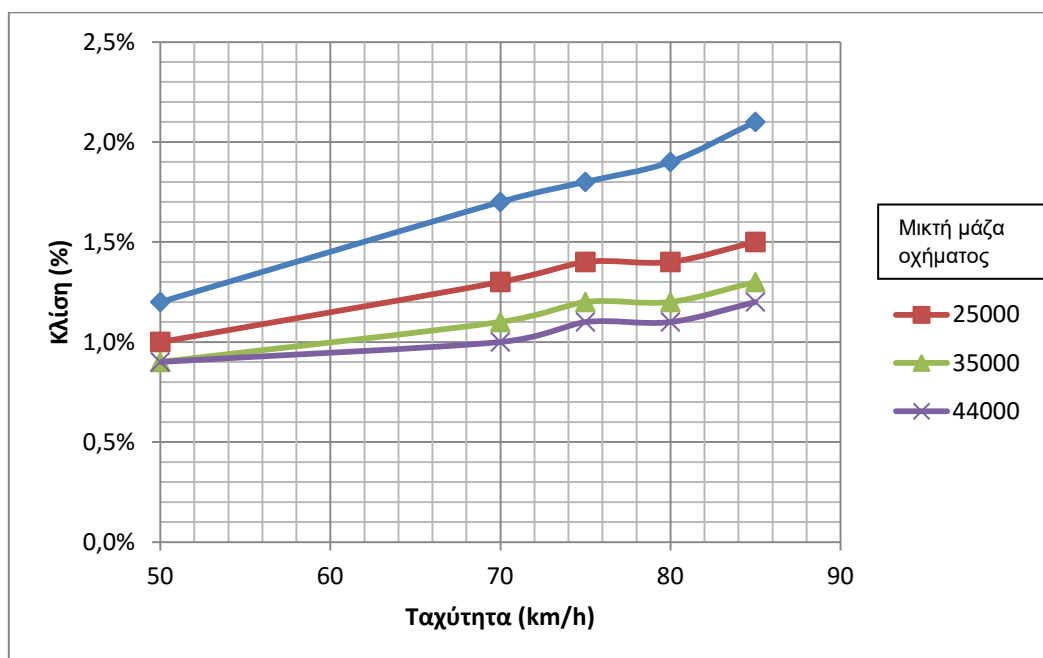
Συνεπώς θα έχουμε:

$$9,81 * m * \sin\theta = 0,62 * (2,5 * 4) * 0,5 * 1,2 * v^2 \Leftrightarrow \sin\theta = \frac{3,72*v^2+0,0687*m}{9,81*m}$$

Για διαφορετικές τιμές των v , m στην παραπάνω εξίσωση, μπορεί να υπολογιστεί η ελάχιστη τιμή της γωνίας/κλίσης έτσι ώστε να κινείται το όχημα στην κατωφέρεια χωρίς να καταναλώνει καύσιμα ($F_{trac}=0$). Ενδεικτικά παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας και το αντίστοιχο διάγραμμα.

		ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)				
		50	70	75	80	85
ΜΑΖΑ (kg)	15000	1,2%	1,7%	1,8%	1,9%	2,1%
	25000	1,0%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%
	35000	0,9%	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%
	44000	0,9%	1,0%	1,1%	1,1%	1,2%

Πίνακας 6: Ελάχιστη κλίση οδού για μηδενισμό κατανάλωσης σε κατωφέρεια ανάλογα με μικτή μάζα οχήματος και ταχύτητα κίνησης



Γράφημα 17: Ελάχιστη κλίση οδού για μηδενική κατανάλωση συναρτήσει της ταχύτητας για διάφορες τιμές της μικτής μάζας

3.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από υπολογισμούς που έγιναν με βάση τις εξισώσεις του μοντέλου που περιγράφηκε παραπάνω, καθώς και η επίδραση της αλλαγής διάφορων παραγόντων στην κατανάλωση καυσίμου.

Ο υπολογισμός αφορά ένα τμήμα 100km μιας θεωρητικής διαδρομής, με συγκεκριμένα κάθε φορά χαρακτηριστικά ως προς την κλίση, την ταχύτητα και το μικτό βάρος του οχήματος.

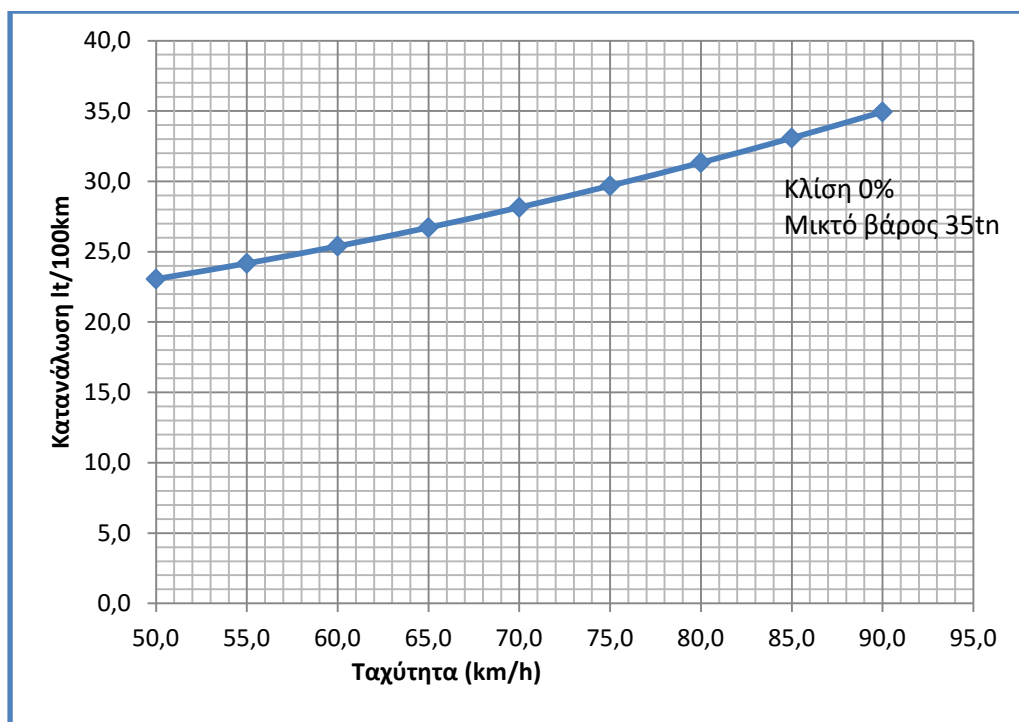
Στο πρώτο μέρος, μία από τις παραπάνω μεταβλητές παίρνει διάφορες τιμές, ενώ οι υπόλοιπες μένουν σταθερές, για να φανεί η επίδραση των αλλαγών κάθε παραμέτρου στην κατανάλωση καυσίμου. Στο δεύτερο μέρος, δύο από τις παραμέτρους μεταβάλλονται έτσι ώστε να παρουσιαστεί η επίδραση του συνδυασμού τους στην κατανάλωση.

3.4.1 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΤΑΧΥΤΗΤΑ

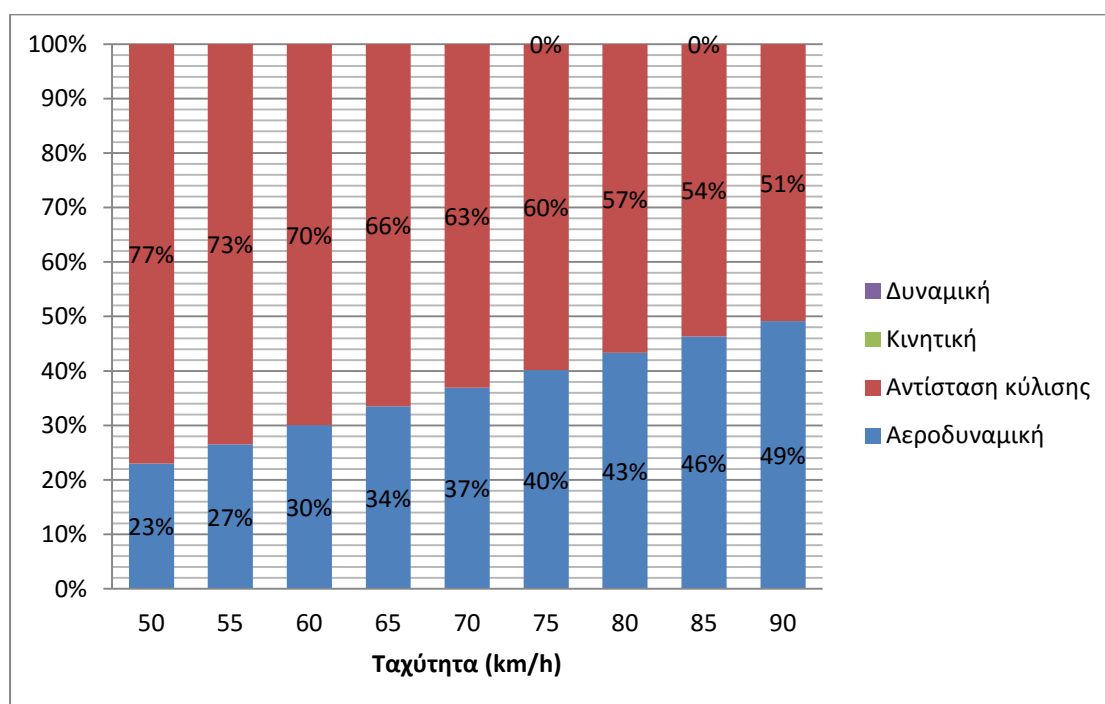
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αύξηση της ταχύτητας συνεπάγεται αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου λόγω της αύξησης της αντίστασης του αέρα. Στον παρακάτω πίνακα, καθώς και στο διάγραμμα, φαίνεται η αποτύπωση αυτής της πραγματικότητας.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ				100km			
ΚΛΙΣΗ				0%			
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ				35tn			
ΤΑΧΥΤΗΤΑ (σε km/h και m/s)		Eaero (MJ)	ERR (MJ)	Κινητική	Δυναμική	Σύνολο	Κατανάλωση (lt/100km)
50,0	13,9	71,8	240,3	0,0	0,0	312,1	23,1
55,0	15,3	86,8	240,3	0,0	0,0	327,2	24,2
60,0	16,7	103,3	240,3	0,0	0,0	343,7	25,4
65,0	18,1	121,3	240,3	0,0	0,0	361,6	26,7
70,0	19,4	140,6	240,3	0,0	0,0	381,0	28,2
75,0	20,8	161,5	240,3	0,0	0,0	401,8	29,7
80,0	22,2	183,7	240,3	0,0	0,0	424,0	31,3
85,0	23,6	207,4	240,3	0,0	0,0	447,7	33,1
90,0	25,0	232,5	240,3	0,0	0,0	472,8	34,9

Πίνακας 7: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές της ταχύτητας



Γράφημα 18: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – ταχύτητας σύμφωνα με μοντέλο ORNL για κλίση 0% και μικτό βάρος 35tn

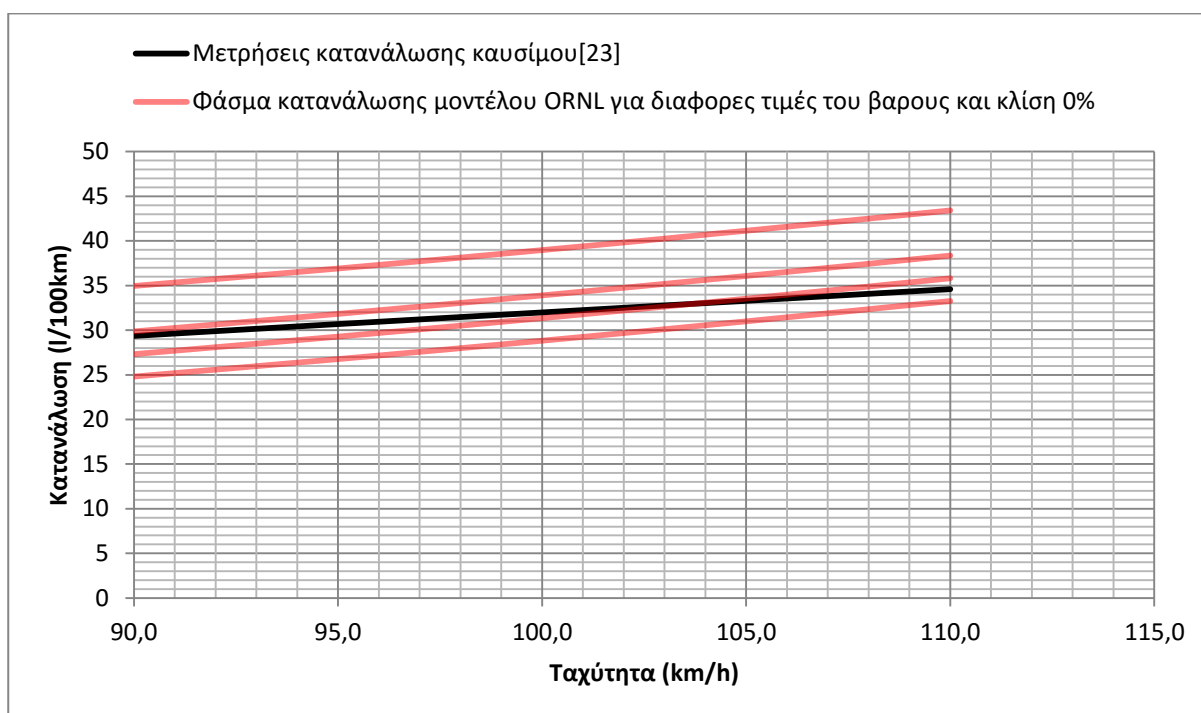


Γράφημα 19: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει της ταχύτητας για κλίση 0% και μικτό βάρος 35tn

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η ενέργεια αεροδυναμικής αντίστασης έχει πολύ χαμηλή τιμή για μικρές τιμές της ταχύτητας και αυξάνεται δραστικά στη συνέχεια. Αντίθετα, η ενέργεια αντίστασης κύλισης

έχει σταθερή τιμή, μιας και εξαρτάται από το βάρος και την ποιότητα των ελαστικών και του οδοστρώματος (συντελεστής τριβής) που έχουν σταθερή τιμή στη συγκεκριμένη περίπτωση. Αξίζει ακόμα να τονιστεί ότι η σχέση ταχύτητας και κατανάλωσης για σταθερή τιμή της κλίσης και του βάρους είναι σχεδόν γραμμική. Να τονιστεί επίσης ότι λόγω της επιλογής για μηδενική κλίση και σταθερή ταχύτητα, τόσο η δυναμική όσο και η κινητική ενέργεια έχουν μηδενική τιμή.

Στη βιβλιογραφία [23], όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχουν μετρήσεις της κατανάλωσης για διαφορετικές ταχύτητες. Η προσαρμογή τους σε μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ σε σχέση με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το προτεινόμενο μοντέλο φαίνονται στο επόμενο γράφημα. Η δέσμη των γραφημάτων που υπολογίστηκαν με το προτεινόμενο μοντέλο για μικρές αυξομειώσεις του μικτού βάρους του οχήματος περικλείουν την καμπύλη που προκύπτει από τις πραγματικές μετρήσεις. Το γεγονός αυτό επαληθεύει τις εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν, μιας και οι ακριβείς συνθήκες κάτω από τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις (εκτός από την ταχύτητα) δεν είναι γνωστές.



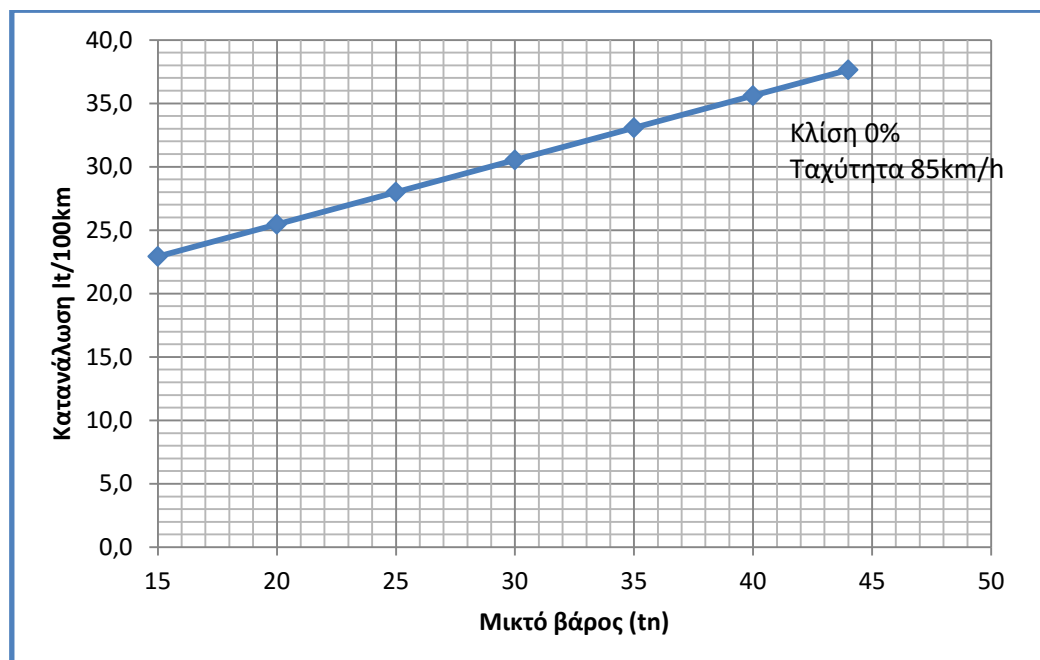
Γράφημα 20: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις [23] ως προς την επιρροή της ταχύτητας

3.4.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ

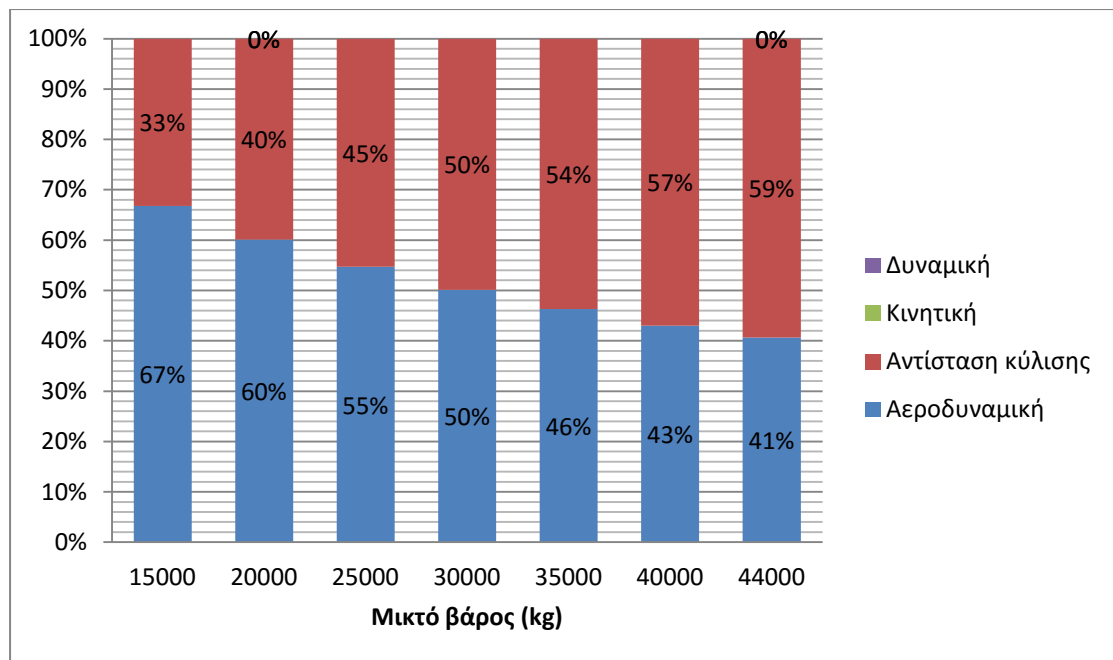
Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται παρακάτω, διατηρώντας σταθερή την ταχύτητα και αλλάζοντας μόνο το βάρος του οχήματος, η ενέργεια αντίστασης κύλισης είναι αυτή που μεταβάλλεται, μέχρι που γίνεται ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την κατανάλωση καυσίμου.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ			100km			
ΚΛΙΣΗ			0%			
ΤΑΧΥΤΗΤΑ			85km/h			
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (σε kg)	Eaero (MJ)	ERR (MJ)	Κινητική	Δυναμική	Σύνολο	Κατανάλωση (lt/100km)
15000	207,2	103,0	0,0	0,0	310,2	22,9
20000	207,2	137,3	0,0	0,0	344,5	25,5
25000	207,2	171,7	0,0	0,0	378,9	28,0
30000	207,2	206,0	0,0	0,0	413,2	30,5
35000	207,2	240,3	0,0	0,0	447,5	33,1
40000	207,2	274,7	0,0	0,0	481,9	35,6
44000	207,2	302,1	0,0	0,0	509,3	37,6

Πίνακας 8: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές του μικτού βάρους



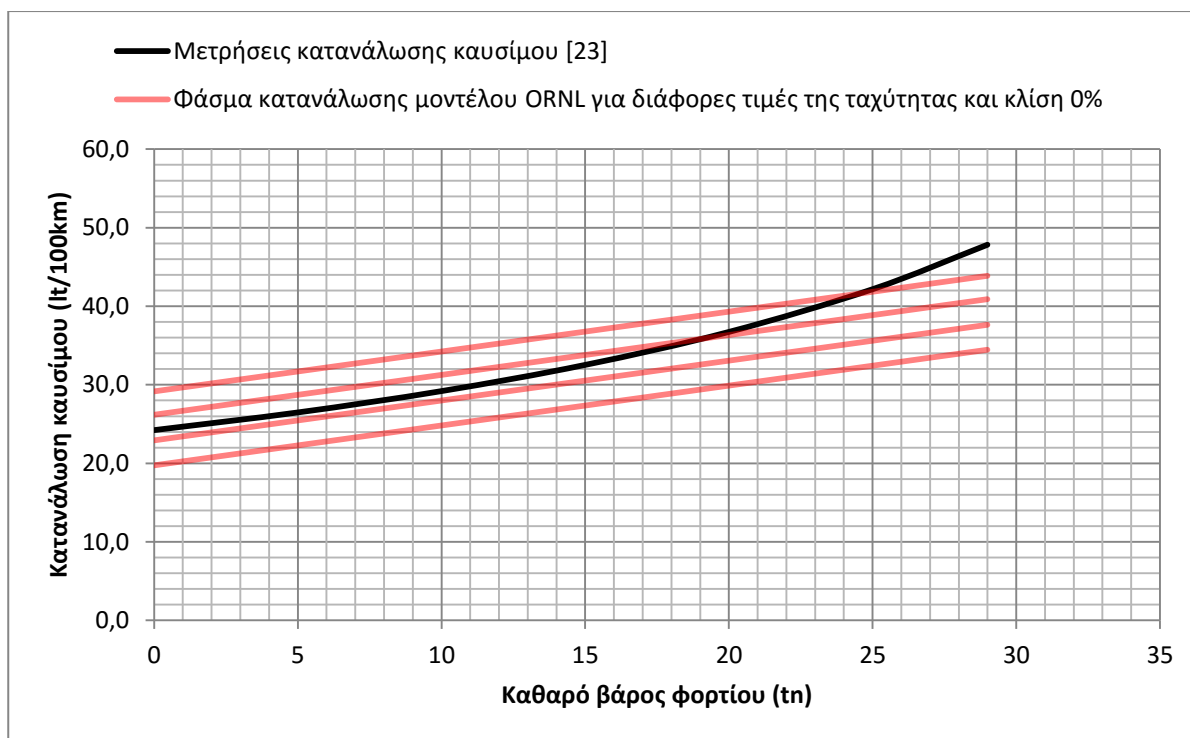
Γράφημα 21: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – μικτού βάρους σύμφωνα με μοντέλο ORNL για κλίση 0% και ταχύτητα 85km/h



Γράφημα 22: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει του μικτού βάρους για κλίση 0% και ταχύτητα 85km/h

Η σχέση των δύο μεγεθών παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτή που μελετήθηκε νωρίτερα, κάτι που αποτυπώνεται στη μορφή των διαγραμμάτων και τη γραμμική προσαρμογή τους. Υπάρχει όμως και η σημαντική διαφορά που έχει να κάνει με το ποια μορφή ενέργειας επηρεάζεται από τις μεταβολές της παραμέτρου. Σε αυτή την περίπτωση είναι η ενέργεια αντίστασης κύλισης.

Στο παρακάτω γράφημα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με ό, τι κοντινότερο υπάρχει στη βιβλιογραφία [12]. Η δέσμη των υπολογισθέντων με το μοντέλο γραφημάτων επιβεβαιώνεται από τα υπάρχοντα στη βιβλιογραφία. Το μόνο σημείο που παρουσιάζει απόκλιση είναι αυτό για τις μέγιστες τιμές του βάρους του φορτίου, η επίδραση του οποίου είναι πιο έντονη στα πειραματικά δεδομένα.



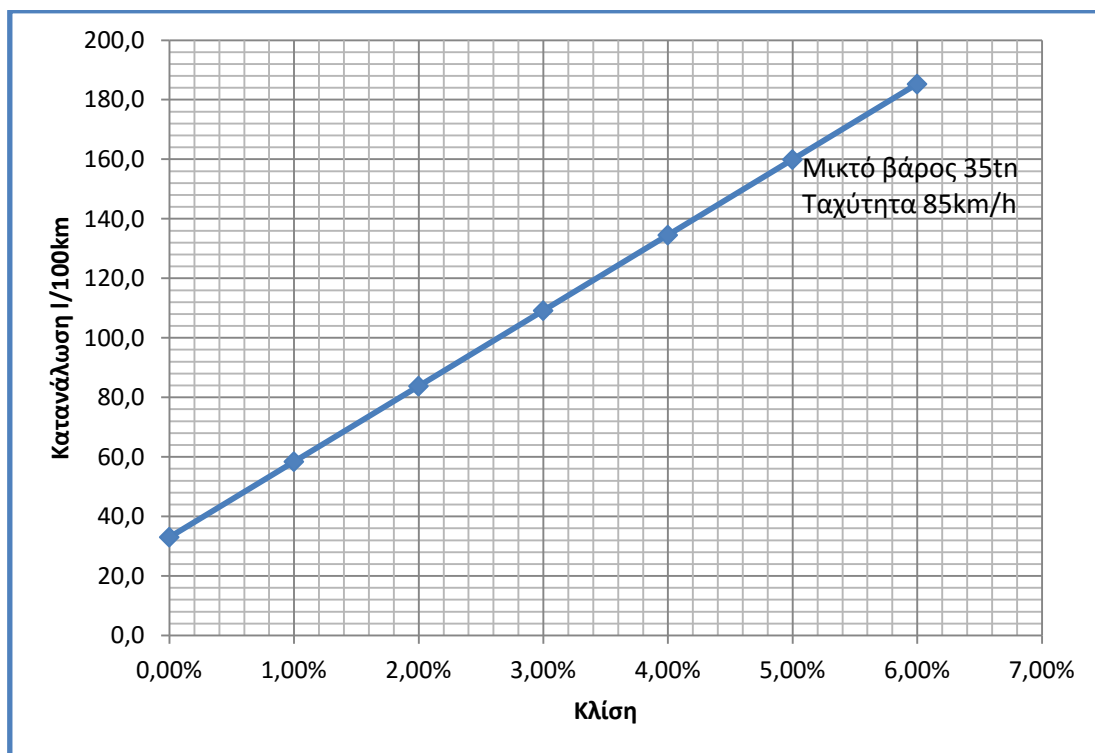
Γράφημα 23: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις [23] ως προς την επιρροή του μικτού βάρους

3.4.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΚΛΙΣΗ

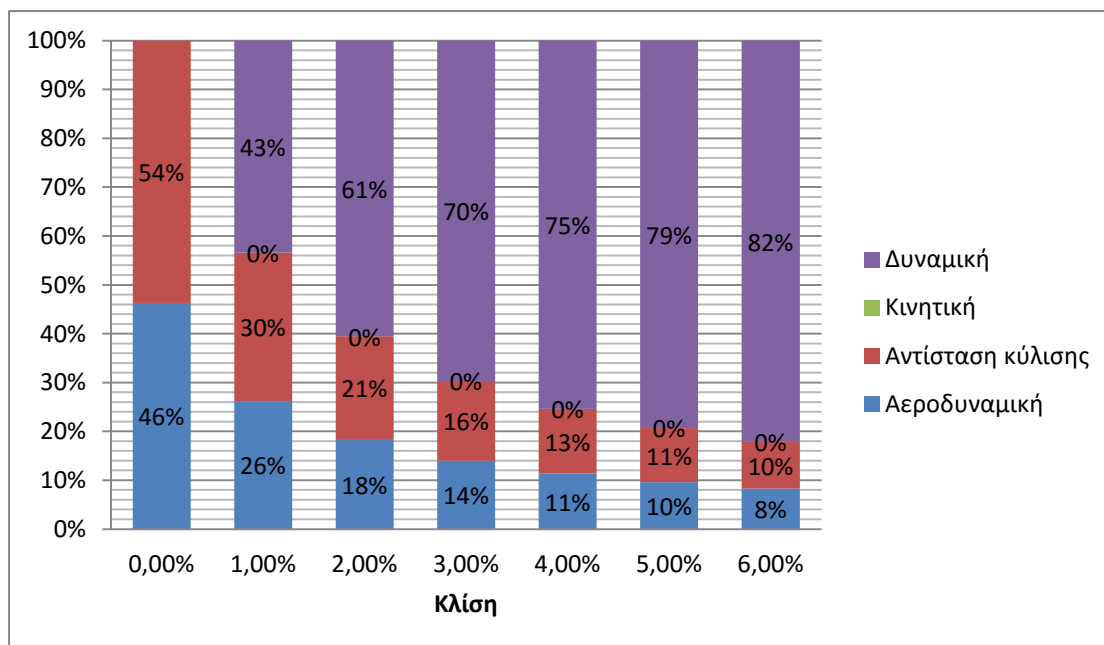
Η σταθερή τιμή ταχύτητας και μικτού βάρους που υποτίθεται σε αυτή την περίπτωση, διατηρεί τις ενέργειες αεροδυναμικής αντίστασης και αντίστασης κύλισης σταθερές. Για διαφορετικές τιμές της κλίσης, το μέγεθος που επηρεάζεται είναι η δυναμική ενέργεια.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ				100km		
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ				35tn		
ΤΑΧΥΤΗΤΑ				85km/h		
ΚΛΙΣΗ	Eaero (MJ)	ERR (MJ)	Κινητική	Δυναμική (MJ)	Σύνολο	Κατανάλωση (lt/100km)
0,00%	207,2	240,3	0,0	0,0	447,5	33,1
1,00%	207,2	240,3	0,0	343,4	790,9	58,4
2,00%	207,2	240,3	0,0	686,7	1134,2	83,8
3,00%	207,2	240,3	0,0	1030,1	1477,6	109,2
4,00%	207,2	240,3	0,0	1373,4	1820,9	134,6
5,00%	207,2	240,3	0,0	1716,8	2164,3	159,9
6,00%	207,2	240,3	0,0	2060,1	2507,6	185,3

Πίνακας 9: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές της κλίσης της οδού



Γράφημα 24: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – κλίσης οδού σύμφωνα με μοντέλο ORNL για μικτό βάρος 35tn και ταχύτητα 85km/h

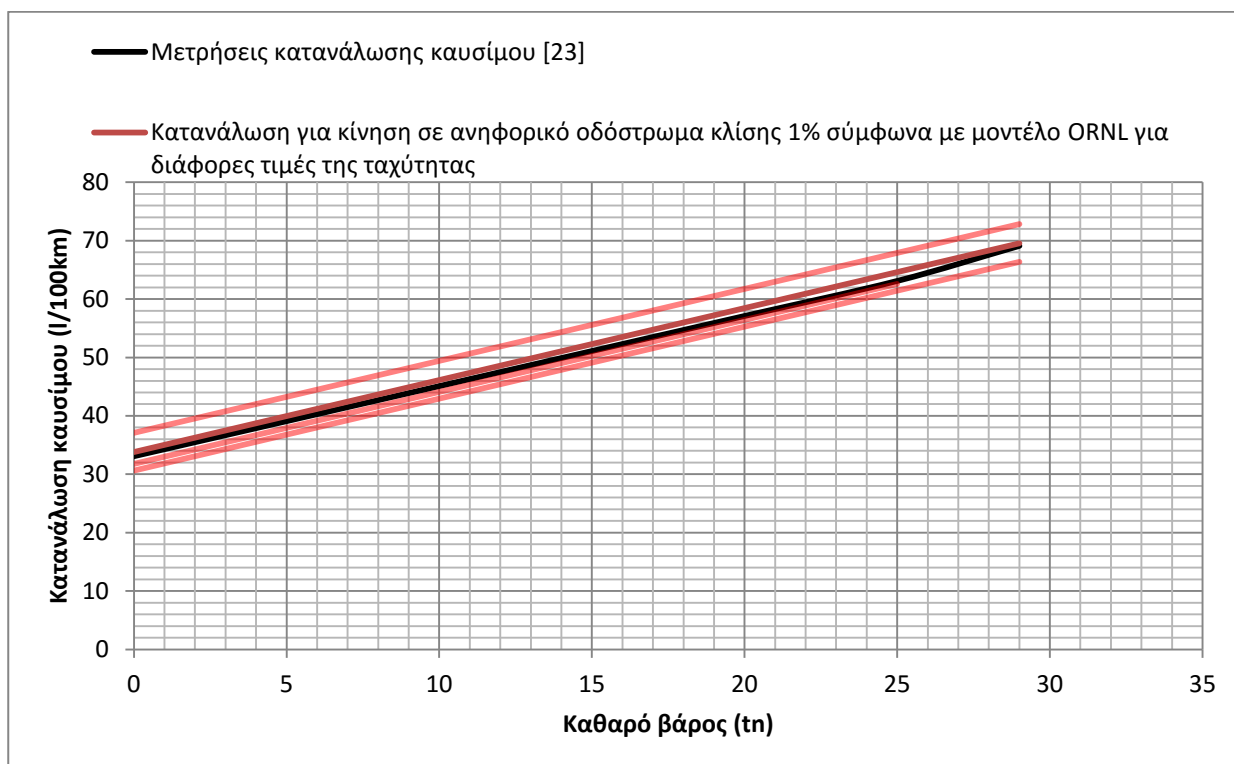


Γράφημα 25: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει της κλίσης για μικτό βάρος 35tn και ταχύτητα 85km/h

Εδώ παρατηρούνται τιμές της κατανάλωσης πολύ μεγαλύτερες απ' ό, τι στις προηγούμενες περιπτώσεις. Ωστόσο υπενθυμίζεται ότι τα σενάρια που

εξετάστηκαν είναι αρκετά ακραία (π.χ. κλίση >2% για 100km). Είναι φανερό λοιπόν ότι από τους παράγοντες που έχουν εξεταστεί μέχρι στιγμής η κλίση έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου. Μάλιστα το γράφημα κατανάλωσης – κλίσης έχει και την πιο μεγάλη κλίση.

Μετά την πραγματοποίηση υπολογισμών με το προτεινόμενο μοντέλο για οδόστρωμα με κλίση 1%, είναι δυνατή η σύγκριση με πραγματικές μετρήσεις από τη βιβλιογραφία [23]. Όπως φαίνεται και στο επόμενο γράφημα, οι τιμές σχεδόν συμπίπτουν. Συνεπώς, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το προτεινόμενο μοντέλο περιγράφει με πολύ ικανοποιητικό τρόπο την κίνηση σε ανηφορικό οδόστρωμα.



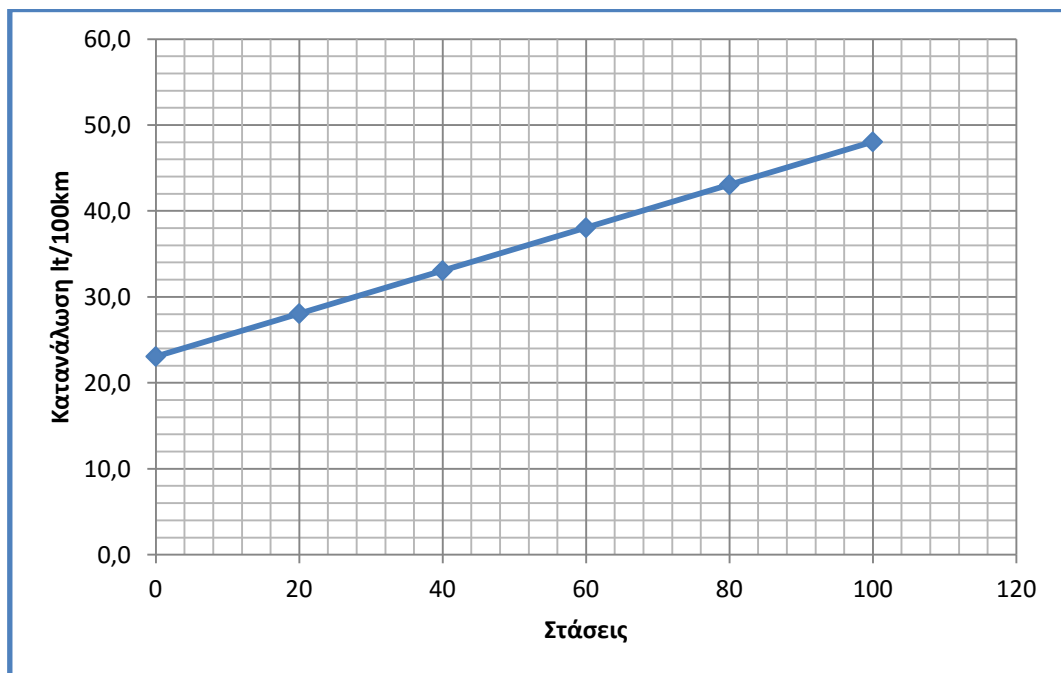
Γράφημα 26: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις [23] ως προς την κίνηση σε ανηφορικό οδόστρωμα για διάφορες τιμές της ταχύτητας συναρτήσει του μεταφερόμενου καθαρού βάρους

3.4.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΣΤΑΣΕΙΣ

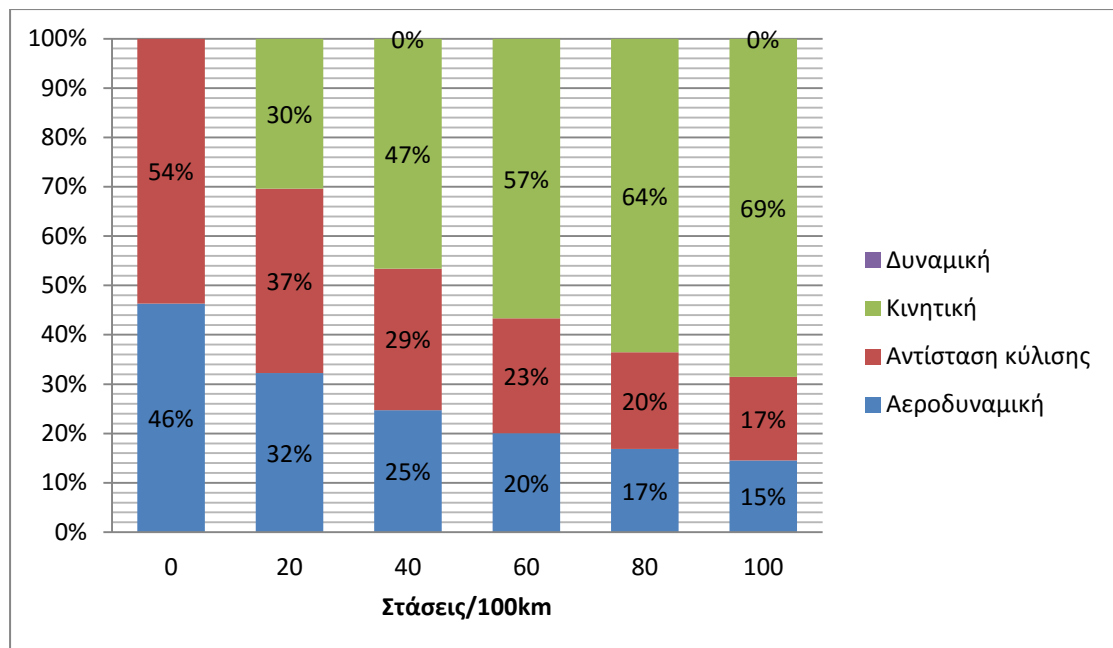
Μέχρι τώρα μελετήθηκαν περιπτώσεις όπου το όχημα είχε εκ των προτέρων αναπτύξει μια ταχύτητα την οποία διατήρησε και μέχρι το τέλος της διαδρομής που εξετάστηκε. Τώρα, το όχημα θα κάνει και ενδιάμεσες στάσεις. Αυτό σημαίνει πως η ενέργεια έλξης θα μετατραπεί και σε κινητική ενέργεια, μιας και το όχημα από σταματημένο θα αποκτήσει ξανά ταχύτητα. Αυτό θα συμβεί τόσες φορές όσες και οι στάσεις.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ			100km			
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ			35tn			
ΤΑΧΥΤΗΤΑ			85km/h			
ΚΛΙΣΗ			0%			
ΣΤΑΣΕΙΣ	Eaero (MJ)	ERR (MJ)	Κινητική (MJ)	Δυναμική	Σύνολο	Κατανάλωση (lt/100km)
0	71,9	240,3	0,0	0,0	312,2	23,1
20	71,9	240,3	67,6	0,0	379,8	28,1
40	71,9	240,3	135,2	0,0	447,5	33,1
60	71,9	240,3	202,9	0,0	515,1	38,1
80	71,9	240,3	270,5	0,0	582,7	43,1
100	71,9	240,3	338,1	0,0	650,3	48,1

Πίνακας 10: Κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου για διαφορετικές τιμές του πλήθους των στάσεων



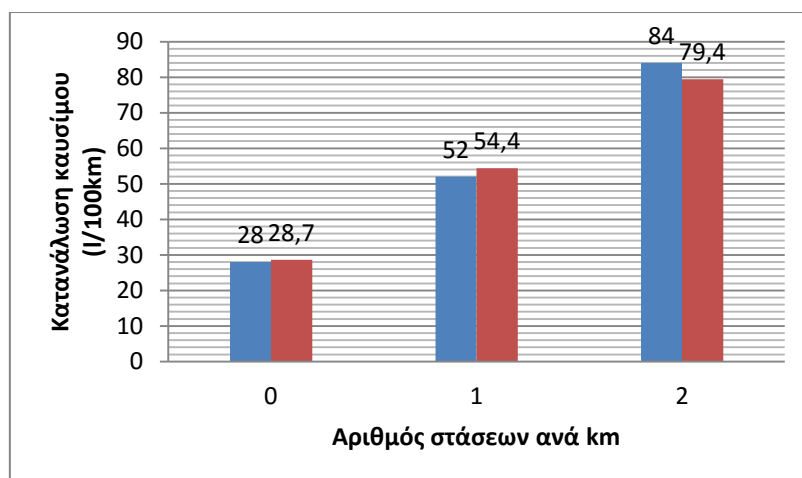
Γράφημα 27: Γραφική αναπαράσταση σχέσης κατανάλωσης – στάσεων σύμφωνα με μοντέλο ORNL για κλίση 0%, μικό βάρος 35tn και ταχύτητα 85km/h



Γράφημα 28: Ποσοστό μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας σε άλλες μορφές συναρτήσει του αριθμού των στάσεων για κλίση 0%, μικό βάρος 35t και ταχύτητα 85km/h

Αυτό που αξίζει να αναφερθεί ακόμα είναι ότι το πλήθος των στάσεων, ακόμα κι όταν είναι μικρό σχετικά, μεταβάλλει σε σημαντικό βαθμό την κατανάλωση καυσίμου. Μάλιστα, όταν το πλήθος των στάσεων είναι 25 παρατηρούμε ότι αποτελεί τον πλέον βασικό παράγοντα κατανάλωσης καυσίμου.

Η σχέση με τη βιβλιογραφία φαίνεται στο παρακάτω γράφημα. Εδώ οι τιμές για το προτεινόμενο μοντέλο είναι ελαφρώς διαφορετικές από αυτές που δίνονται στη βιβλιογραφία, ωστόσο ξανά δεν έχει ληφθεί υπόψη κλίση για το δρόμο, αυξομειώσεις ταχύτητας κτλ, δηλαδή οι συνθήκες είναι σχεδόν ιδανικές. Παρόλα αυτά, αυτό που μπορεί κανείς να παρατηρήσει είναι ότι ο τρόπος που αυξάνεται η κατανάλωση είναι όμοιος στις δύο περιπτώσεις.



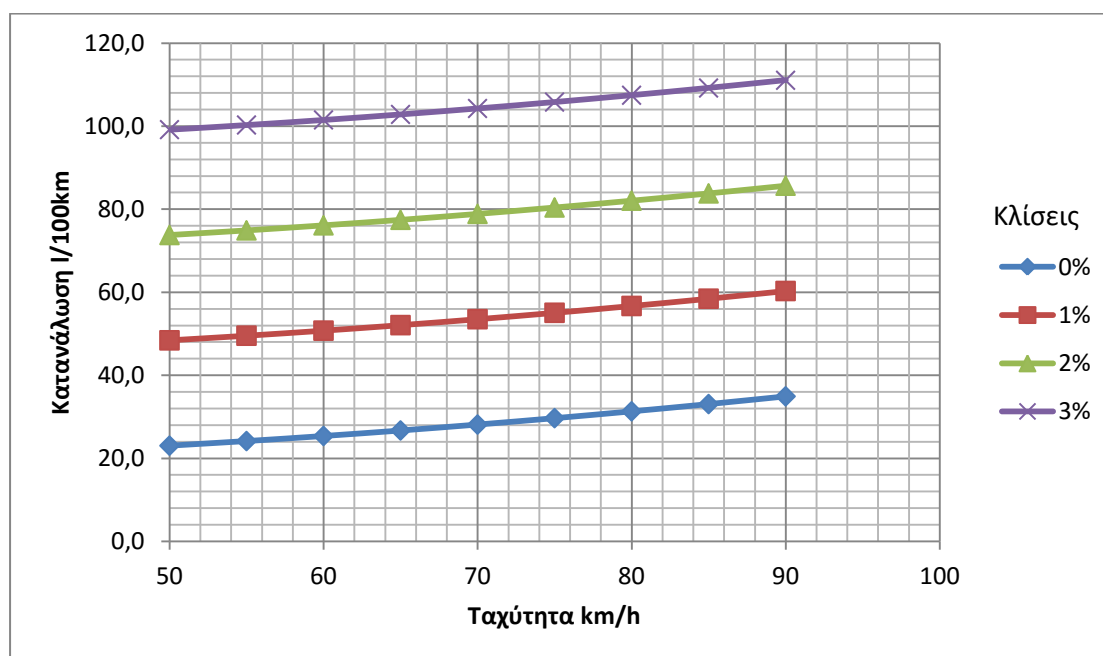
Γράφημα 29: Σύγκριση μοντέλου ORNL με μετρήσεις [9] ως προς τον αριθμό των στάσεων, για ταχύτητα κίνησης 50km/h

3.4.5 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ

Παρακάτω φαίνεται αναλυτικότερα η επίδραση της ταχύτητας στην κατανάλωση, για διάφορες τιμές της κλίσης. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η αύξηση της κλίσης από 0% σε 3% πενταπλασιάζει την κατανάλωση καυσίμου.

ΦΟΡΤΙΟ		35tn								
ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
										ΚΛΙΣΗ
0%	23,1	24,2	25,4	26,7	28,2	29,7	31,3	33,1	34,9	
1%	48,4	49,5	50,8	52,1	53,5	55,1	56,7	58,5	60,3	
2%	73,8	74,9	76,1	77,5	78,9	80,4	82,1	83,8	85,7	
3%	99,2	100,3	101,5	102,8	104,3	105,8	107,5	109,2	111,1	

Πίνακας 11: Κατανάλωση (l/100km) συναρτήσει της ταχύτητας για διάφορες τιμές της κλίσης



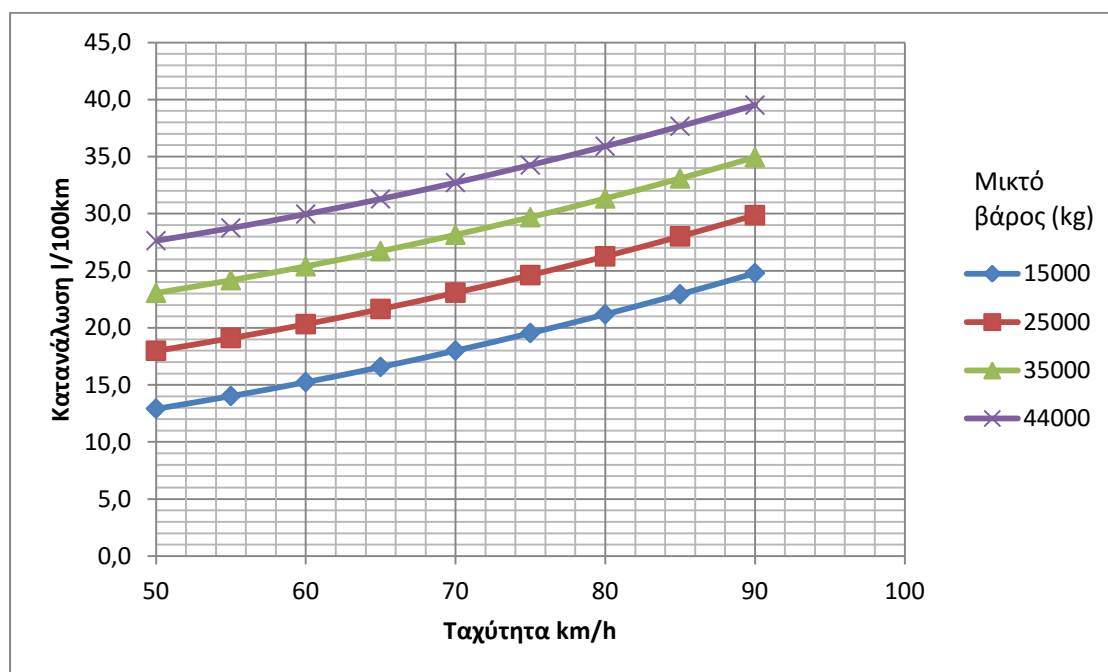
Γράφημα 30: Κατανάλωση - Ταχύτητα για διάφορες κλίσεις

3.4.6 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΗ

Εδώ, με την κλίση 0%, φαίνεται η επίδραση της ταχύτητας σε διάφορες κατηγορίες βάρους. Η επίδραση του βάρους είναι σαφώς μικρότερη από αυτή της κλίσης.

ΚΛΙΣΗ 0%									
ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)	50	55	60	65	70	75	80	85	90
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ									
15000	12,9	14,0	15,2	16,6	18,0	19,5	21,2	22,9	24,8
25000	18,0	19,1	20,3	21,6	23,1	24,6	26,3	28,0	29,9
35000	23,1	24,2	25,4	26,7	28,2	29,7	31,3	33,1	34,9
44000	27,6	28,7	30,0	31,3	32,7	34,3	35,9	37,7	39,5

Πίνακας 12: Κατανάλωση (l/100km) συναρτήσει της ταχύτητας για διάφορες τιμές του μικτού βάρους



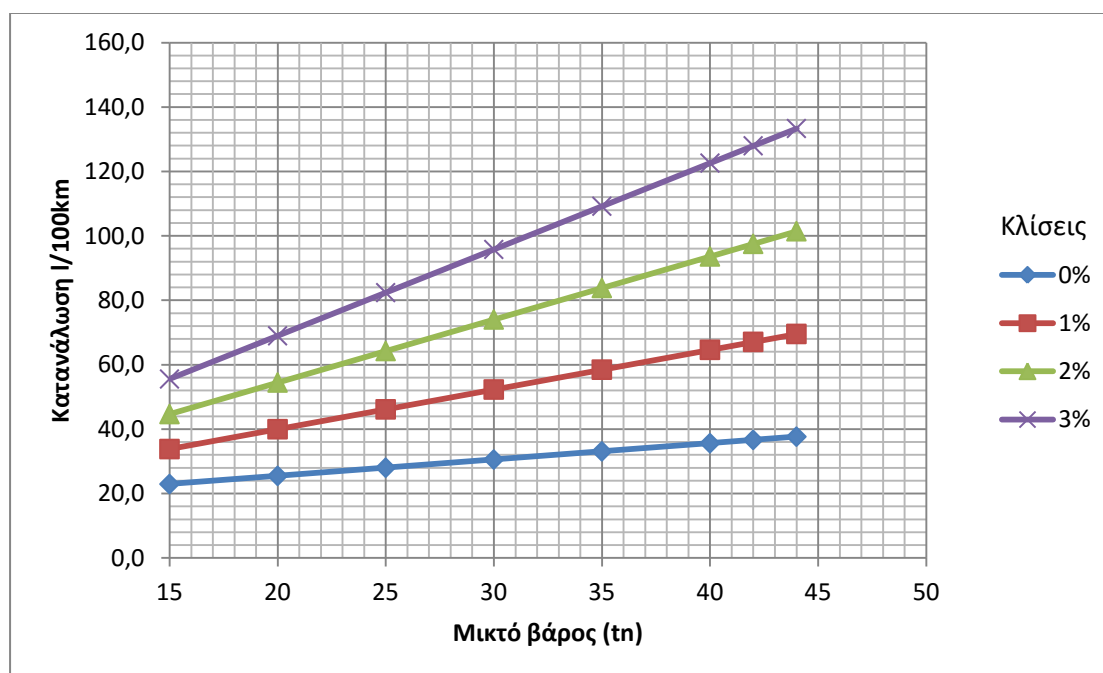
Γράφημα 31: Κατανάλωση - Ταχύτητα για διάφορα βάρη

3.4.7 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ – ΒΑΡΟΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ

Στα παρακάτω γραφήματα, η αλλαγή στις κλίσεις αλλάζει κατά μία τάξη μεγέθους την κατανάλωση, ειδικά για τις μεγαλύτερες τιμές του βάρους.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 85km/h								
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (kg)	15000	20000	25000	30000	35000	40000	42000	44000
ΚΛΙΣΗ								
0%	22,9	25,5	28,0	30,5	33,1	35,6	36,6	37,7
1%	33,8	40,0	46,1	52,3	58,5	64,6	67,1	69,5
2%	44,7	54,5	64,3	74,0	83,8	93,6	97,5	101,4
3%	55,6	69,0	82,4	95,8	109,2	122,6	128,0	133,3

Πίνακας 13: Κατανάλωση (l/100km) συναρτήσει του μικτού βάρους για διάφορες τιμές της κλίσης



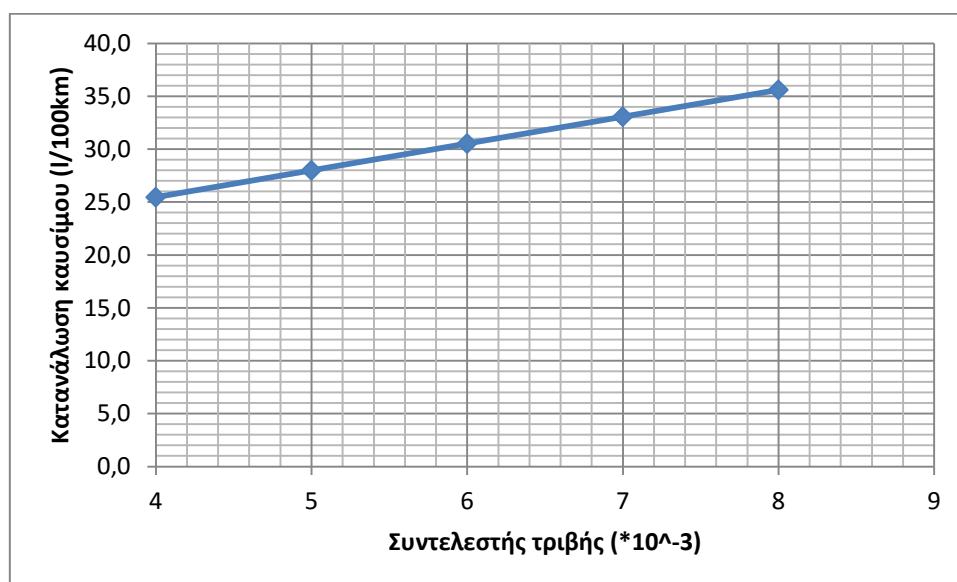
Γράφημα 32: Κατανάλωση - Βάρος για διάφορες κλίσεις

3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο μοντέλο που παρουσιάστηκε, υπάρχουν σταθερές για τις οποίες οι μελετητές προτείνουν κάποιες μέσες τιμές, αν δεν υπάρχει δυνατότητα γνώσης της πραγματικής τιμής τους. Οι περισσότερες εξ αυτών αφορούν τη λειτουργία της μηχανής και δεν άπτονται του θέματος της παρούσας εργασίας.

Ο συντελεστής τριβής C_{RR} όμως, εξαρτάται μόνο από την κατάσταση του οδοστρώματος και, κατά δεύτερο λόγο, από την ποιότητα των ελαστικών. Ως συνηθέστερη τιμή προτείνεται το 0,007, ενώ αναφέρεται ακόμα πως κυμαίνεται από 0,004 έως 0,008. Το 0,004 αναφέρεται σε καινούριο οδόστρωμα και ελαστικά, ενώ το 0,008, αντίθετα, σε οδόστρωμα με πολλές φθορές και μεταχειρισμένα ελαστικά.

Στο επόμενο γράφημα παρατηρεί κανείς ότι για τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη η αύξηση στην κατανάλωση λόγω κακής κατάστασης του οδοστρώματος φτάνει το 40%.



Γράφημα 33: Κατανάλωση καυσίμου συνάρτησις του συντελεστή τριβής για ταχύτητα 85 km/h, κλίση 0% και μικτό βάρος 35tn

3.6 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΣΥΡΜΟΥ

Όπως έχει αναφερθεί, για τον υπολογισμό της κατανάλωσης της σιδηροδρομικής μεταφοράς, θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις του μοντέλου που περιγράφεται στη διπλωματική εργασία [42]. Σύμφωνα με αυτές:

Το μέγιστο φορτίο που μπορεί να έλξει μια μηχανή είναι το ελάχιστο των παρακάτω ποσοτήτων:

- Μέγιστο ελκόμενο φορτίο για εκκίνηση σε ανωφέρεια

$$G_{ΕΛΚ} = \frac{\Pi - w_i \cdot G_{ΜΕΛ}}{w_o + w_i} \quad [\%]$$

Όπου:

$G_{ΜΕΛ}$ το βάρος της μηχανής έλξη σε kN

$G_{ΕΛΚ}$ το βάρος των ελκομένων οχημάτων σε N

w_o η ειδική αντίσταση εκκίνησης

w_i η ειδική αντίσταση κλίσης

Π η δύναμη πρόσφυσης της μηχανής έλξης σε kN

$$\Pi = \mu \cdot M_{ΚΤ} \cdot g$$

Όπου:

$M_{ΚΤ}$ η μάζα που αναλαμβάνουν οι κινητήριοι τροχοί

g η επιτάχυνση της βαρύτητας ($=9,81 \text{ m/s}^2$)

μ ο συντελεστής πρόσφυσης

$\mu = 0,161 + \frac{7,5}{V+44}$ για ξηρή κατάσταση σιδηροτροχιάς
και αμμοβολημένη

$\mu = 0,130 + \frac{7,5}{V+44}$ για υγρή κατάσταση σιδηροτροχιάς
και αμμοβολημένη

Όπου:

V η ταχύτητα κίνησης του συρμού σε m/s.

- Μέγιστο ελκόμενο φορτίο που προκύπτει βάσει της ωριαίας ισχύος

$$(G_{\text{ΜΕΛ}} + G_{\text{ΕΛΚ}}) = \frac{Z_{\omega\rho}}{\Sigma w} \quad , \text{ όπου:}$$

$G_{\text{ΜΕΛ}}$ το βάρος της μηχανής έλξης [kN]

$G_{\text{ΕΛΚ}}$ το βάρος των ελκόμενων οχημάτων [kN]

$Z_{\omega\rho}$ η ωραία ισχύς της μηχανής έλξης [N]

Σw το σύνολο των ειδικών αντιστάσεων [%]

- Μέγιστο ελκόμενο φορτίο λόγω ζεύξης

$$G_{\text{ΕΛΚ}} = \frac{Z_{\text{ΑΓΚ}}}{\Sigma w} \quad , \text{ όπου:}$$

$G_{\text{ΕΛΚ}}$ το βάρος των ελκόμενων οχημάτων [kN]

$Z_{\text{ΑΓΚ}}$ η δύναμη του αγκίστρου [N]

Σw το σύνολο των ειδικών αντιστάσεων [%]

Στη συνέχεια, υπολογίζεται με βάση το συνολικό βάρος των ελκόμενων οχημάτων (που έχει υπολογιστεί προηγουμένως) το πλήθος των μηχανών έλξης. Ακόμα, υπολογίζεται η συνολική μάζα του συρμού, ως το άθροισμα της μάζας των μηχανών έλξης και της μικτής ελκόμενης μάζας.

Στο τελευταίο βήμα των υπολογισμών, γίνεται αναφορά στους παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου, καθώς και στους παραγόμενους ρύπους. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι το είδος του συστήματος έλξης, η συνολική μάζα του συρμού, τα χαρακτηριστικά της σιδηροδρομικής γραμμής, η ταχύτητα κίνησης, η απόσταση μεταξύ των στάσεων, η οδηγική συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του τροχαίου υλικού.

Σύμφωνα με αυτό, η ενέργεια που καταναλώνεται είναι συνάρτηση των αντιστάσεων καμπύλης, κλίσης και κύλισης του συρμού. Συγκεκριμένα:

$$a\left[\frac{Wh}{t \cdot km}\right] = 2,78 * \Sigma w$$

Όπου:

a η ειδική κατανάλωση ενέργειας

Σw το σύνολο των ειδικών αντιστάσεων

2,78 συντελεστής που προκύπτει από τη μετατροπή των μονάδων

Οι ειδικές αντιστάσεις κύλισης υπολογίζονται ως εξής:

$$W_{ME\Lambda} = 5 \cdot G_{KA} + 4 \cdot \left\{ \frac{(V + 15)}{10} \right\}^2$$

Όπου:

$W_{ME\Lambda}$ η αντίσταση κύλισης της μηχανής έλξης [N]

G_{KA} το βάρος που αναλαμβάνουν οι κινητήριοι τροχοί [kN]

V η ταχύτητα κίνησης του συρμού [km/h]

$$W_{KY\Lambda,EM\Pi} = c_0 + (0,007 + m) \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

Όπου:

$W_{KY\Lambda,EM\Pi}$ η ειδική αντίσταση κύλισης εμπορικών ελκόμενων οχημάτων [‰]

$c_0=1,4/2,0$ για ένσφαιρους/ ολισθαίνοντες τριβείς στην έδραση των αξόνων

V ταχύτητα συρμού [km/h]

$m=0,05/0,025$ για μικτής μορφής οχήματα (κλειστά/ανοιχτά)/ για οχήματα που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η ειδική αντίσταση κύλισης ολόκληρου του συρμού:

$$W_{KY\Lambda,\Sigma} = \frac{n \cdot W_{ME\Lambda} + W_{KY\Lambda,EM\Pi} \cdot G_{E\Lambda K}}{G_{\Sigma}}$$

Όπου:

$W_{KY\Lambda,\Sigma}$ η ειδική αντίσταση κύλισης ολόκληρου του συρμού

n ο αριθμός των μηχανών έλξης

$W_{ME\Lambda}$ η αντίσταση κύλισης της μηχανής έλξης [N]

$W_{KY\Lambda,EM\Pi}$ η ειδική αντίσταση κύλισης εμπορικών ελκόμενων οχημάτων [‰]

$G_{E\Lambda K}$ το βάρος των ελκόμενων οχημάτων [kN]

G_{Σ} το συνολικό βάρος του συρμού [kN]

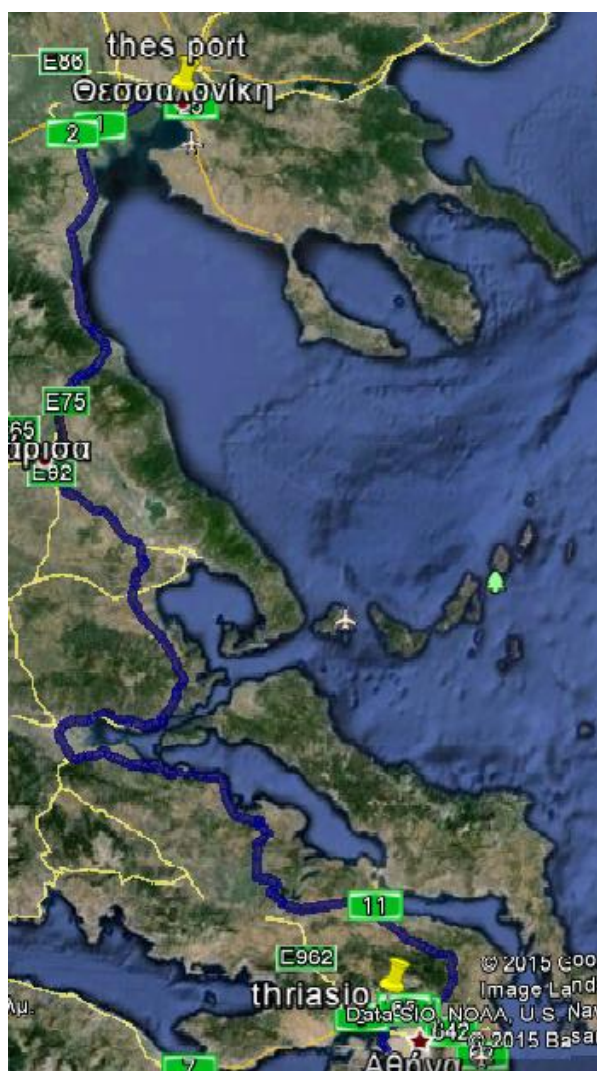
Από την άλλη μεριά, η ειδική αντίσταση κλίσης προκύπτει από το προφίλ κλίσεων της διαδρομής, ενώ για την ειδική αντίσταση καμπύλης λαμβάνεται μια μέση τιμή για τη διαδρομή (π.χ. 1,5%).

4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΔΙΚΩΝ – ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΘΗΝΑ – ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, επιλέχθηκε το τμήμα Αθήνα – Θεσσαλονίκη για να εφαρμοστεί ο υπολογισμός με το προτεινόμενο μοντέλο, διότι θα ήταν άμεση η σύγκριση με το μοντέλο για σιδηροδρομική μεταφορά που επιλέχθηκε και περιγράφεται στη διπλωματική [42], όπου η εφαρμογή έγινε επίσης στο ίδιο τμήμα.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στη συγκεκριμένη εργασία και στο κεφάλαιο «Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα», η Ε. Τουρνάκη προτείνει τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου με ένα αναλυτικότερο μοντέλο από εκείνο που η ίδια χρησιμοποίησε. Συνεπώς η σύγκριση που γίνεται σε αυτό το κεφάλαιο απαντά σε αυτή την προτροπή.



Εικόνα 8: Διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη από Google Earth

4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σύμφωνα με το μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω, για να υπολογιστεί η κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος σε μια πραγματική διαδρομή, θα πρέπει να υπάρχουν σαν δεδομένα τα υψόμετρα ενός ικανού αριθμού σημείων της διαδρομής, η κατά μήκος κλίση του δρόμου, η ταχύτητα διέλευσης από κάθε σημείο, το μικτό βάρος του οχήματος και το πλήθος των στάσεων που θα πραγματοποιήσει το όχημα.

Για να συλλεχθούν τα απαραίτητα δεδομένα, αρχικά έγινε εξαγωγή των σημείων της διαδρομής Θριάσιο (αφετηρία φορτηγών στην Αττική) – Θεσσαλονίκη από την εφαρμογή Google Earth, και συγκεκριμένα των συντεταγμένων σημείων ανά 60 μέτρα. Μετά, με χρήση διαδικτυακής εφαρμογής [43], υπολογίστηκε το υψόμετρο των σημείων.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα εισήχθησαν σε φύλλο εργασίας του Microsoft Excel, όπου υπολογίστηκε και η κλίση μεταξύ των διαδοχικών σημείων. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν σφάλματα στα υψόμετρα κάποιων σημείων, κατά κύριο λόγο στα τμήματα της διαδρομής που ήταν πάνω σε γέφυρα ή μέσα σε σήραγγα. Τα σφάλματα αυτά αφορούσαν εξωπραγματικές τιμές υψομέτρων σε κάποια από τα σημεία και κρίθηκε απαραίτητη η διόρθωσή τους με γραμμική παρεμβολή μεταξύ του αμέσως προηγούμενου και του αμέσως επόμενου σημείου. Τέλος, επειδή οι κλίσεις διαδοχικών τμημάτων δεν παρουσίαζαν ομοιομορφία και θεωρήθηκε αδύνατον να αλλάζει η κλίση της οδού ανά 60 μέτρα, επιλέχθηκε η ομαλοποίησή των κλίσεων ανά τμήματα των 300 μέτρων. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα προφίλ ανύψωσης που μπορεί να θεωρηθεί ότι αντανακλά την πραγματικότητα σε ικανοποιητικό βαθμό. Η αναγκαιότητα των παραπάνω διορθώσεων, όμως, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μεθοδολογία της εφαρμογής Google Earth για την εύρεση των υψομέτρων παρουσιάζει σφάλματα, τουλάχιστον σε κάποιες περιπτώσεις.

Θεωρήθηκε ακόμα ότι το όχημα θα κινείται με σταθερή ταχύτητα 50 km/h στα τμήματα εντός αστικού δικτύου, 70 km/h στην κοιλάδα των Τεμπών και 85 km/h στην Εθνική Οδό. Ακόμα, ότι πριν τα σημεία που θα έκανε στάση θα επιβράδυνε με επιβράδυνση 1 m/s^2 και μετά από αυτά θα επιτάχυνε με επιτάχυνση $0,3 \text{ m/s}^2$ μέχρι να ανακτήσει την ταχύτητά του. Με βάση αυτή τη λογική και με χρήση των σχέσεων της κινητικής, υπολογίστηκε και ο χρόνος διέλευσης από κάθε σημείο της διαδρομής.

Ύστερα, εντοπίστηκαν τα σημεία που αντιστοιχούσαν σε σταθμούς διοδίων, μιας και αυτά θα αποτελούσαν και τις μοναδικές στάσεις του φορτηγού. Στο φύλλο εργασίας του Excel, δίπλα από τις στήλες των συντεταγμένων, των υψομέτρων, των κλίσεων, των προφίλ ταχυτήτων και των χρόνων σημειώθηκε «1» όπου το αντίστοιχο σημείο ήταν θέση σταθμού διοδίων.

Σε διπλανές στήλες σημειώθηκαν κι άλλα χρήσιμα στοιχεία, χωρίς όλα να είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της κατανάλωσης, για μελλοντική χρήση. Αυτά ήταν το κατά πόσο ένα τμήμα βρισκόταν εντός ή εκτός αστικού ιστού, τα σημεία όπου βρισκόταν η έξοδος κάποιας πόλης προς την Εθνική Οδό και τέλος τα σημεία που βρίσκονταν μέσα σε τούνελ ή πάνω σε γέφυρα (όπου έγιναν και διορθώσεις υψομέτρων όπως έχει ήδη αναφερθεί).

Ενδεικτικά παρατίθεται ένα μέρος του φύλλου εργασίας:

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	Σ.φ. υπολογισμού με παραβάρη	κλίση/ελαστικότητα δαπέδων	κλίση	προφίλ ταχύτητας (σε m/s) με μέγιστη ταχύτητα	χρόνος από αθήνη (sec)	προφίλ ταχύτητας (σε m/s) με μέγιστη ταχύτητα	χρόνος από αθήνη (sec)	προφίλ ταχύτητας (σε m/s) με μέγιστη ταχύτητα	χρόνος από αθήνη (sec)	προφίλ ταχύτητας (σε m/s) με μέγιστη ταχύτητα	χρόνος από αθήνη (sec)	προφίλ ταχύτητας (σε m/s) με μέγιστη ταχύτητα	χρόνος από αθήνη (sec)	μικτό προφίλ ταχύτητας (50 σε αστικές περιοχές, 70 στα ταμπε και 85 σε εθνική οδό)	χρόνος από αθήνη (sec)	θέσεις σταθμών διαδίων	ένσος/εκτός πόλης και τμήμα οδικού δικτύου	Σχολία	εξόδοι πόλεων	Σχολία	Γέφυρα/τουνελ	Σχολία
2			50 km/h			70 km/h		75 km/h		80 km/h		85 km/h										
3	0	121,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	αθήνα			
4	60	121,1	0,0%	6,0	20,0	6,0	20,0	6,0	20,0	6,0	20,0	6,0	20,0	6,0	20,0	6,0	20,0	1	αθήνα			
5	120	121,9	0,3%	8,5	28,2	8,5	28,2	8,5	28,2	8,5	28,2	8,5	28,2	8,5	28,2	8,5	28,2	1	αθήνα			
6	179	125,4	0,8%	10,4	34,6	10,4	34,6	10,4	34,6	10,4	34,6	10,4	34,6	10,4	34,6	10,4	34,6	1	αθήνα			
7	239	125,9	0,8%	12,0	39,9	12,0	39,9	12,0	39,9	12,0	39,9	12,0	39,9	12,0	39,9	12,0	39,9	1	αθήνα			
8	299	126,7	4,0%	13,4	44,6	13,4	44,6	13,4	44,6	13,4	44,6	13,4	44,6	13,4	44,6	13,4	44,6	1	αθήνα			
9	359	128,0	-1,0%	13,9	48,9	14,7	48,9	14,7	48,9	14,7	48,9	14,7	48,9	14,7	48,9	14,7	48,9	1	αθήνα			
10	419	128,8	1,2%	13,9	53,2	15,8	52,8	15,8	52,8	15,8	52,8	15,8	52,8	15,8	52,8	15,8	52,8	1	αθήνα			
11	478	128,8	0,1%	13,9	57,5	16,9	56,5	16,9	56,5	16,9	56,5	16,9	56,5	16,9	56,5	16,9	56,5	1	αθήνα			
12	538	131,4	4,3%	13,9	61,8	18,0	59,9	18,0	59,9	18,0	59,9	18,0	59,9	18,0	59,9	18,0	59,9	1	αθήνα			
13	598	128,5	-4,9%	13,9	66,1	18,9	63,1	18,9	63,1	18,9	63,1	18,9	63,1	18,9	63,1	18,9	63,1	1	αθήνα			
14	658	128,1	-0,7%	13,9	70,4	19,4	66,2	19,4	66,2	19,4	66,2	19,4	66,2	19,4	66,2	19,4	66,2	1	αθήνα			
15	718	129,5	2,4%	13,9	74,7	19,4	69,3	20,7	69,2	20,7	69,2	20,7	69,2	20,7	69,2	20,7	69,2	1	αθήνα			
16	777	132,7	3,4%	13,9	79,0	19,4	72,4	20,8	72,0	21,6	72,0	21,6	72,0	21,6	72,0	21,6	72,0	1	αθήνα			
17	837	132,9	0,3%	13,9	83,3	19,4	75,5	20,8	74,9	22,2	74,7	22,4	74,7	22,4	74,7	22,4	74,7	1	αθήνα			
18	897	133,0	0,1%	13,9	87,6	19,4	78,5	20,8	77,8	22,2	77,4	23,2	77,6	23,2	77,6	23,2	77,6	1	αθήνα			
19	957	133,0	0,0%	13,9	91,9	19,4	81,6	20,8	80,6	22,2	80,1	23,6	79,9	23,6	79,9	23,6	79,9	1	αθήνα			
20	1017	132,9	-0,1%	13,9	96,2	19,4	84,7	20,8	83,5	22,2	82,8	23,6	82,4	23,6	82,4	23,6	82,4	1	αθήνα			
21	1076	132,8	-0,1%	13,9	100,5	19,4	87,8	20,8	86,4	22,2	85,5	23,6	84,9	23,6	84,9	23,6	84,9	1	αθήνα			
22	1136	133,9	1,7%	13,9	104,8	19,4	90,8	20,8	89,3	22,2	88,2	23,6	87,5	23,6	87,5	23,6	87,5	1	αθήνα			
23	1196	132,7	-2,0%	13,9	109,1	19,4	93,9	20,8	92,1	22,2	90,9	23,6	90,0	23,6	90,0	23,6	90,0	1	αθήνα			
24	1256	131,5	-2,0%	13,9	113,4	19,4	97,0	20,8	95,0	22,2	93,5	23,6	92,5	23,6	92,5	23,6	92,5	1	αθήνα			
25	1316	130,3	-2,0%	13,9	117,7	19,4	100,1	20,8	97,9	22,2	96,2	23,6	95,1	23,6	95,1	23,6	95,1	1	αθήνα			
26	1376	129,8	-1,0%	13,9	122,0	19,4	103,1	20,8	100,7	22,2	98,9	23,6	97,6	23,6	97,6	23,6	97,6	1	αθήνα			
27	1435	128,0	-2,0%	13,9	126,3	19,4	106,2	20,8	103,6	22,2	101,6	23,6	100,1	23,6	100,1	23,6	100,1	1	αθήνα			

Εικόνα 9: Φύλλο συλλογής δεδομένων και υπολογισμών Microsoft Excel

4.3 ΣΕΝΑΡΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Η μεταφορά των προϊόντων γίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις με χρήση εμπορευματοκιβωτίων τυποποιημένων διαστάσεων. Το φορτίο που πρέπει να μεταφερθεί κάθε φορά μπορεί να αποτελείται από διάφορες διατάξεις εμπορευματοκιβωτίων, δηλαδή περισσότερα του ενός εμπορευματοκιβώτια και διαφορετικών τύπων. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι εμπορευματοκιβωτίων είναι των 20, των 40 και των 45 ποδών και τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Τύπος	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Μέγιστο μικτό βάρος (tn)	Απόβαρο (tn)
20'	6,058	2,438	2,591	30,5	2,2
40'	12,192	2,438	2,896	30,5	4
45'	13,716	2,500	2,896	34	4,5

Πίνακας 14: Διαστάσεις πρότυπων εμπορευματοκιβωτίων [42]

Είναι αρκετά σύνηθες, ανάλογα και με τα προϊόντα που περιέχουν, τα εμπορευματοκιβώτια να μην εξαντλούν την ικανότητά τους σε βάρος. Τα σενάρια φόρτωσης αναφέρονται ακριβώς σε αυτό το γεγονός και αφορούν διατάξεις (πλήθος κάθε τύπου εμπορευματοκιβωτίου και μικτό βάρος) φορτίου που πρέπει να μεταφερθεί.

Τα σενάρια που θα εξεταστούν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής είναι τα ίδια με τη διπλωματική [42], έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ευθεία σύγκριση μεταξύ τους. Τα σενάρια αυτά έχουν προκύψει από τη μελέτη των εμπορευματοκιβωτίων που καταφθάνουν στα μεγαλύτερα Ευρωπαϊκά λιμάνια και θεωρούνται γενικώς αντιπροσωπευτικά και της Ελληνικής πραγματικότητας. Με άλλα λόγια, κάθε σενάριο είναι η πλέον συνήθης διάταξη ε/κ ανάλογα με το συνολικό τους βάρος και το είδος τους.

Το Σενάριο #1 αφορά τη συνήθη μίξη φορτίων, δηλαδή αγαθά όλων των ειδών, από βαριά (π.χ. σίδηρο) έως πολύ ελαφριά (π.χ. βαμβάκι) τα οποία και πρέπει να μεταφερθούν. Το μικτό βάρος του συνόλου των αγαθών που θα εξεταστεί στη συγκεκριμένη διπλωματική κυμαίνεται από 100 (Σενάριο #1(100)) έως 600 (Σενάριο #1(600)) τόνους.

Το δεύτερο σενάριο αφορά διατάξεις ελαφριών φορτίων, δηλαδή αγαθά που, αν και καταλαμβάνουν τον όγκο ενός εμπορευματοκιβωτίου, δεν πλησιάζουν την ικανότητά του σε βάρος. Αντίθετα, το Σενάριο #3 αφορά βαριά φορτία, με βάρος έως και 1200 τόνους (Σενάριο #3(1200)).

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες με τα σενάρια που θα εξεταστούν και αυτοί με το βάρος κάθε τύπου εμπορευματοκιβωτίου ανά κατηγορία βάρους και ανά σενάριο.

		ΣΕΝΑΡΙΟ					
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ Ε/Κ	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ελαφριά	45'	2	4	6	8	11	13
	40'	1	2	4	5	6	7
Μεσαίου βάρους	45'	1	1	2	3	3	4
	40'	0	1	1	1	2	2
Βαριά	20'	1	2	2	3	4	5
Πολύ βαριά	20'	0	1	1	1	1	2
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ		93,5	213,5	296	389,5	493	616,5
ΠΛΗΘΟΣ Ε/Κ		5	11	16	21	27	33

Πίνακας 15: Πλήθος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #1 [42]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ Ε/Κ	ΣΕΝΑΡΙΟ			
		#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
Ελαφριά	45'	5	10	15	20
	40'	3	6	8	11
Μεσαίου βάρους	45'	0	0	0	0
	40'	0	0	0	0
Βαριά	20'	0	0	0	0
Πολύ βαριά	20'	0	0	0	0
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ		103,5	207	298,5	402
ΠΛΗΘΟΣ Ε/Κ		8	16	23	31

Πίνακας 16: Πλήθος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #2 [42]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ Ε/Κ	ΣΕΝΑΡΙΟ											
		#3 (100)	#3 (200)	#3 (300)	#3 (400)	#3 (500)	#3 (600)	#3 (700)	#3 (800)	#3 (900)	#3 (1000)	#3 (1100)	#3 (1200)
Ελαφριά	45'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μεσαίου βάρους	45'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Βαριά	20'	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	37
Πολύ βαριά	20'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ		99	198	297	396	495	594	693	792	891	990	1089	1211
ΠΛΗΘΟΣ Ε/Κ		4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	49

Πίνακας 17: Πλήθος ε/κ ανά τύπο και κατηγορία φορτίου Σεναρίου #3 [42]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ Ε/Κ	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (tn)	ΑΠΟΒΑΡΟ (tn)	ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ (tn)
Ελαφριά	45'	13,5	4,5	9
	40'	12	4	8
Μεσαίου βάρους	45'	31,5	4,5	27
	40'	28	4	24
Βαριά	20'	23	2,2	20,8
Πολύ βαριά	20'	30	2,2	27,8

Πίνακας 18: Βάρος ε/κ ανά τύπο και ανά κατηγορία φορτίου Σενάριο #1 [42]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ Ε/Κ	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (tn)	ΑΠΟΒΑΡΟ (tn)	ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ (tn)
Ελαφριά	45'	13,5	4,5	9
	40'	12	4	8

Πίνακας 19: Βάρος ε/κ ανά τύπο και ανά κατηγορία φορτίου Σενάριο #2 [42]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ Ε/Κ	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (tn)	ΑΠΟΒΑΡΟ (tn)	ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ (tn)
Βαριά	20'	23	2,2	20,8
Πολύ βαριά	20'	30	2,2	27,8

Πίνακας 20: Βάρος ε/κ ανά τύπο και ανά κατηγορία φορτίου Σενάριο #3 [42]

4.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΓΙΑ ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Παραπάνω έχει περιγραφεί αναλυτικά ο τρόπος που το βάρος του φορτίου επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου και που υπεισέρχεται στις σχέσεις υπολογισμού. Το νόημα λοιπόν που έχει ο καθορισμός των ανωτέρω σεναρίων για την περίπτωση των οδικών μεταφορών είναι ο προσδιορισμός του βάρους του φορτίου.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα παραπάνω σενάρια επιλέχθηκαν με γνώμονα την ευθεία σύγκριση με τα αποτελέσματα για σιδηροδρομική μεταφορά που περιγράφονται στην εργασία [42] και ακόμα επειδή αναπαριστούν ικανοποιητικά την πραγματικότητα. Για τα φορτηγά οχήματα έχουν και μια ακόμα σημασία:

Το μέγιστο βάρος φορτίου που μπορούν να μεταφέρουν είναι 25-29 τόνους. Ωστόσο, από άποψη χώρου και σύμφωνα και με τις διαστάσεις των νόμιμων διατάξεων φορτηγών με ρυμουλκούμενο, μπορούν να μεταφέρουν μόνο ένα ε/κ 40' ή 45' και δύο 20'. Παρατηρώντας τα παραπάνω σενάρια λοιπόν, βγαίνει το συμπέρασμα ότι το περιεχόμενο των ε/κ 20', που έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο για μεταφορά βαριών φορτίων, θα μεταφέρονται μόνα τους, γιατί εξαντλείται μόνο με το περιεχόμενο ενός ε/κ το επιτρεπόμενο βάρος φορτίου του φορτηγού, παρ' όλο που θα χωρούσε στην καρότσα του φορτηγού και το περιεχόμενο ενός δεύτερου. Τα περιεχόμενα των ε/κ των 40' και 45' επίσης θα μεταφέρονται μόνα τους γιατί εξαντλούν το διαθέσιμο χώρο του φορτηγού, αν και τα ε/κ των 40' και 45' έχουν χρησιμοποιηθεί και για ελαφριά φορτία και σε αυτή την περίπτωση δεν εξαντλούν την επιτρεπόμενη χωρητικότητα σε βάρος. Οπότε, απλούστερα, θα μετακινηθεί ένα φορτηγό για κάθε ένα ε/κ, με μεταφερόμενο φορτίο όσο το βάρος του εκάστοτε ε/κ σε κάθε σενάριο.

4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΔΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για κάθε σενάριο σύμφωνα με το προτεινόμενο μοντέλο παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα.

Έγινε χρήση των δεδομένων που συλλέχθηκαν με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω. Σημειώνεται επίσης πως σε κάθε σενάριο βρέθηκε η κλίση κατωφέρειας για την οποία η κατανάλωση καυσίμου μηδενίζεται, με χρήση του πίνακα που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα.

Για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνεται ως έργο κάθε αντίστασης και λόγω μετατροπής σε κινητική ή δυναμική ενέργεια για την κίνηση του φορτηγού χρησιμοποιήθηκαν, μαζί με τις εξισώσεις που ήδη παρουσιάστηκαν, λογικές συνθήκες με την εξής λογική: αν η κλίση σε κάποιο τμήμα της διαδρομής είναι μικρότερη από την εκάστοτε ελάχιστη ή αν το όχημα βρίσκεται σε φάση επιβράδυνσης, τότε η τιμή της κάθε αιτίας κατανάλωσης ενέργειας είναι μηδέν, αλλιώς υπολογίζεται σύμφωνα με τις εξισώσεις που έχουν παρουσιαστεί. Η εκτέλεση αυτής της λογικής πράξης έγινε μέσω της εντολής «IF» του Microsoft Excel. Υπενθυμίζεται ότι το κάθε εμπορευματοκιβώτιο κάθε σεναρίου θεωρήθηκε ότι μεταφέρεται ξεχωριστά από τα υπόλοιπα, δηλαδή σε κάθε ε/κ αντιστοιχεί και ένα φορτηγό που το μεταφέρει.

Στον επόμενο πίνακα φαίνεται η κατανάλωση καυσίμου σε l/100km για το όχημα που θα μεταφέρει το κάθε ε/κ ανάλογα και με την κατηγορία βάρους.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ Ε/Κ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (l/100km)
Ελαφριά	45'	32,1
	40'	31,3
Μεσαίου βάρους	45'	45,9
	40'	43,4
Βαριά	20'	40,8
Πολύ βαριά	20'	46,6

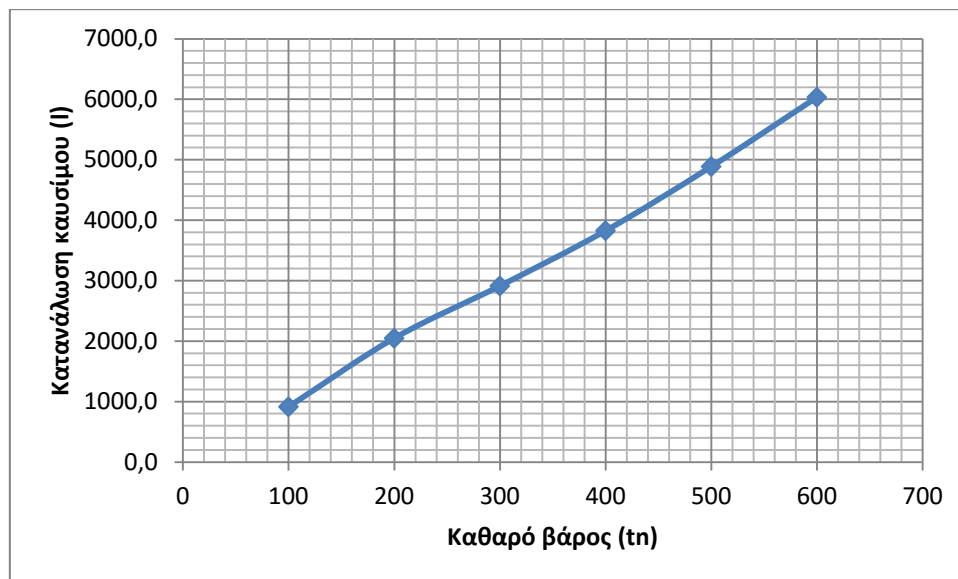
Πίνακας 21: Κατανάλωση καυσίμου για τη μεταφορά κάθε ε/κ

Συνεπώς, αθροίζοντας την κατανάλωση των οχημάτων του στόλου κάθε σεναρίου, υπολογίζονται τα απαιτούμενα καύσιμα για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά. Στη συνέχεια υπολογίζεται και η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (kg CO₂e) πολλαπλασιάζοντας την κατανάλωση σε λίτρα με το 3,24 [42]. Ο υπολογισμός των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται γίνεται διότι αποτελεί συγκρίσιμο μέγεθος μεταξύ οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς, μιας και ένα τρένο καταναλώνει, εκτός από πετρέλαιο, και ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ένα φορτηγό μόνο πετρέλαιο.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες, καθώς και στα διαγράμματα.

	ΣΕΝΑΡΙΟ					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (l)	913	2047,1	2912,5	3825,6	4887	6033,5
ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΕΡΙΩΝ (kg CO₂e)	2958,3	6632,6	9436,6	12394,9	15833,8	19548,6

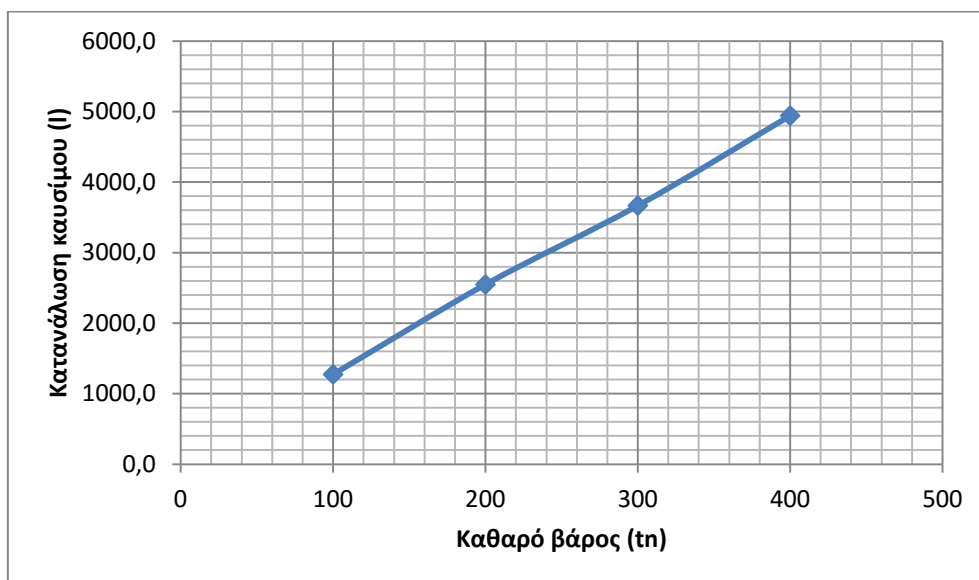
Πίνακας 22: Κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές αερίων Σεναρίου #1



Γράφημα 34: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του καθαρού βάρους των αγαθών Σεναρίου #1

	ΣΕΝΑΡΙΟ			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (l)	1274,9	2549,7	3667,7	4942,6
ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΕΡΙΩΝ (kg CO₂e)	4130,5	8261,1	11883,4	16014

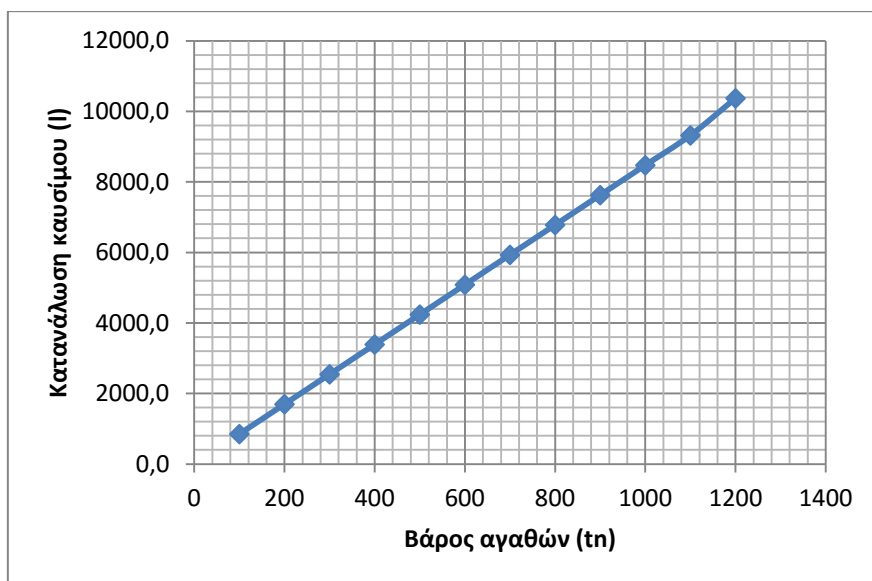
Πίνακας 23: Κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές αερίων Σεναρίου #2



Γράφημα 35: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του καθαρού βάρους των αγαθών Σεναρίου #2

		ΣΕΝΑΡΙΟ											
		#3 (100)	#3 (200)	#3 (300)	#3 (400)	#3 (500)	#3 (600)	#3 (700)	#3 (800)	#3 (900)	#3 (1000)	#3 (1100)	#3 (1200)
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (l)		883	1766	2649	3532	4415	5298	6181	7064	7947	8830	9712,8	10809
ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΕΡΙΩΝ (kg CO2e)		2861	5722	8583	11443	14304	17165	20026	22887	25748	28609	31469	35022

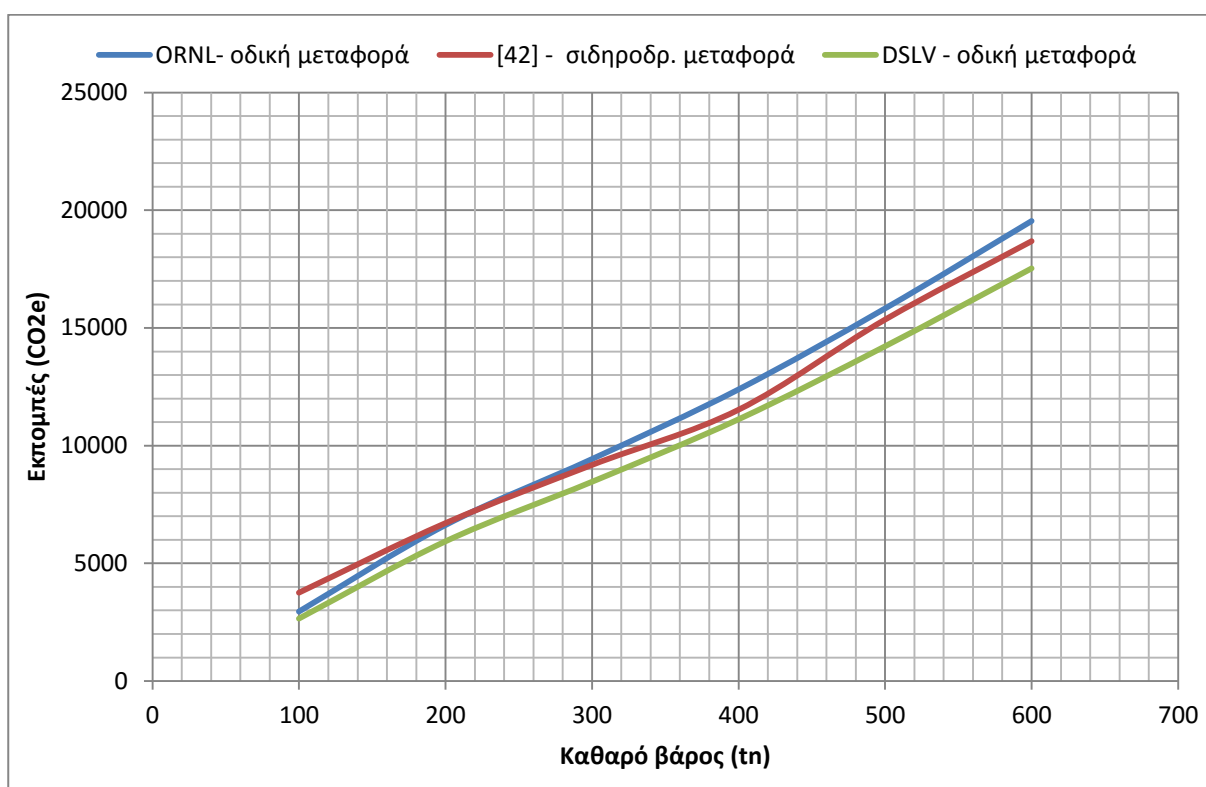
Πίνακας 24: Κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές αερίων Σεναρίου #3



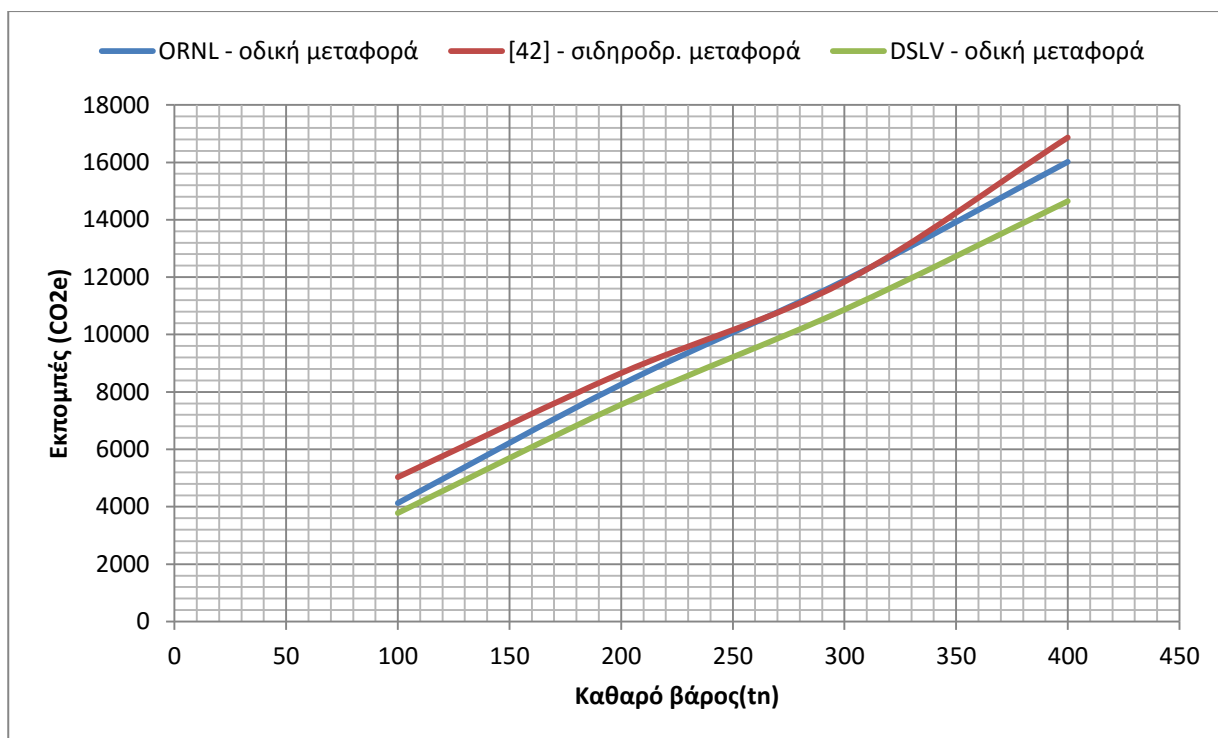
Γράφημα 36: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του καθαρού βάρους των αγαθών Σεναρίου #3

4.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

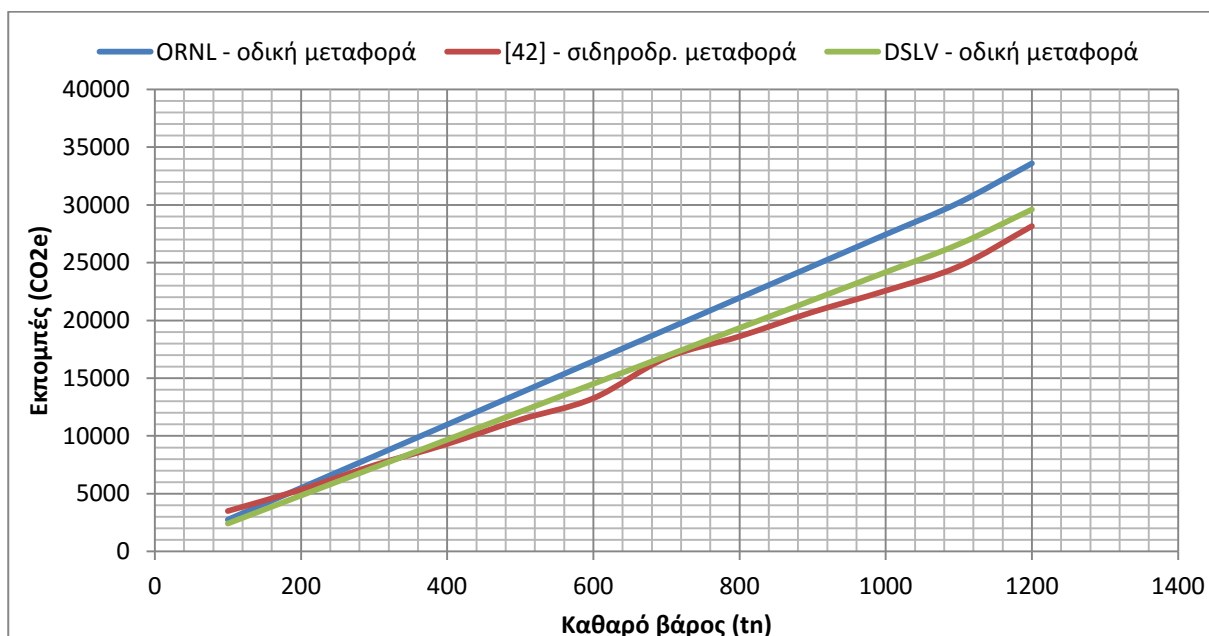
Από τη διπλωματική [42] λαμβάνονται τα αντίστοιχα στοιχεία για την ίδια διαδρομή και για τα ίδια σενάρια φόρτωσης. Ακολουθούν τα γραφήματα με τη σύγκριση της μεταφοράς με κάθε μέσο όσον αφορά την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, που συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση με το κόστος. Ακόμα, παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα του μοντέλου οδικής μεταφοράς που χρησιμοποιήθηκε σε εκείνη την εργασία και στηρίζεται στη μεθοδολογία του οργανισμού DSLV.



Γράφημα 37: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς Σενάριο #1 (συνήθης μίξη φορτίων)



Γράφημα 38: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς Σενάριο #2 (ελαφριά φορτία)



Γράφημα 39: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς Σενάριο #3 (βαριά φορτία)

Από την παραπάνω σύγκριση μπορούν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα. Αρχικά ότι το μοντέλο του DSLV που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική [42] για την οδική μεταφορά είναι αρκετά ευνοϊκότερο για το φορτηγό και λιγότερο ακριβές, λόγω και του απλοποιημένου τρόπου υπολογισμού.

Όσον αφορά τη σύγκριση των δύο μέσων, στο σενάριο #1 που αναφέρεται στη συνήθη μίξη φορτίων το φορτηγό υπερτερεί οριακά για βάρος έως 300 τόνους, ενώ για μεγαλύτερα βάρη φορτίου το τρένο είναι περισσότερο οικονομικό.

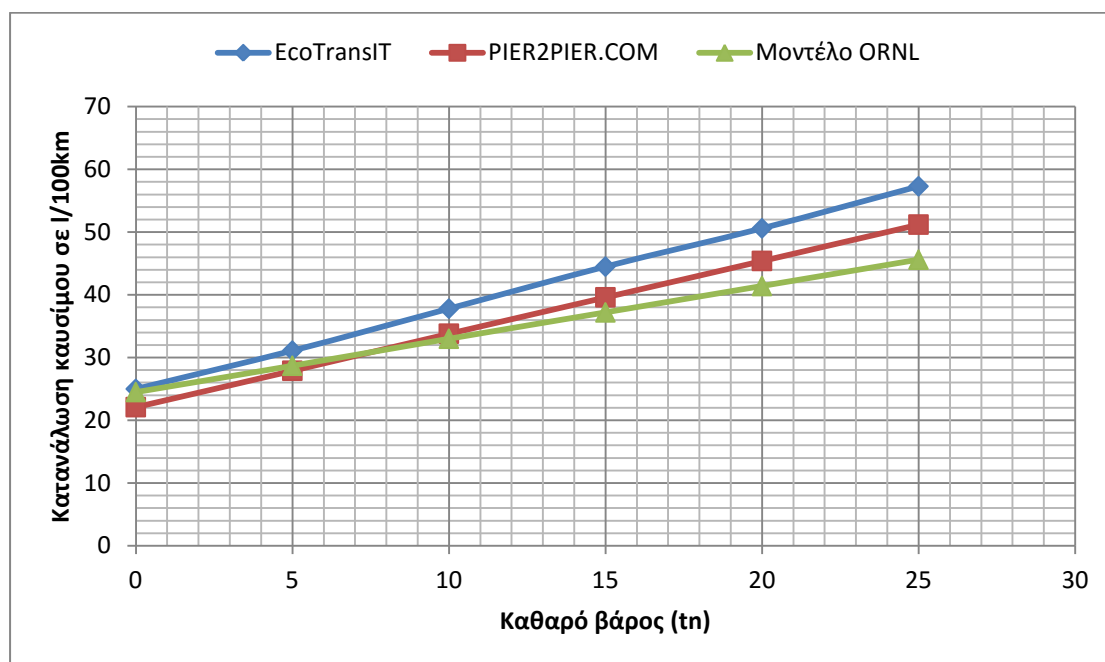
Για ελαφριά φορτία (σενάριο #2), η υπεροχή του φορτηγού είναι σχεδόν καθολική, αν και οριακή για κάποια βάρη φορτίου.

Για βαριά αγαθά (σενάριο #3), το τρένο είναι με διαφορά το οικονομικότερο μέσο, για όλες τις κατηγορίες συνολικού βάρους.

Συνολικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το φορτηγό είναι αποδοτικότερο του τρένου στις περιπτώσεις μεταφοράς φορτίου μικρού συνολικού βάρους, όταν δηλαδή δε θα κινηθεί μεγάλο πλήθος φορτηγών για τη μεταφορά. Από την άλλη, η μεταφορά με τρένο είναι περισσότερο συμφέρουσα όταν πρόκειται να μεταφερθεί μεγάλο συνολικό βάρος.

4.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι διαδικτυακές εφαρμογές που παρουσιάστηκαν νωρίτερα, συγκρινόμενες με το προτεινόμενο μοντέλο του ORNL, έχουν το πλεονέκτημα του γρηγορότερου και ευκολότερου υπολογισμού. Στη συνέχεια, συγκρίνονται και τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη με το προτεινόμενο μοντέλο και τα δύο αναλυτικότερα από τα διαδικτυακά:



Γράφημα 40: Σύγκριση μοντέλου ORNL με διαδικτυακές εφαρμογές για τη διαδρομή Αθήνα - Θεσσαλονίκη

Αυτό που μπορεί κανείς να συμπεράνει είναι ότι η απόκλιση μεταξύ των υπολογιζόμενων καταναλώσεων δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη για μικρότερες τιμές του μεταφερόμενου φορτίου, ωστόσο για τις πιο μεγάλες τιμές είναι σημαντική και κυμαίνεται από 20 έως 30%. Να σημειωθεί βέβαια ότι στα διαδικτυακά μοντέλα πιθανώς ο υπολογισμός να γίνεται για μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας από τις επιτρεπόμενες στην ΕΕ, όπως αυτές που ισχύουν στις ΗΠΑ.

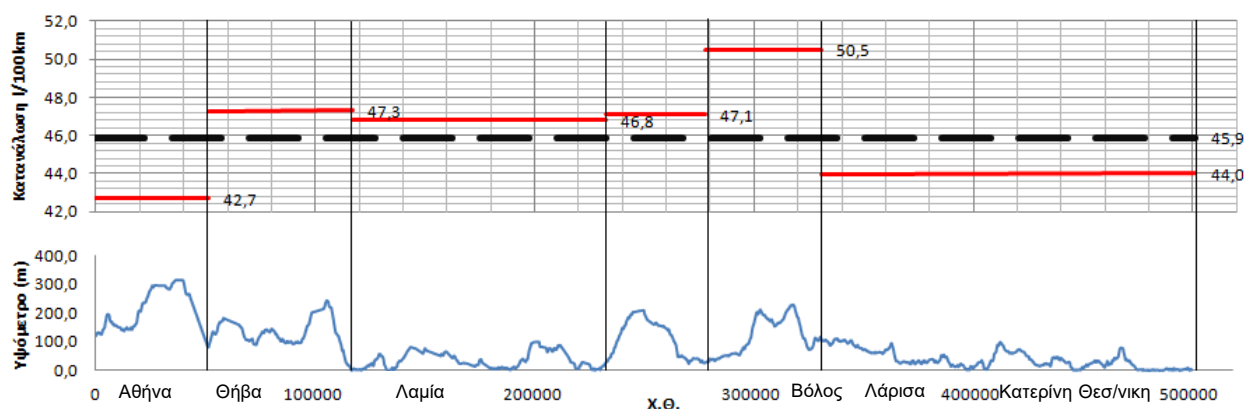
4.8 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΟΔΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Στην ενότητα αυτή παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας όπου παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη, το προφίλ των κλίσεων, καθώς και η κατανάλωση καυσίμου σε κάθε ένα από τα έξι τμήματα στα οποία χωρίστηκε η διαδρομή και η μέση κατανάλωση καυσίμου. Ο χωρισμός των τμημάτων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε αυτά να παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους (π.χ. κάθε τμήμα περιλαμβάνει τόσο ανωφέρειες όσο και κατωφέρειες).

Ακόμα παρουσιάζεται ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας λόγω κάθε αιτίας σε J/km, από τον οποίο εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα.

Τονίζεται ότι οι υπολογισμοί έγιναν για όχημα μικτού βάρους 42 tn, κινούμενο με το προφίλ ταχύτητας που παρουσιάστηκε προηγουμένως (50km/h σε αστικό δίκτυο, 70km/h στα Τέμπη και 85km/h στην Εθνική Οδό).

Κατανάλωση ενέργειας (J/km)	Αεροδυν.	73	155	180	167	164	150
	Αντιστ. Κυλίσσης	207	221	254	233	229	232
	Κινητική	42	22	16	0	0	28
	Δυναμική	254	240	182	236	289	183



Πίνακας 25: Συγκεντρωτικός πίνακας διαδρομής Αθήνα - Θεσσαλονίκη κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμου για όχημα μικτού βάρους 42 tn

Αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι η κατανάλωση καυσίμου που αντιστοιχεί σε κάθε τμήμα της διαδρομής διαφέρει από τη μέση τιμή που είναι 45,9 l/100km και αυτό οφείλεται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά του κάθε τμήματος. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό με μια ματιά στον πίνακα κατανάλωσης ενέργειας, ο οποίος εξηγεί το πώς δημιουργείται αυτή η διαφορά μεταξύ των τμημάτων.

Αρχικά, η ενέργεια που καταναλώνεται ως έργο της αεροδυναμικής αντίστασης, παρατηρούμε ότι έχει περίπου όμοιες τιμές σε όλα τα τμήματα, εκτός από το πρώτο. Όμως το πρώτο τμήμα είναι σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% εντός αστικού δικτύου κάτι που συνεπάγεται μικρότερη ταχύτητα κίνησης, που είναι ο παράγοντας που κυρίως επιδρά στην αεροδυναμική αντίσταση. Οι μικρότερες διαφορές μεταξύ των υπόλοιπων τμημάτων έχουν να κάνουν με μειωμένη ταχύτητα σε κάποια από αυτά λόγω περισσότερων στάσεων και αυξημένη αντίστοιχα λόγω λιγότερων σε άλλα τμήματα.

Το έργο της αντίστασης κύλισης δεν παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις λόγω του γεγονότος ότι εξαρτάται αποκλειστικά από το βάρος του οχήματος, που είναι σταθερό σε όλη τη διαδρομή. Οι μικρές διακυμάνσεις που έχει οφείλονται στο κατά πόσο κάθε τμήμα έχει μικρό ή μεγάλο μήκος σε κατωφέρεια, όπου η κατανάλωση ενέργειας μηδενίζεται.

Η κινητική ενέργεια εξαρτάται από τις στάσεις που θα κάνει το όχημα και γενικά τις αλλαγές στην ταχύτητα. Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει την αρχική εκκίνηση του οχήματος, την αύξηση της ταχύτητάς του από 50km/h σε 85km/h και ένα σταθμό διοδίων, για το λόγο αυτό έχει και υψηλότερη τιμή. Τα υπόλοιπα τμήματα έχουν είτε έναν είτε κανέναν σταθμό διοδίων και συνεπώς αρκετά μειωμένες τιμές.

Τέλος, η δυναμική ενέργεια, που εξαρτάται αποκλειστικά από την κλίση της οδού, παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές στο τρίτο και στο τελευταίο τμήμα, όπου το έδαφος είναι περισσότερο ομαλό απ' ό, τι στα υπόλοιπα τμήματα. Να σημειωθεί επίσης ότι σε όλα τα άλλα τμήματα, εκτός από το τρίτο και το τελευταίο δηλαδή, η δυναμική ενέργεια είναι ο σημαντικότερος παράγοντας κατανάλωσης ενέργειας.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα κυριότερα σημεία της εργασίας είναι τα εξής:

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου είναι η αεροδυναμική αντίσταση, η αντίσταση κύλισης και οι μεταβολές της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας. Αυτές εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, εκ των οποίων σημαντικότεροι είναι η ταχύτητα κίνησης, η κλίση της οδού και το μεταφερόμενο βάρος του οχήματος. Ακολουθούν, μεταξύ άλλων, το πλήθος των στάσεων, η κατάσταση του οδοστρώματος και η οδηγική συμπεριφορά.

Συγκεκριμένα, η αεροδυναμική αντίσταση σχετίζεται με το εμβαδό της μπροστινής επιφάνειας του οχήματος και κυρίως με την ταχύτητα κίνησής του. Η αντίσταση κύλισης εξαρτάται από την ποιότητα του οδοστρώματος και των ελαστικών και το βάρος του οχήματος. Όταν το φορτηγό κινείται με μεγάλη ταχύτητα, η αεροδυναμική αντίσταση έχει μεγαλύτερη τιμή από την αντίσταση κύλισης και το μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας που παράγεται στη μηχανή του οχήματος δαπανάται για την εξουδετέρωσή της. Το αντίθετο συμβαίνει όταν το όχημα κινείται με μικρότερη ταχύτητα.

Στο διαδίκτυο υπάρχουν διαθέσιμα μοντέλα υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου. Η εφαρμογή των μοντέλων αυτών στη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη, στην οποία υπάρχουν σημαντικές ανωφέρειες, έδειξε ότι τα αποτελέσματά τους δεν ήταν ακριβή σε ικανοποιητικό βαθμό.

Τέλος, η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας για τη μεταφορά ίδιας ποσότητας προϊόντων με τρένο και φορτηγό οδηγεί στο γενικό συμπέρασμα πως το φορτηγό υπερτερεί στη μεταφορά ελαφριών προϊόντων ή προϊόντων μικρού συνολικού όγκου. Το τρένο υπερτερεί σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

6 ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Όπως αναφέρθηκε στην αντίστοιχη ενότητα, πολύ σημαντικό δεδομένο εισόδου στο μοντέλο του ORNL είναι τα υψόμετρα των σημείων της οδού στην οποία κινείται το φορτηγό. Η διαδικασία συλλογής μέσω της εφαρμογής Google Earth και εν συνεχεία «δια χειρός» τροποποίησής τους στις περιπτώσεις που παρουσίαζαν σφάλμα (κατά κύριο λόγο τούνελ και γέφυρες) ήταν χρονοβόρα και ενέχει αβεβαιότητες. Προτείνεται λοιπόν η ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης εφαρμογής η οποία θα παρείχε τα ίδια αποτελέσματα σε συντομότερο χρόνο και με λιγότερο κόπο.

Επίσης, συστήνεται και η διεξαγωγή μετρήσεων πεδίου για να εξεταστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του υπολογισμού με το μοντέλο του ORNL.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γενίτσαρης, Ευ., 2010. Οδικές εμπορευματικές μεταφορές στην Ελλάδα: Προβλήματα και προοπτικές, διπλωματική εργασία
- [2] Επίσημη εφημερίδα των ευρωπαϊκών κοινοτήτων, 1996. Οδηγία 96/53/EK
- [3] Περιοδικό Τροχοί και TIR, 2007. Κανονισμοί, φορτία και όρια, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://trochoikaitir.gr/>
- [4] Περιοδικό Τροχοί και TIR, 2008. Mercedes Actros 18440 – Ρεκόρ χαμηλότερης κατανάλωσης, αλλά υπό εξαιρετικά ιδανικές συνθήκες, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://trochoikaitir.gr/>
- [5] Santini, D., Vyas, A., Anderson, J., 2001. Evaluations of 1997 fuel consumption patterns of heavy duty trucks, τεχνική έκθεση
- [6] Wikipedia, 2011. Fuel economy in automobiles, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_automobiles
- [7] Kenworth truck company, 2008. White paper on fuel economy, τεχνική μελέτη
- [8] Volvo trucks. Κατανάλωση καυσίμου, τεχνική έκθεση, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://www.volvotrucks.com/trucks/greece-market/el-gr/trucks/environment/Pages/fuel_consumption.aspx
- [9] Verband der Automobilindustrie (VDA), 2005. The commercial vehicle, τεχνική έκθεση
- [10] Verband der Automobilindustrie (VDA), 2007. Acting for climate protection, τεχνική έκθεση
- [11] Verband der Automobilindustrie (VDA), 2008. Future drive systems and fuels, τεχνική έκθεση
- [12] Dr Michael Coyle, Department of transport, 2007. Effects of payload on the fuel consumption of trucks, τεχνική έκθεση
- [13] Hine, J., Sinaga, H.P. Arfcom, speed profiles and fuel consumption: results from a congested road in Java, τεχνική έκθεση
- [14] Εταιρεία ελαστικών Michelin. Technical Brochure, τεχνική έκθεση, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.michelin.gr/>

- [15] Εταιρεία ελαστικών Michelin, 2012. Οι αριθμητικές τιμές της Ευρωπαϊκής ετικετογράφησης, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.michelin.gr/>
- [16] Nam, E., Giannelli, R., 2005. Fuel consumption modeling of conventional and advanced technology vehicles in the Physical Emission Rate Estimator (PERE), τεχνική έκθεση
- [17] U.S. Department of Transportation, 2002. Highway economic requirements system-state version, τεχνική έκθεση
- [18] Myslowski, Janusz, Myslowski, Jaromir. Simulation research of unitary fuel consumption of MAN engine, τεχνική έκθεση
- [19] EU-Portal, 2003. Περιβάλλον, ενέργεια και μεταφορές, τεχνική έκθεση
- [20] Σταθόπουλος, Α., 2000. Μεταφορές και κυκλοφορία-μη συμβατικά οχήματα, πανεπιστημιακό σύγγραμμα
- [21] American Transportation Research Institute, 2014. An analysis of the operational costs of trucking: a 2014 update, τεχνική έκθεση
- [22] LaClair, Tim, ORNL, 2011. Large Scale Duty Cycle Project: Tractive energy analysis methodology and results from long-haul truck drive cycle evaluations, τεχνική έκθεση
- [23] Franzese, O., ORNL, 2011. Effect of weight and roadway grade on the fuel economy of class-8 freight trucks, τεχνική έκθεση
- [24] Εταιρεία ελαστικών Bridgestone, 2005. Real answers, τεχνική έκθεση, διαθέσιμο στο bridgestonetrucktires.com
- [25] Erkkila, K., Nylund, N., 2007. Fuel efficiency of new European hd vehicles, τεχνική έκθεση
- [26] theaa.com, 2015. Euro emissions standards, τεχνική έκθεση, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα https://www.theaa.com/motoring_advice/fuels-and-environment/euro-emissions-standards.html
- [27] Muncrief, R., 2014. Europe's global leadership on vehicle emissions standards at risk in the truck sector, τεχνική έκθεση
- [28] Wikipedia, 2015. European emission standards, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards

[29] Road Safety Authority (RSA), 2015. Euro IV, Euro V and VI emissions regulation for heavy duty vehicle, τεχνική έκθεση, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.rsa.ie/>

[30] Jeannin, C., Zito, J., Marks, B., 2010. The impact of a newer fleet, τεχνική έκθεση

[31] Truck Locator online. Truck fuel efficiency guide, τεχνική έκθεση, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <https://www.trucklocator.co.uk/>

[32] Delivered Green. Freight emissions calculator, εφαρμογή υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.freightemissionscalculator.com/>

[33] Yale office of sustainability, 2010. Carbon fund calculator, εφαρμογή υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://yccf.sustainability.yale.edu/travel>

[34] pier2pier.com, 2015. Distance and carbon estimator, εφαρμογή υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.pier2pier.com/Co2/>

[35] ecoTransIT.com. Calculator, εφαρμογή υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.ecotransit.org/calculation.en.html>

[36] Οικονομικό δελτίο ALPHA BANK, 2008. Φορτηγά: Αναχρονιστικό πλαίσιο λειτουργίας και στρεβλώσεις στις εμπορευματικές μεταφορές, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα https://www.alpha.gr/files/infoanalyses/oikon_deltio_107.pdf

[37] Lumsden, K. Truck masses and dimensions, τεχνική έκθεση

[38] Surmont, C., 2006. Croatia-Turkey: screening land transport road, τεχνική έκθεση

[39] Λοΐζος, Α., Πλατή, Χ., 2014. Οδοστρώματα οδών και αεροδρομίων, πανεπιστημιακό σύγγραμμα

[40] Εφημερίδα Καθημερινή, 2010. Άνω των 20 ετών η παλαιότητα των φορτηγών, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα kathimerini.gr

[41] Zaniewski, J., 1989. Effect of pavement surface type on fuel consumption, τεχνική έκθεση

[42] Τουρνάκη, Ε., 2014. Το Αποτύπωμα Άνθρακα στις Σιδηροδρομικές Συνδυασμένες Μεταφορές: Εφαρμογή στη γραμμή Αθηνών – Θεσσαλονίκης, διπλωματική εργασία

[43] Ιστοσελίδα [geocontext.org](http://www.geocontext.org). Create a topographic profile, εφαρμογή εύρεσης υψομέτρου, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.geocontext.org/publ/2010/04/profiler/en/?import=kml>