

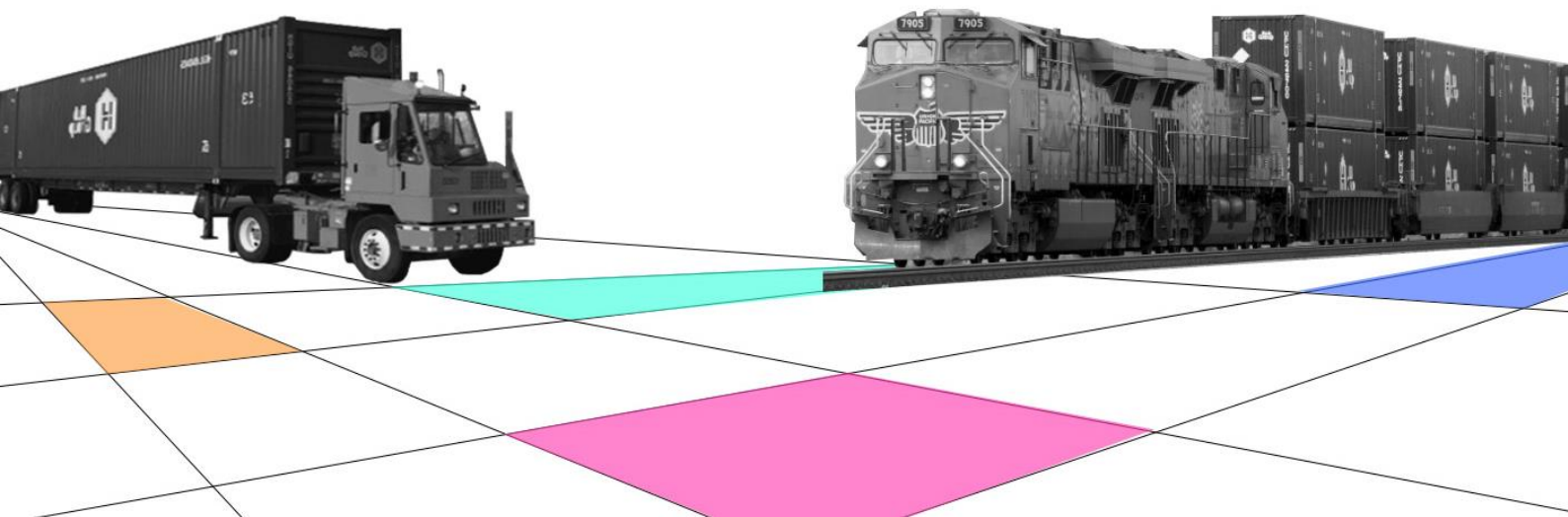


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική εργασία

Ανάπτυξη μεθόδου εκτίμησης κατανάλωσης καυσίμου φορτηγών οχημάτων

Παπαδοπούλου Δανάη



Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γκιτσισαλίδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2023

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, κλείνει και ένας πολύ σημαντικός κύκλος της μαθητικής και φοιτητικής μου ζωής και φυσικά δεν θα μπορούσα να ξεχάσω όλους αυτούς τους ανθρώπους που με βοήθησαν να τα καταφέρω.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Γκιοτσαλίτη για την βοήθειά του καθώς και τους καθηγητές της τριμελούς επιτροπής για τη συμμετοχή τους στην εξέταση. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Τατιάνα Μοσχόβου, Δρ. ΕΔΙΠ στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής και τον υποψήφιο διδάκτορα Γεώργιο Κασσελούρη για την πολύτιμη προσφορά και καθοδήγησή τους.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τον πατέρα μου Σπήλιο, την μητέρα μου Ιωάννα και την αδερφή μου Άρτεμη, για όλες αυτές τις φορές που πίστεψαν σε εμένα όταν εγώ δεν μπορούσα. Τέλος, να ευχαριστήσω όλους τους συγγενείς και φίλους και δη τις φίλες και συμφοιτήτριές μου Ελίνα Στεφανή και Νατάσσα Υφαντή, για την σπουδαία στήριξη και επικοινωνία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια, αλλά και τον Κώστα που μου στάθηκε τόσο πολύ.

Ανάπτυξη μεθόδου εκτίμησης κατανάλωσης καυσίμου φορτηγών οχημάτων

Παπαδοπούλου Δανάη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γκιοτσαλίτης

Σύνοψη

Η παγκόσμια οικονομική και περιβαλλοντική κρίση αποτελούν αφορμή για την εύρεση εκσυγχρονισμένων και καινοτόμων συστημάτων μεταφορών. Η παρούσα διπλωματική έχει ως στόχο τη διερεύνηση των βασικότερων παραγόντων που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου για μεταφορά εμπορευμάτων στο οδικό δίκτυο. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύσσεται μια μεθοδολογία για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου φορτηγών οχημάτων και γίνεται σύγκριση με την αντίστοιχη σιδηροδρομική μεταφορά.

Διερευνήθηκαν μια σειρά από σενάρια μεταφοράς του εμπορεύματος, τα οποία ορίστηκαν με βάση τις τέσσερις πιο συχνές κατηγορίες βαρών σε μεταφερόμενα εμπορεύματα, για την διαδρομή Αθήνα- Θεσσαλονίκη και εξήχθησαν αποτελέσματα για την κατανάλωση καυσίμου και την ποσότητα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα για το φορτηγό.

Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με παλαιότερη μελέτη που αφορούσε στην ίδια διαδρομή από ντιζελοκίνητο σιδηρόδρομο και τα οποία δείχνουν πως στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, το φορτηγό αποτελεί την πιο συμφέρουσα και οικολογική επιλογή για μεταφορά αγαθών ελαφριού βάρους ή και μικρού όγκου, εκτός από την περίπτωση μεταφοράς αγαθών μεγάλου βάρους που, με διαφορά, υπερτερεί ο σιδηρόδρομος.

Λέξεις-κλειδιά: κατανάλωση καυσίμου, εμπορευματικές μεταφορές, οδικές μεταφορές, σιδηρόδρομος, εμπορευματοκιβώτια.

Development of a methodology for estimating truck fuel consumption

Papadopoulou Danai

Supervisor: Konstantinos Gkiotsalitis

Abstract

The global economic and environmental crisis was an occasion for implementing modernized and innovative transport systems. This thesis aims to investigate the main factors that affect fuel consumption for the transport of goods by road. It develops a methodology for estimating the consumption of trucks and in parallel it compares the result of scenario testing with the associated for the rail transport.

A series of freight transport scenarios, were produced for the Athens-Thessaloniki route and the results of the methodology implementation were extracted for the estimation of fuel consumption and the amount of carbon dioxide emission.

Finally, the results were compared with an earlier study for the same route carried out by a diesel-powered railway and which showed that in the majority of cases, the truck is the most advantageous and ecological option for the transport of light weighted goods or small volume products, apart from the case of transporting heavy products which, by far, the railway is superior.

Keywords: fuel consumption, freight transport, road transport, railroad, containers.

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή, η οικονομική κρίση και η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση προς εξυπηρέτηση όλο και περισσότερων αναγκών του ανθρώπου, αποτελούν αφορμή για εύρεση σύγχρονων επιλύσεων στον τομέα των μεταφορών. Το αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας ασχολείται με τις εμπορευματικές οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές.

Αρχικά, προσεγγίζεται το σύστημα των εμπορευματικών μεταφορών της χώρας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέσω του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου. Η έρευνα ξεκίνησε με βιβλιογραφική επισκόπηση, μέσα από την ανάγνωση επιστημονικών άρθρων, διπλωματικών εργασιών, νομοθεσιών και Φ.Ε.Κ. και διαδικτυακής έρευνας και απέδωσε τα ακόλουθα δεδομένα. Το νομικό πλαίσιο και τις ευρωπαϊκές οδηγίες σχετικά με τις εμπορευματικές μεταφορές στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με την καταγραφή των οποίων έγινε προσπάθεια κατανόησης του βαθμού τυποποίησης και παραμετροποίησης των διαστάσεων και των διαδικασιών στο οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο, σημαντικός αρωγός στον έλεγχο της κατανάλωσης καυσίμου και στην διευκόλυνση των διασυννοριακών εμπορευματικών μεταφορών. Έπειτα, έγινε έλεγχος της εφαρμογής των Ευρωπαϊκών οδηγιών στην ελληνική νομοθεσία σχετικά με τις οδικές μεταφορές, το σιδηρόδρομο και τις εκπομπές ρύπων.

Η βιβλιογραφική αναζήτηση συνέβαλλε στην διερεύνηση του θέματος της εργασίας, η οποία δομήθηκε γύρω από δύο θεμελιώδη ερωτήματα. Πρώτον, ποιοι είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου μιας εμπορευματικής μεταφοράς και δεύτερον, ποιο μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων κρίνεται ιδανικότερο, σχετικά με το αποτύπωμά του στο περιβάλλον και την εξοικονόμηση καυσίμου. Η παρούσα εργασία μελέτησε και μια παρεμφερή έρευνα που διεξήχθη από το Oak Ridge National Laboratory.

Έτσι, με τις παραπάνω προσλαμβάνουσες, γίνεται αρχικά, μια προσπάθεια επεξήγησης των τριών πιο σημαντικών παραγόντων επιρροής της κατανάλωσης καυσίμου, δηλαδή της ταχύτητας κίνησης, του βάρους του μεταφερόμενου φορτίου και της κλίσης της οδού, με την υλοποίηση παραδείγματος μεταφοράς φορτίου, συγκεκριμένου βάρους, από φορτηγό όχημα, υπό συγκεκριμένη ταχύτητα κίνησης και κλίση εδάφους. Στην εκτέλεση του πειράματος οι τρεις παράγοντες μεταβάλλονται εναλλάξ ανά σενάριο, δίνοντας μια πρώτη εικόνα σχετικά με την επίδρασή τους στην κατανάλωση καυσίμου. Στη συνέχεια γίνεται και συνδυαστική μεταβολή ανά δύο παράγοντες σε κάθε σενάριο, με σκοπό την διεξαγωγή επιπλέον συμπερασμάτων επί αυτού.

Με γνώμονα την προμελέτη και την βιβλιογραφική ανασκόπηση, ορίζεται ως περιοχή μελέτης, το εθνικό οδικό δίκτυο από Αθήνα - Θεσσαλονίκη, το οποίο θα συγκριθεί με το αντίστοιχο σιδηροδρομικό ως προς το αποτύπωμα, του εκάστοτε μέσου, στο περιβάλλον. Επιπλέον, συλλέχθηκαν στοιχεία για τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης διαδρομής, με σκοπό να επιβεβαιωθεί η άρτια σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών δικτύων. Χρησιμοποιώντας διαδικτυακά εργαλεία και παλαιότερες

έρευνες με σχετικό θέμα, συλλέχθηκαν πραγματικά δεδομένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Το συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε καθώς μπόρεσε να συλλεχθεί ένα αξιόλογο μέγεθος δεδομένων και πληροφοριών και επιπλέον, λόγω της παραλληλίας του με το σιδηροδρομικό, δημιουργεί ένα εύκολα συγκρίσιμο, πειραματικό περιβάλλον.

Έτσι, διαμορφώθηκε η μεθοδολογική προσέγγιση του υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου. Ο τρόπος προσέγγισης έγινε μέσα από την ερμηνεία των τριών παραγόντων και του βαθμού επίδρασής τους στην μετακίνηση του οχήματος και κατ' επέκταση στην κατανάλωση καυσίμου.

Το πρώτο σκέλος του πειράματος στην εν λόγω εργασία, επικεντρώθηκε στον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου για τα φορτηγά και για το δεύτερο σκέλος, τη σύγκριση των μέσων, χρησιμοποιώντας συνδυασμούς δεδομένων αυτού του πειράματος με παλαιότερη διπλωματική εργασία για τους σιδηρόδρομους,

Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα εκπομπής ρύπων του σιδηροδρόμου. Λήφθηκε η παραδοχή, ότι ο σιδηρόδρομος, κινείται κατά το ήμισυ και ηλεκτροκίνητα και ντιζελοκίνητα. Ο λόγος της παραπάνω παραδοχής αφορά τα ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα από την παλαιότερη διπλωματική εργασία.

Συμπερασματικά, προέκυψε ότι το οδικό δίκτυο είναι πιο συμβατό και ευέλικτο με φορτία μικρού και μεσαίου βάρους, καθώς το φορτηγό εκπέμπει χαμηλότερη ποσότητα ρύπων σε αυτή την περίπτωση, έναντι του τρένου. Κατ' επέκταση, θεωρείται ότι χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια για την ίδια μετακίνηση.

Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται να αντιστρέφεται σε μεταφορά φορτίων μεγάλου και πολύ μεγάλου βάρους, καθώς άμεσα, ο παράγοντας βάρους, δρα επιβαρυντικά στην κατανάλωση του φορτηγού, προκαλώντας σημαντικά υψηλές μονάδες ρύπανσης σε σχέση με το τρένο. Εφόσον πρόκειται για εμπορευματικές μεταφορές, συνυποδηλώνονται μεγάλα φορτία και άρα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στο τρένο. Το αποτέλεσμα αυτό συνδέεται άμεσα με την ανάγκη για εκσυγχρονισμό του ελληνικού σιδηροδρόμου και την επέκτασή του σε κύριο μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων στη χώρα καθώς μπορεί να προσφέρει σε σπουδαίο βαθμό στην ελληνική οικονομία και την παγκόσμια περιβαλλοντική μέριμνα.

Περιεχόμενα

ΣΥΝΟΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	13
1.2 ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ	14
1.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΦΟΡΤΗΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ - ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΥ	17
1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	18
1.5 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	18
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	20
2.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ	20
2.1.1 Οδικές μεταφορές	20
2.1.2 Σιδηροδρομικές μεταφορές	22
2.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	25
2.2.1 Οδικές μεταφορές	25
2.2.2 Σιδηροδρομικές μεταφορές	26
2.3 Η ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	26
2.3.1 Οι εκπομπές ρύπων από τις μεταφορές	27
2.3.2 Η κατανάλωση καυσίμων στην Ελλάδα	29
2.3.3 Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και οι Ευρωπαϊκές προδιαγραφές	30
2.3.4 Εξοικονόμηση κατανάλωσης καυσίμων.....	35
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	37
3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	37
3.1.1 Χαρακτηριστικά φορτίου φορτηγού	37
3.1.2 Χαρακτηριστικά οδού.....	40
3.1.3 Οδηγική συμπεριφορά.....	42
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.....	44
3.2.1 Αναλυτικές εξισώσεις υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου σε φορτηγό....	46
3.2.2 Αναλυτικές εξισώσεις υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας σιδηρόδρομου	48
3.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΦΟΡΤΗΓΟΥ.....	50
3.3.1 Ταχύτητα – Παράμετρος επιρροής.....	50
3.3.2 Μικτό βάρος – Παράμετρος επιρροής.....	52
3.3.3 Κλίση οδού – Παράμετρος επιρροής.....	53
3.3.4 Συνδυαστικές μεταβολές παραγόντων	55
4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	56
4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	56
4.2 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	57
4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	60
4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	63

4.4.1	Σενάριο 1: Αγαθά ελαφρού βάρους.....	65
4.4.2	Σενάριο 2: Αγαθά μεσαίου βάρους.....	66
4.4.3	Σενάριο 3: Αγαθά βαριά και πολύ βαριά.....	68
4.4.4	Σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου σεναρίων.....	70
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	71
5.1	ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
5.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	75
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76
7	ΠΗΓΕΣ.....	78
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	79

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1 Κάποια από τα πρότυπα ISO 1A, 30.5 Mr. Πηγή: (Αποστολόπουλος, 2018)....	21
Εικόνα 2.2: Το εθνικό οδικό δίκτυο στα κράτη μέλη της Ε.Ε. για το 2020, Πηγή: trans-European Transport Network.....	22
Εικόνα 2.3 Εμπρόσθιο και οπίσθιο άκρο αμαξοστοιχίας που μεταφέρει εμπορεύματα. Πηγή: Εκτελεστικός Κανονισμός 2019/773, 16/05/19	24
Εικόνα 2.4 Η εικόνα της χώρας μας για εκπομπές μικροσωματιδίων PM2.5. Πηγή: World's Air Pollution	27
Εικόνα 2.5 Οι δείκτες ρύπων στις διάφορες χώρες της Ε.Ε.. Πηγή: World's Air Pollution	28
Εικόνα 2.6 Εκπομπές μικροσωματιδίων στην Ε.Ε.. Πηγή: World's Air Pollution	28
Εικόνα 3.1 Σωστή και λανθασμένη διάταξη βαρών πάνω σε εμπορευματικό φορτηγό όχημα. Πηγή: «Εισαγωγή στην ασφαλή φόρτωση και μεταφορά φορτίων».....	37
Εικόνα 3.2 Διαφορετικά είδη βαγονιών για.....	39
Εικόνα 3.3 Επεξήγηση των δυνάμεων που δέχεται ένα όχημα κινούμενο επί ανωφέρειας. Πηγή: από τον συγγραφέα.....	41
Εικόνα 4.1 Το σιδηροδρομικό και οδικό δίκτυο για τη διαδρομή Αθήνα- Θεσσαλονίκη. Πηγή: OSE.gr και μορφοποίηση μέσω AutoCAD και Photoshop	56
Εικόνα 4.2 Απόσπασμα από τον χάρτη με τη διαδρομή Αθήνα προς Θεσσαλονίκη μέσω εφαρμογής Graphhopper. Πηγή: www.Graphhopper.com.....	57
Εικόνα 4.3 Ενδεικτικό απόσπασμα της βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος.....	59
Εικόνα 5.1 Σιδηροδρομικά δίκτυα Ευρωπαϊκών χωρών. Πηγή: op.europa.eu	75

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Μεταφορά αγαθών στην Ελλάδα με διαφορετικά μέσα (1990-2030). Πηγή: Μηνιαίο Οικονομικό Δελτίο 2010, Alpha Bank	17
Πίνακας 2.1 Τυποποιημένες διαστάσεις και φορτία και μεγέθη βαγονιών ανάλογα τους άξονες της αμαξοστοιχίας. Πηγή: Kombi Consult analysis	24
Πίνακας 2.2 Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για τις εκπομπές ρύπων από φορτηγά 2000 kg και άνω. Πηγή: ΨΥΛΑΚΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ	32
Πίνακας 2.3 Προδιαγραφές Ε.Ε. για τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα, σε οχήματα δημόσιας χρήσης (Δ.Χ) & ιδιωτικής χρήσης (Ι.Χ.). Πηγή: European Commission	33
Πίνακας 2.4 Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για τις σιδηροδρομικές μηχανές έλξης. Πηγή: του συγγραφέα με δεδομένα από 2004/26/EC	35
Πίνακας 3.1 Σχέσεις κατανάλωσης καυσίμου - Βάρους ωφέλιμου φορτίου. Πηγή: (Coyle, 2007)	37
Πίνακας 3.2 Ελάχιστες κλίσεις οδού από διάφορες τιμές ταχύτητας και μικτού βάρους, για μηδενική κατανάλωση καυσίμου.	47
Πίνακας 3.3 Παράμετροι που δεν επηρεάζονται από την διαφοροποίηση της ταχύτητας κίνησης.....	50
Πίνακας 3.4 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές της ταχύτητας κίνησης.....	51

Πίνακας 3.5 Παράμετροι που δεν επηρεάζονται από την διαφοροποίηση του μικτού βάρους φορτίου.....	52
Πίνακας 3.6 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές του μικτού βάρους φορτίου.....	52
Πίνακας 3.7 Παράμετροι που δεν επηρεάζονται από τη διαφοροποίηση τιμών της κλίσης οδού.....	53
Πίνακας 3.8 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου για τις διάφορες τιμές της κλίσης οδού.....	54
Πίνακας 3.9 Κατανάλωση Καυσίμου (l/100km) με μεταβολή κλίσης και ταχύτητας.....	55
Πίνακας 3.10 Κατανάλωση Καυσίμου (l/100km) με μεταβολή κλίσης και μικτού βάρους.....	55
Πίνακας 4.1 Τυποποιημένες εξωτερικές διαστάσεις για τα εμπορευματοκιβώτια 20 και 40 ποδιών. Πηγή: uma.com.cy	60
Πίνακας 4.2 Ποσοστό ελαφριών, μεσαίου βάρους και βαριών εμπορευμάτων που διακινούνται από σταθμούς διακίνησης ε/κ. Πηγή: (Carrillo Zanuy, 2011).....	61
Πίνακας 4.3 Βάρος φορτίων για κάθε κατηγορία φορτίου. Πηγή: (Λευίτικος, 2017).....	61
Πίνακας 4.4 Πλήθος ε/κ και μικτού βάρους για το Σενάριο #1.....	62
Πίνακας 4.5 Πλήθος ε/κ και μικτού βάρους για το Σενάριο #2.....	62
Πίνακας 4.6 Μικτό βάρος και πλήθος ε/κ για το Σενάριο #3.....	63
Πίνακας 4.7 Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο υπολογισμού: ελάχιστη κλίση και μικτό βάρος.....	64
Πίνακας 4.8 Κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος για κάθε τύπο φορτίου..	64
Πίνακας 4.9 Κατανάλωση καυσίμου για το 1ο Σενάριο.....	65
Πίνακας 4.10 Σύγκριση εκπομπών ρύπων (CO _{2e}) μεταξύ φορτηγού και τρένου 1 ^{ου} Σεναρίου. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014).....	66
Πίνακας 4.11 Κατανάλωση καυσίμου για το 2ο Σενάριο.....	67
Πίνακας 4.12 Σύγκριση εκπομπών ρύπων (CO _{2e}) μεταξύ φορτηγού και τρένου 2 ^{ου} Σεναρίου. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014).....	67
Πίνακας 4.13 Κατανάλωση καυσίμου για το Σενάριο 3.....	68
Πίνακας 4.14 Σύγκριση εκπομπών ρύπων (CO _{2e}) μεταξύ φορτηγού και τρένου για το Σενάριο 3. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014).....	69
Πίνακας 5.1 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα της ΔΥ.....	71
Πίνακας 5.2 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μείωση και η εκμηδένιση της ΔΥ σε μεγάλους μήκους κατωφέρειες.....	72
Πίνακας 5.3 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα της ΔΚ.....	72
Πίνακας 5.4 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα του έργου Αεροδύναμης, εντός του αστικού δικτύου.....	73
Πίνακας 5.5 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα του έργου Αεροδύναμης κατά την αλλαγή ταχύτητας κίνησης.....	73
Πίνακας 5.6 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα του έργου αντίστασης κύλισης, κατά τις μεγάλους μήκους κατωφέρειες.....	73

Πίνακας 5.7 Ρυθμός ανάπτυξης των εκπομπών ρύπων για ιδιαίτερος βαριά αγαθά.	74
---	----

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Μερίδιο εμπορευματικών μεταφορών ανά μεταφορικό μέσο στην Ε.Ε. (πηγή: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split)	14
Διάγραμμα 1.2: Οδικές εμπορευματικές μεταφορές στην ΕΕ μεταξύ 2011-2020	15
Διάγραμμα 1.3: Ενοποιημένη ανάλυση διαφορετικών τρόπων μεταφοράς, τοπο-χιλιόμετρα μετρου βάρους εμπορευμάτων στην Ε.Ε.	16
Διάγραμμα 1.4: Ποσοστό χρήσης σιδηροδρομικού δικτύου στις εμπορευματικές μεταφορές της Ε.Ε. Πηγή: Eurostat	16
Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα εκπομπών ρύπων στην ΕΕ μέσα σε μια 30ετία. Πηγή: EUROSTAT	31
Διάγραμμα 2.2: Εκπομπές του CO ₂ από τις σιδηροδρομικές μεταφορές στην Ε.Ε. για την περίοδο 1990-2020 (μονάδα μέτρησης= εκατομμύρια μετρικούς τόνους). Πηγή: statistica.com	34
Διάγραμμα 3.1: Διαφορές στην απώλεια λόγω τριβής και αντίστασης κύλισης. Πηγή: (Coyle, 2007)	38
Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα επεξήγησης της απόδοσης καυσίμου για διαφορετικές ταχύτητες, με κοινό παράγοντα την ανωφέρεια. Πηγή: Oak Ridge National Laboratory	42
Διάγραμμα 3.3: Αποδοτικότητα καυσίμου για διαφορετικά είδη τερέν, ταχύτητας, για οποιοδήποτε βάρος οχήματος. Πηγή: Oak Ridge National Laboratory	42
Διάγραμμα 3.4: Κατανάλωση - ταχύτητα για διαφορετικά βάρη. Πηγή: Oak Ridge National Laboratory	43
Διάγραμμα 3.5: Διάγραμμα απο ORNL που εξηγεί την γραμμική σχέση μεταξύ ενέργειας έλξης και κατανάλωσης καυσίμου. Πηγή: ORNL	45
Διάγραμμα 3.6: Διάγραμμα ελάχιστης κλίσης οδού για μηδενική κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με την ταχύτητα και το μικτό βάρος.	48
Διάγραμμα 3.7: Η γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές ταχύτητας κίνησης.	51
Διάγραμμα 3.8: Η γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές του μικτού βάρους φορτίου.	53
Διάγραμμα 3.9: Η γραφική αναπαράσταση της κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές της κλίσης οδού.	54
Διάγραμμα 4.1: Υψόμετρα οδικού δικτύου για διαδρομή Αθήνας - Θεσσαλονίκης. Πηγή: www.graphhopper.com	58
Διάγραμμα 4.2: Γραφική αναπαράσταση των εκπομπών (CO ₂ e) μεταξύ φορτηγού και τρένου 1 ^{ου} Σεναρίου.	66
Διάγραμμα 4.3: Γραφική αναπαράσταση των εκπομπών (CO ₂ e) μεταξύ φορτηγού και τρένου 2 ^{ου} Σεναρίου.	68

Διάγραμμα 4.4 Γραφική αναπαράσταση των εκπομπών (CO ₂ e) μεταξύ φορτηγού και τρένου 3 ^{ου} Σεναρίου. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014)	69
Διάγραμμα 4.5: Η συνολική κατανάλωση καυσίμου του στόλου φορτηγών, που μετρήθηκε από κάθε σενάριο	70

Ακρωνύμια

Ε.Δ.Υ.Μ - Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Υπουργών Μεταφορών
Ο.Ε.Μ. – Οδικές Εμπορευματικές Μεταφορές
Μ.Α.Μ.Φ.Ο. - Μέγιστη Αποδεκτή Μάζα Φορτωμένου Οχήματος
Ε.Κ.- Ευρωπαϊκή Κοινότητα
Δ.Χ.Φ- Δημόσιας Χρήσης Φορτηγό
Φ.Ι.Χ- Φορτηγά οχήματα Ιδιωτικής Χρήσης
Ε.Ο.Π- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
ΔΕΔ-Μ - Διερωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών
Ε.Ο.- Εθνική Οδός
Χ.Θ.- Χιλιομετρική Θέση
Μ.Ε.Ε.Τ.-Methodology for calculating transport emissions and energy Consumption
ORNL- Oak Ridge National Laboratory
Φ.Ε.Κ. – Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως

1 Εισαγωγή

1.1 Τύποι μεταφορών

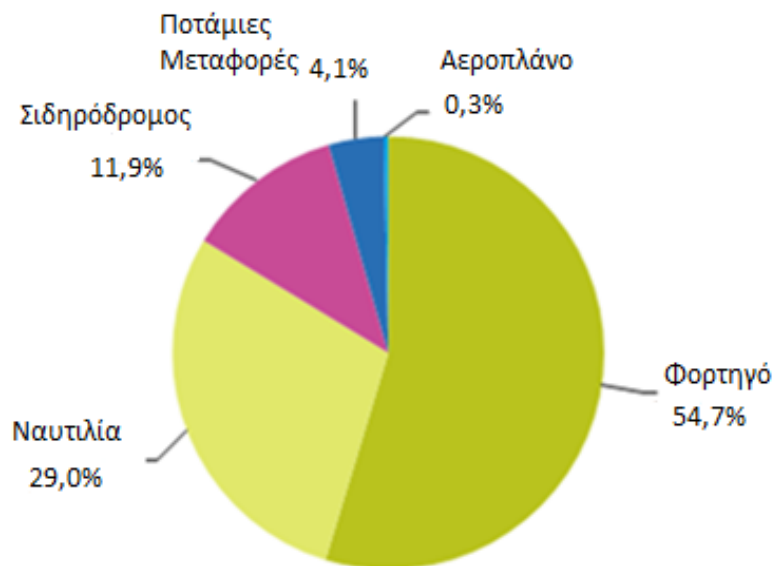
Στο πλαίσιο των οικονομικών αναταράξεων και ενισχυμένων περιβαλλοντικών απαιτήσεων των τελευταίων χρόνων γίνονται προσπάθειες σε όλους τους επιχειρηματικούς κλάδους να προσαρμοστούν σε συνθήκες συνεχώς μεταβαλλόμενες.

Η παρούσα διπλωματική θα ασχοληθεί με τον κλάδο των μεταφορών παρακολουθώντας την προσπάθειά του να προσαρμοστεί σε αυτές τις συνθήκες. Σε γενικές γραμμές οι υποδομές και οι λειτουργίες logistics και μεταφορών της Ελλάδας έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια και το σχέδιο δράσης που θεσπίστηκε από το Υπουργείο υποδομών και μεταφορών και εγκρίθηκε από το υπουργικό συμβούλιο για το 2021 δίνει ακόμα περισσότερο το στίγμα της στροφής σε βελτιστοποίηση των μεταφορών στη χώρα, με κύριους άξονες τη βελτίωση της ποιότητας του σχεδιασμού των έργων υποδομών, τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στις μεταφορές, την αναμόρφωση του μεταφορικού έργου και τη μετάβαση σε νέες μορφές κινητικότητας, στον εκσυγχρονισμό μεταφορών, την ασφάλεια και την ψηφιοποίησή τους.

Η ασφαλής και αποδοτική μεταφορά επιβατών και αγαθών, είναι ζήτημα ζωτικής σημασίας τόσο για την ποιότητα ζωής των πολιτών όσο και για την οικονομία της χώρας καθώς συμβάλλει στη γενικότερη ευημερία της. Οι μεταφορές διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον σκοπό για τον οποίο υλοποιούνται. Διακρίνονται στις μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων. Οι πρώτες εκτελούνται με χερσαίες, εναέριας και θαλάσσιες μονάδες, που προσφέρονται αδιακρίτως και σε συνεχή βάση στο επιβατικό κοινό έναντι κομίστρου, ακολουθούν προκαθορισμένες διαδρομές και επιτρέπουν την επιβίβαση και αποβίβαση επιβατών σε προκαθορισμένα σημεία και τοποθεσίες. Οι δεύτερες αναλαμβάνουν την οργάνωση και διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ομοίως μέσω χερσαίων, εναέριων και θαλάσσιων μεταφορών, και μπορούν να έχουν δημόσιο και ιδιωτικό χαρακτήρα. Το χερσαίο δίκτυο θα αποτελέσει την βάση της συγκεκριμένης μελέτης.

Η επιλογή του μέσου μεταφοράς γίνεται βάσει των χαρακτηριστικών που εξαρτώνται από τη φύση του προϊόντος που μεταφέρεται και των συνθηκών μεταφοράς (διαδρομή, προορισμός, καιρικές συνθήκες κ.λπ.). Οι θαλάσσιες μεταφορές επιλέγονται όταν μεταφέρονται προϊόντα υψηλής ζήτησης, ως πιο οικονομική επιλογή και οι αεροπορικές για προϊόντα υψηλής αναγκαιότητας, λόγω της ταχύτητας. Κατ' επέκταση, κυρίαρχες σε μεταφορές στο ηπειρωτικό κομμάτι, είναι οι χερσαίες, που διακρίνονται σε οδικές και σιδηροδρομικές. Στην χώρα μας, οι οδικές κατέχουν την πλειονότητα των εμπορευματικών μεταφορών χάρις την προσαρμοστικότητα και τη λειτουργικότητά τους σε όλες τις συνθήκες (γεωγραφικές, καιρικές κ.λπ.) κάτι που δεν ισχύει για τις γραμμές σιδηροτροχιάς. Φαίνεται όμως πως σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, οι δεύτερες βιώνουν άνοδο στην χρήση μετά το 2014, οπότε επανήλθαν σε λειτουργία τα διεθνή δρομολόγια, προκρίνοντας, ταυτόχρονα την ανάπτυξη των συνδυασμένων

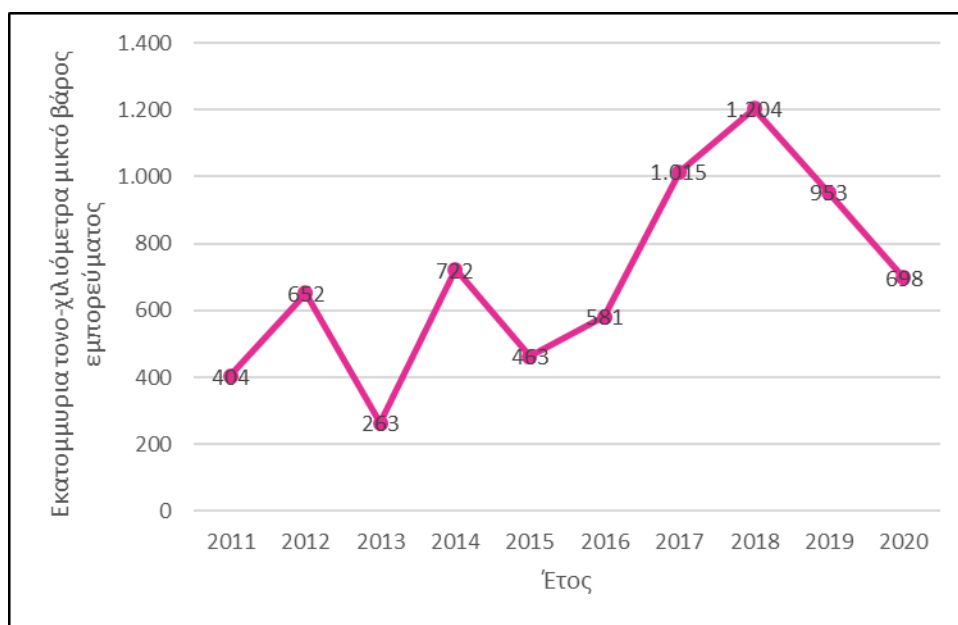
μεταφορών. Παρακάτω (Διάγραμμα 1.1) φαίνεται το ποσοστό μεριδίου αγοράς που αναλαμβάνει κάθε μέσο εμπορευματικής μεταφοράς.



Διάγραμμα 1.1: Μερύδιο εμπορευματικών μεταφορών ανά μεταφορικό μέσο στην Ε.Ε. Πηγή: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split

1.2 Μερύδιο αγοράς

Η Ελλάδα βρύσκειτα σε μια πολύ σημαντική γεωγραφική θέση για το παγκόσμιο εμπόριο, καθώς γεωπολιτικά, αποτελεί την πύλη επικοινωνίας για την δυτική Ευρώπη και τις χώρες της Άπω Ανατολής. Έτσι, ως συνδετικός κρίκος, μπορεί να επηρεάσει άμεσα την κίνηση του εμπορίου και να προωθήσει την ανάπτυξη της μέσα από αυτόν τον ρόλο. Οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές (ΟΕΜ) επωφελούνται από την συνθήκη αυτή και ευδοκίμουν στην χώρα λόγω του γεωγραφικού τοπίου, δηλαδή της έντονης ορεινής μορφολογίας, η οποία οδηγεί τελικά ακούσια, στον περιορισμένο ρόλο του σιδηρόδρομου. Η ταχεία ανάπτυξη του οδικού δικτύου προωθείται επιπλέον, γιατί πλεονεκτεί ως προς το κόστος κατασκευής σε πολλές περιπτώσεις. Μέσα από στοιχεία της EUROSTAT στο Διάγραμμα 1.2 φαίνεται πως οι ΟΕΜ τα τελευταία δέκα χρόνια είχαν μια μεταβολή στην εμπορευματική τους κίνηση που μπορεί να γίνει εμφανής μέσα από το επόμενο διάγραμμα.

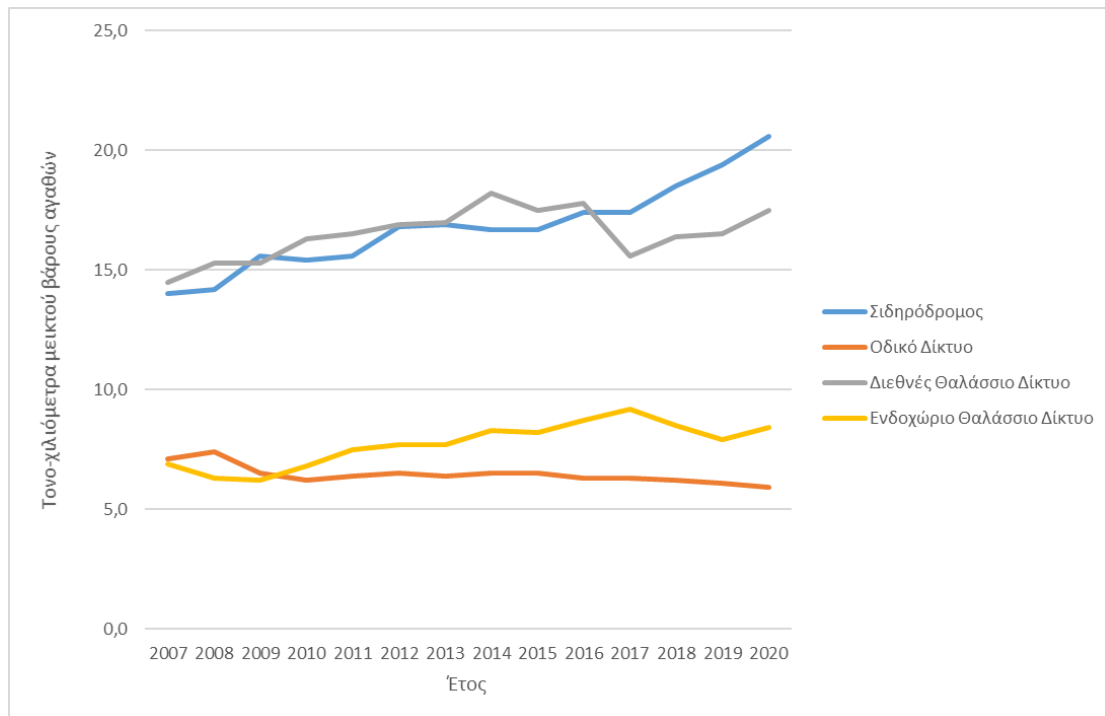


Διάγραμμα 1.2: Οδικές εμπορευματικές μεταφορές στην ΕΕ μεταξύ 2011-2020
Πηγή: από τον συγγραφέα με δεδομένα από Eurostat ¹

Σε αντίθεση με το ελληνικό παράδειγμα, στο σύνολο της ΕΕ, φαίνεται πως τα μεγαλύτερα ποσοστά τόνο-χιλιομέτρων παραλαμβάνονται από το σιδηροδρομικό δίκτυο, γεγονός που εξηγείται, καθώς οι βορειοευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούν, σε μεγάλο βαθμό, τον σιδηρόδρομο ως μέσο συνδυασμένων μεταφορών στα εθνικά τους δίκτυα.

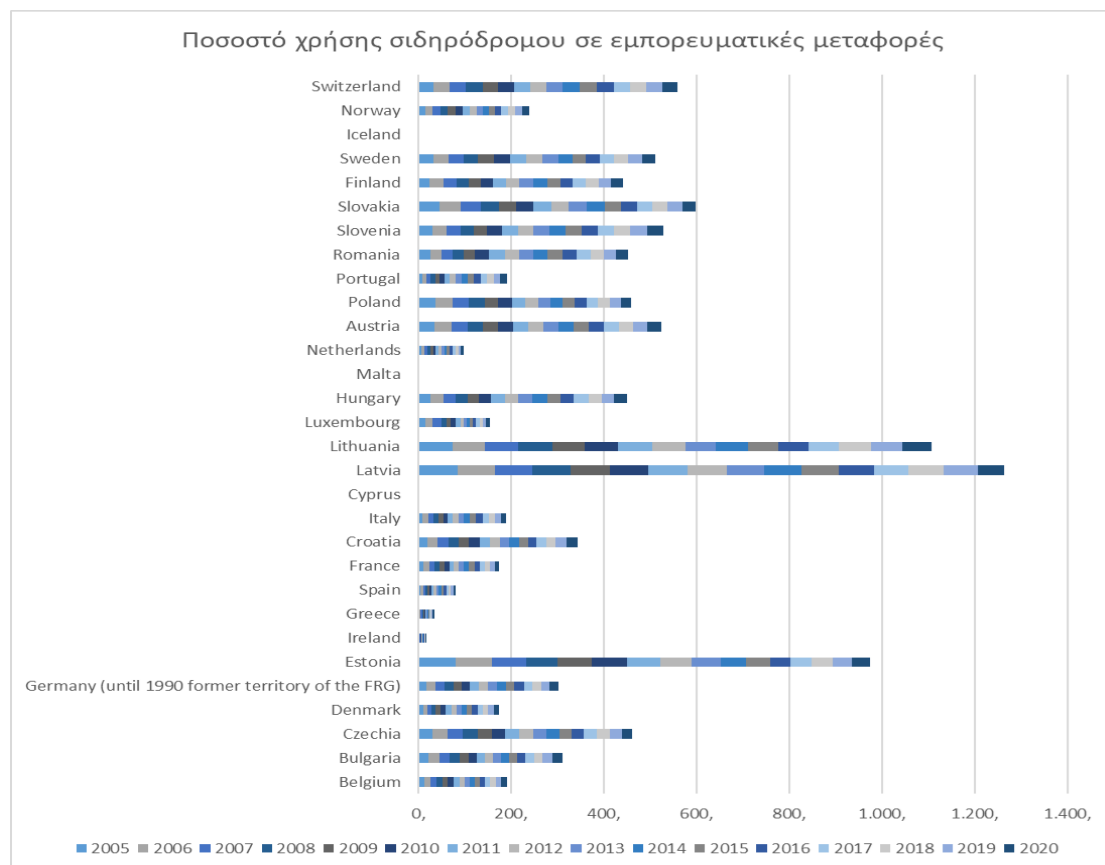
Σε ευρωπαϊκό επίπεδο επίσης, δίνεται σημαντική χρηματοδότηση σε έργα υποδομών και επιδομών για τον σιδηρόδρομο, αλλά και στη βιομηχανία μηχανών – Locomotive, που χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Είναι σημαντικό να αναφερθούμε στην ουσιαστική αύξηση και στη χρήση του σιδηροδρόμου σε χώρες όπως η Λετονία, η Λιθουανία, η Γερμανία, η Ελβετία και η Εσθονία, όπως φαίνεται και από τα ποσοστά στο Διάγραμμα 1.4, το μεγαλύτερο μέρος των μεταφορών εμπορεύματος καλύπτεται από τον σιδηρόδρομο, με μια προφανή, βέβαια, μείωση της χρήσης του κατά το έτος 2020 της τάξης του 17-19%, εξαιτίας της πανδημίας που από ποσοστό 75%-76%, έπεσε στο 55%-57%). Στο Διάγραμμα 1.3 γίνεται πιο κατανοητή η μεταβολή των χερσαίων μεταφορών στην ΕΕ ανά τα χρόνια και ειδικά τα τελευταία πέντε χρόνια από το 2017 και μέχρι σήμερα.

¹ Για τα δεδομένα εικόνα 2, βλέπε παράρτημα 1



Διάγραμμα 1.3: Ενοποιημένη ανάλυση διαφορετικών τρόπων μεταφοράς, τόνο-χιλιόμετρα μικτού βάρους εμπορευμάτων στην Ε.Ε.

Πηγή: μορφοποίηση από συγγραφέα με δεδομένα από Eurostat



Διάγραμμα 1.4: Ποσοστό χρήσης σιδηροδρομικού δικτύου στις εμπορευματικές μεταφορές της Ε.Ε.

Πηγή: Eurostat

Αντίθετα, στην χώρα μας, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1.1 παρακάτω, ο διαμερισμός των εμπορευματικών μεταφορών ανά μέσο μεταφοράς είναι σχετικά άνισος, ειδικά στην σύγκριση των χερσαίων μεταφορών. Συγκεκριμένα, οι οδικές μεταφορές με φορτηγά οχήματα, αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό για την Ελλάδα, με 32,8 δις τόνο-χιλιόμετρα για το έτος 2020, ενώ οι σιδηροδρομικές και οι ακτοπλοϊκές 1,0 και 12,6 αντίστοιχα.

Πίνακας 1.1: Μεταφορά αγαθών στην Ελλάδα με διαφορετικά μέσα (1990-2030). Πηγή: Μηνιαίο Οικονομικό Δελτίο 2010, Alpha Bank

	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	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				

Γίνεται εμφανής λοιπόν η μεγάλη διαφοροποίηση που υπάρχει στην εμπορευματική επιλογή μέσου στην Ελλάδα, με την ανάλυση δύο βασικών λόγων. Ο πρώτος λόγος είναι η έλλειψη βαριάς βιομηχανίας, γεγονός που δεν βοηθάει στην ευημερία του σιδηροδρομικού κλάδου έναντι του οδικού, που διαθέτει μεγαλύτερη ευελιξία στην αγορά. Ο δεύτερος λόγος, και λιγότερο ευμετάβλητος, είναι η γεωμορφολογία της Ελλάδας, με ποσοστό 70% ορεινού εδάφους (Μιχαηλίδου, Σεπτέμβριος 2008). Η περίσσεια στην εναλλαγή της μορφολογίας του εδάφους δημιουργεί εμπόδια στην ομαλή ανάπτυξη του σιδηρόδρομου καθώς, δεν μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα πολύμορφο περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα χρειάζεται κατασκευή υποδομών όπως γέφυρες, σήραγγες κ.λπ., έργα υψηλών οικονομικών προδιαγραφών. Εξαιτίας των παραπάνω λόγων, δεν δίνεται σπουδαία προσοχή στον σιδηρόδρομο για τις εμπορευματικές μεταφορές, ενώ για την ώρα προκρίνεται το οδικό δίκτυο, ως το πιο συμφέρον, σε χρόνο, κόστος, ευελιξία κ.λπ.

1.3 Κατανάλωση καυσίμων φορτηγών οχημάτων - σιδηρόδρομου

Με αφορμή τα όσα προαναφέρθηκαν κρίθηκε σημαντικό να κατανοηθεί η διαφοροποίηση στην επιλογή των χερσαίων μέσων και κυρίως τους ειδικούς παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή φορτηγών έναντι σιδηροδρόμων. Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η διερεύνηση της κατανάλωσης καυσίμου ενός οχήματος ως παράγοντα επιλογής (φορτηγού ή τρένου), μελετώντας την επιρροή προς το περιβάλλον. Μέσα από την έρευνα, θα γίνει προσπάθεια εξήγησης μερικών από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση και ο τρόπος και η κλίμακα στην οποία την επηρεάζουν.

Οι στάσεις του οχήματος, το αεροδυναμικό σχήμα, η υποδομή (εννοώντας τα ελαστικά ή τους τροχούς αντίστοιχα), η κατασκευή και η ποιότητα του οδοστρώματος ή των σιδηροτροχιών, η συντήρηση του κινούμενου οχήματος, οι τεχνολογίες διαχείρισης του στόλου, οι καιρικές συνθήκες, η παλαιότητα του οχήματος και ο

τρόπος οδήγησης, είναι μερικοί από τους παράγοντες επιρροής στην κατανάλωση. Ωστόσο, οι τρεις που κρίθηκαν σημαντικότεροι, που στην πλειονότητα των περιπτώσεων κυριαρχούν, είναι η ταχύτητα κίνησης του οχήματος, η κλίση της εκάστοτε επιδομής (οδόστρωμα ή σιδηροτροχιά), και το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου. Αυτοί οι παράγοντες θα εξεταστούν ως προς την επιρροή τους στην εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων στο εκάστοτε σύστημα μεταφορών.

Προκειμένου να προβούμε σε χρήσιμα αποτελέσματα, τα δεδομένα θα ληφθούν για μία συγκεκριμένη διαδρομή με χαρακτηριστικά που εξυπηρετούν την εργασία. Η διαδρομή θα είναι και για τα δύο μέσα η Αθήνα- Θεσσαλονίκη η οποία επιλέγεται πρώτον διότι πρόκειται για μια διαδρομή που ούτως ή άλλως, καλύπτουν και το οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο για τις εμπορευματικές μεταφορές, σε καθημερινή βάση και κατά δεύτερον, τα δύο δίκτυα, δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στα χιλιόμετρα, επομένως επιτρέπεται να γίνει σύγκριση σε ένα κοινό πεδίο μελέτης με το οδικό δίκτυο να έχει μήκος 499 χιλιόμετρα, ενώ το σιδηροδρομικό 518,8 χιλιόμετρα, διαφορά που κρίθηκε αμελητέα για το σκοπό της εργασίας.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου των φορτηγών οχημάτων. Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των κυριότερων παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές με φορτηγά οχήματα καθώς και η σύγκριση με τις αντίστοιχες σιδηροδρομικές. Για το σκοπό αυτό γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας στο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο μεταξύ Αθήνας και Θεσσαλονίκης.

1.5 Διάρθρωση της εργασίας

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στην θεματολογία της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αναφέρονται οι διαφορετικοί τύποι μεταφορών και οι τρόποι ολοκλήρωσης τους, μέσα από μια γκάμα μεταφορικών μέσων, καθώς και τα μερίδια που αναλαμβάνει κάθε μέσο σε ευρωπαϊκή εμβέλεια. Επιπλέον, καταχωρείται ο κύριος σκοπός ύπαρξης της παρούσας εργασίας, δηλαδή η ανάγκη έρευνας της κατανάλωσης καυσίμου των χερσαίων μέσων ως προς το κόστος κατανάλωσης και το αποτύπωμα άνθρακα στο περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο 2, υπήρξε η ανάγκη τεκμηρίωσης του σκοπού μελέτης, για αυτό και καταγράφονται μια σειρά από βιβλιογραφικές αναφορές, σχετικά με τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τυποποίηση μεγεθών και πιο οικολογικών λύσεων στις μεταφορές. Κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση, δημιουργείται η ανάγκη για ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου των χερσαίων μεταφορών και ο βαθμός επιρροής τους, όπου τεκμηριώνεται με την χρήση και καταγραφή ορισμένων διαδικτυακών υπολογιστικών μοντέλων.

Κατά το κεφάλαιο 3, αναλύεται η βάση που χρησιμοποιήθηκε για το μοντέλο ανάλυσης της κατανάλωσης, με χρήση πινάκων που εξηγούν την επιρροή των τριών κύριων παραγόντων και την επιρροή τους στην κατανάλωση καυσίμου.

Στο κεφάλαιο 4, γίνεται η παρουσίαση της μεθοδολογίας που απασχολεί την παρούσα διπλωματική εργασία και παρατάσσονται οι πίνακες με τα διάφορα σενάρια φόρτωσης. Εξετάζεται η σύγκριση των χερσαίων μεταφορών με πραγματικά δεδομένα και αποτελέσματα που πάρθηκαν από το Google Earth και αναλύθηκαν μέσω Graphhopper.com και γίνεται ο σχολιασμός τους σε σύγκριση με αποτελέσματα από παλαιότερη εργασία για το τρένο (Τουρνάκη Ε. , 2014).

Στο κεφάλαιο 5, παρατίθενται ορισμένα συμπεράσματα που πάρθηκαν μετά το τέλος της έρευνας, που θεωρήθηκαν άξια αναφοράς και τέθηκαν κάποιες βασικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα και εισηγήσεις σχετικά με ελλιπή στοιχεία και δεδομένα, που χρειάστηκαν περαιτέρω διερεύνηση και δια χειρός μετατροπή, ώστε να είναι λογικά και χρήσιμα.

Τέλος, ακολουθεί η βιβλιογραφία, οι πηγές και τα παραρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διπλωματική εργασία.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Ευρωπαϊκοί κανονισμοί και οδηγίες

Με την άνοδο των χερσαίων μεταφορών δημιουργήθηκε η ανάγκη διαμόρφωσης νομικών πλαισίων με σκοπό τον προσδιορισμό των χερσαίων εμπορευματικών διασυνοριακών μεταφορών για την σωστή, έννομη και σύμφωνη λειτουργία αυτών εντός και εκτός της Ε.Ε. και στο εσωτερικό των κρατών. Έτσι, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα (Ε.Κ.) και το Κοινοβούλιο της, θέσπισαν οδηγίες και κανονισμούς, με σκοπό την τυποποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των μεταφορών, και την ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας μεταξύ των κρατών μελών υπό το πρίσμα ενός κοινού νομικού περιβάλλοντος. Η Ελλάδα ως μέλος της Ε.Κ., ακολουθεί τις οδηγίες αυτές μέσα από την κύρωση νομοθεσίας που σκοπό έχει να κρατήσει το σύστημα μεταφορών της χώρας στα πλαίσια αυτών.

Το νομοθετικό πλαίσιο που όρισε η Ε.Ε. για τις χερσαίες μεταφορές, περιλαμβάνει κανόνες ασφάλειας, κυρώσεις σε παραβάσεις, τυποποίηση μεγεθών και εκσυγχρονισμό των μεταφορικών μέσων με χρήση βιοκαυσίμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι βασικές οδηγίες για τους δύο τύπους μεταφορών εξετάζονται στη συνέχεια. Η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης των καυσίμων, εξοικονόμηση ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος, έφερε την Ε.Ε. σε θέση να δημιουργήσει μια σειρά από πρότυπες οδηγίες προκειμένου να τηρούνται κανόνες και όρια στην κατανάλωση.

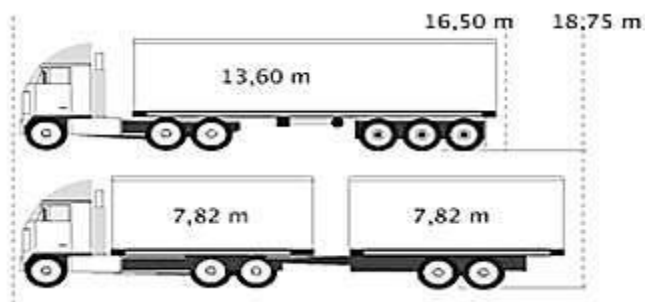
2.1.1 Οδικές μεταφορές

Το φορτηγό ως το πρωταγωνιστικό μέσο στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές, μπορεί να ποικίλει σε μέγεθος και τύπο, ανάλογα με την φύση του φορτίου, της μεταφοράς, της διαδρομής κ.α.. Οι οδηγίες που τέθηκαν από την Ε.Ε. σχετικά με την τυποποίηση διαστάσεων, των μέγιστων βαρών και μέγιστου ορίου ταχύτητας, έχουν σκοπό την βελτίωση της λειτουργίας του εμπορίου μεταξύ των χωρών και την ελεύθερη κυκλοφορία εμπορευμάτων στην Ε.Ε.. Με βάση τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 2019/1242 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου που διενεργήθηκε στις 20/06/2019, ορίστηκε η οδηγία για την ομογενοποίηση και τυποποίηση σε μήκη, πλάτη, ύψη οχήματος, μικτά βάρη και μέγιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες.

Οδηγία 96/53/ΕΚ:

Αρχικά για την τυποποίηση των διαστάσεων ως προς το μέγιστο μήκος ενός εμπορευματικού οχήματος, δημιουργούνται κατηγορίες ανάλογα τον τύπο του οχήματος, όπως τα απλά οχήματα με κινητήρα, τα ρυμουλκούμενα οχήματα που καταλήγουν και σε οδικούς συρμούς και τα αρθρωτά οχήματα. Τα μήκη που επιτρέπονται στην Ευρώπη, κυμαίνονται από 12,00-18,75μ. για τις παραπάνω κατηγορίες. Ως προς το μέγιστο πλάτος οχήματος, συνήθως είναι 2,55μ. και μπορεί να φτάσει και 2,60μ. σε πιο σπάνιες περιπτώσεις. Το μέγιστο ύψος είναι πάντα σταθερό στα 4,00μ., χωρίς περιθώριο αύξησης. Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος οχήματος διαφέρει ανάλογα την αξονικότητα του φορτηγού (διαξονικό, τριαξονικό

ρυμουλκούμενο κ.α.) και ξεκινάει από τους 18 τόνους και μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 44 τόνους. Η τυποποίηση στην μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να φτάσει ένα φορτηγό είναι στα 90km/h σε βαρέα οχήματα.



Εικόνα 2.1 Κάποια από τα πρότυπα ISO 1A, 30.5 Mr. Πηγή: (Αποστολόπουλος, 2018)

Οδηγία 2003/30/EK:

Στην οδηγία αυτή ορίζεται η προώθηση χρήσης βιοκαυσίμων σε εμπορευματικές και επιβατικές μεταφορές και την διαδέχεται τέσσερα χρόνια μετά, η ευρωπαϊκή οδηγία που διαθέτει πιο εκσυγχρονισμένες απαιτήσεις, με μακρόπνοο σχέδιο για το μέλλον.

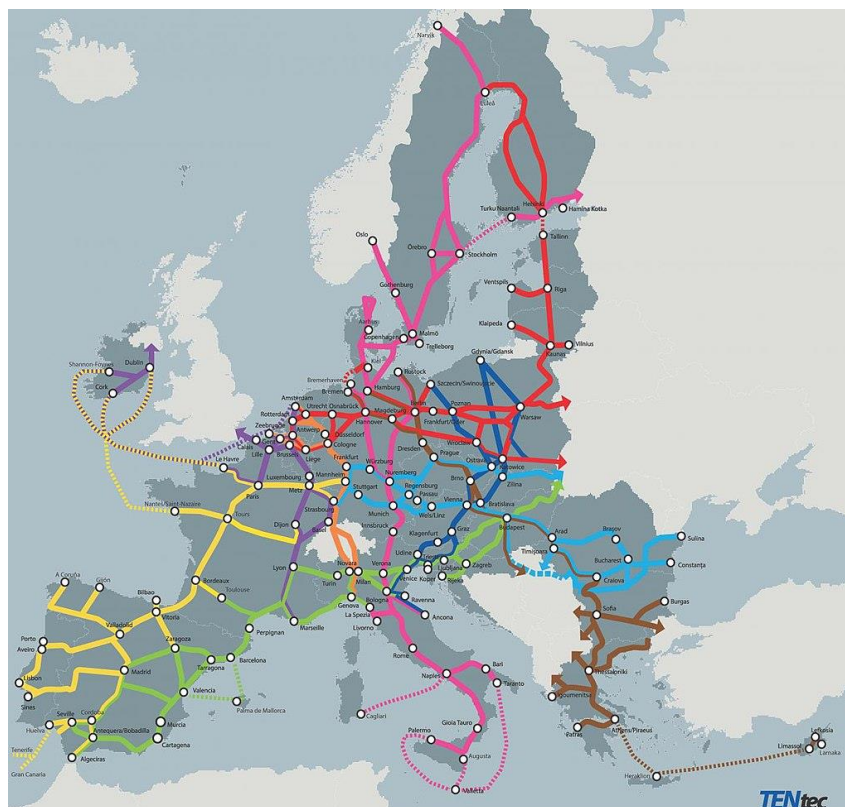
Οδηγία 2007/1370/EK:

Η πιο σημαντική απαίτηση είναι να καθιερωθεί μέχρι το 2020, το 10% των μεταφορών να γίνεται με βιοκαύσιμα, για όλα τα κράτη μέλη.

Οδηγία 2009/28/EK:

Το 2009 διαμορφώνονται νέα κίνητρα για προώθηση χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η εξοικονόμηση και η αύξηση ενεργειακής απόδοσης. Επίκεντρο είναι τα ηλεκτρικά οχήματα, με σκοπό την ένωση των σύγχρονων οδικών μεταφορών με την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Αναγράφεται ο υποχρεωτικός στόχος του 10% σε όλα τα κράτη μέλη ως μερίδιο της τελικής ενέργειας που καταναλώνεται στον τομέα των μεταφορών, όχι μόνο από βιοκαύσιμα αλλά και από ανανεώσιμες πηγές.

Οι παραπάνω διατάξεις είναι οι πιο σημαντικές, καθώς αποτελούν την βάση της τυποποίησης. Τυποποίηση που φαίνεται να έχει τεράστια σημασία αν δοθεί και η απαραίτητη προσοχή στον χάρτη που ακολουθεί, που είναι εμφανέστατο το πυκνό διεθνές οδικό δίκτυο εμπορευματικών μεταφορών στην Ε.Ε.



Εικόνα 2.2: Το εθνικό οδικό δίκτυο στα κράτη μέλη της Ε.Ε. για το 2020, Πηγή: trans-European Transport Network.

2.1.2 Σιδηροδρομικές μεταφορές

Συγκεκριμένα πρότυπα και οδηγίες εφαρμόζονται και στον σιδηρόδρομο, για την προώθηση τυποποιημένων διαδικασιών όσον αφορά στην ομοιογένεια, την κατανάλωση ενέργειας, την κατανάλωση καυσίμου και εκπομπών. Πρόκειται για μια κοινή πολιτική της Ε.Ε. για ελαχιστοποίηση των εκπομπών και καλύτερη χρήση καυσίμων. Τα αέρια που απελευθερώνονται κατά την καύση, σε έναν σιδηρόδρομο, είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , οξείδιο του αζώτου NO_x , υδρογονάνθρακας HC , μεθάνιο CH_4 και φθοριούχα αέρια τα οποία ονομάζονται και αέρια του θερμοκηπίου. Το σιδηροδρομικό σύστημα αποτελείται από τρία μέρη, την επιδομή που είναι οι σιδηροτροχιές, το κινητήριο όχημα ή αλλιώς Locomotive, και τα ρυμουλκούμενα βαγόνια. Κινείται με παραγωγή κινητικής ενέργειας μέσα από την καύση πετρελαίου, είτε μέσω ηλεκτρικής ενέργειας είτε μέσω μαγνητισμού. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και εξής, κατασκευάζονται ντίζελ-ηλεκτράμαξες ισχύος 4.000 ίππων με τέσσερις κινητήριους άξονες και χρησιμοποιούνται ευρέως σε ταχείες εμπορευματικές υπηρεσίες. Για μεγάλες εμπορευματικές μεταφορές προτιμώνται ακόμη ντίζελ-ηλεκτράμαξες με έξι κινητήριους άξονες (Βυθούλκα, 2018). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σιδηροδρόμων, αλλά και η αναγκαιότητα για διαφύλαξη της ασφάλειας, είναι κάποιοι από τους λόγους που μεριμνά η Ε.Ε. και θεσπίζει οδηγίες προς όλα τα κράτη μέλη.

Συγκεκριμένα η τυποποίηση γίνεται στις υποδομές και τις επιδομές, καθώς οι μεταφορά εμπορευμάτων με διατροφικές μεθόδους, γίνεται μεταξύ διαφορετικών κρατών μελών της Ε.Ε., αλλά μέσω κοινών σιδηροδρομικών γραμμών.

Ο σιδηρόδρομος, έχοντας καταφέρει να μετατρέψει ένα βασικό μειονέκτημα του, που είναι ο ένας βαθμός ελευθερίας κίνησης λόγω της παρουσίας των δύο σιδηροτροχιών, σε πλεονέκτημα, διευκολύνει την αυτοματοποίηση πολλών λειτουργιών και ευνοεί την μεθοδευμένη διαδικασία μεταφορών της, όπως τη σηματοδότηση, την πέδηση και τη ηλεκτρική έλξη.

Κανονισμός 75/130/ΕΟΚ:

Χάρις στον κανονισμό του 1975, έγινε η αρχή για θέσπιση κοινών κανόνων στο ευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο για τις συνδυασμένες μεταφορές καθώς θα ξεκινούσε μια καινούργια εποχή για τον σιδηρόδρομο. Ουσιαστικά:

- απελευθερώθηκε η πρόσβαση σε κάθε εθνικό δίκτυο,
- δόθηκε δικαίωμα σε διεθνείς επιχειρήσεις να μπορούν να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο και
- προωθήθηκε η ανάγκη για κατασκευή συστημάτων κοινής συμβατότητας στην επικοινωνία γραμμής- αμαξοστοιχίας
- καθιερώθηκε η μέγιστη ταχύτητα κίνησης της αμαξοστοιχίας στα 200-220 χλμ., από τα υψηλότερα δεδομένα που τότε κατείχε το Ηνωμένο Βασίλειο.

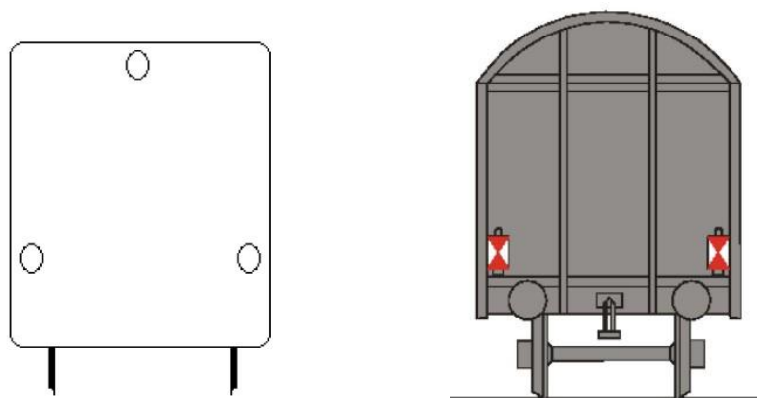
Οδηγία 2001/14/ΕΚ:

Σε αυτή την οδηγία ορίζεται η έννοια της σιδηροδρομικής επιχείρησης δημόσιου ή ιδιωτικού χαρακτήρα, που επιχειρεί να δραστηριοποιηθεί μέσω της χρήσης σιδηροδρόμου για τη μεταφορά εμπορευμάτων ή/και επιβατών υπό την προϋπόθεση ότι η επιχείρηση αυτή εξασφαλίζει υποχρεωτικά και την έλξη του σιδηρόδρομου. Σε αυτή την οδηγία συμπεριλαμβάνονται και οι επιχειρήσεις που παρέχουν μόνο την έλξη.

Οδηγία 2016/797:

Σχετικά με την τεχνική προδιαγραφή μεταξύ των κρατών μελών του υποσυστήματος «διεξαγωγή και διαχείριση της κυκλοφορίας» του σιδηροδρομικού συστήματος. Ορίζονται προδιαγραφές για τις αμαξοστοιχίες σε εμπρόσθιο και οπίσθιο άκρο αντίστοιχα:

- Το μέτωπο του επικεφαλούς οχήματος πρέπει να έχει τρία φώτα σε τριγωνική διάταξη με σκοπό την ανιχνευσιμότητα και αναγνωσιμότητα, σε συγκεκριμένο ύψος άνω της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 2.3 Εμπρόσθιο και οπίσθιο άκρο αμαξοστοιχίας που μεταφέρει εμπορεύματα. Πηγή: Εκτελεστικός Κανονισμός 2019/773, 16/05/19

- Η σήμανση σε οπίσθιο άκρο αλλάζει ανάλογα αν πρόκειται για εμπορευματική ή επιβατική αμαξοστοιχία. Στις εμπορευματικές τοποθετούνται ανακλαστικές πινακίδες πάνω από τον προσκρουστήρα επί του εγκάρσιου άξονα.

Παρακάτω Πίνακας 2.1 φαίνονται τυποποιημένα μεγέθη για τους πιο σημαντικούς τύπους τρένων που χρησιμοποιούνται για εμπορευματικές μεταφορές.

Πίνακας 2.1 Τυποποιημένες διαστάσεις και φορτία και μεγέθη βαγονιών ανάλογα τους άξονες της αμαξοστοιχίας. Πηγή: Kombi Consult analysis

Αριθμός αξόνων	Τύπος/ Παράδειγμα	Μέγιστο Φορτίο	Μήκος	Βάρος τροχού	Ικανότητα φόρτωσης
		[tn]	[m]	[tn]	[tn]
2	Lgns	45	12,2	12,3	32,7
4	Sgmns	90	<18,30	18,3	71,5
	80'	136		26	109
6	104'	135	24,3- 31,7	32	102
	pocket	135		35	100

Ωστόσο, όσον αφορά στο δίκτυο, σύμφωνα με άρθρο στην ιστοσελίδα της Europa.eu (ΕΕΣ, 2018) δεν υπάρχει ευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας, ενώ η Επιτροπή δεν διαθέτει νομικά μέσα ή εξουσία στη διαδικασία λήψης αποφάσεων ώστε να διασφαλίσει ότι τα κράτη μέλη πραγματοποιούν ταχεία πρόοδο στην ολοκλήρωση των διαδρόμων κεντρικού δικτύου που προβλέπονται στον κανονισμό από το Διευρωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών (ΔΕΔ-Μ). Ουσιαστικά, υπάρχουν μόνο εθνικά δίκτυα που έχουν κατασκευαστεί μεμονωμένα από τα κράτη δημιουργώντας ένα μη ομογενοποιημένο σύστημα, χωρίς κατάλληλο διασυνοριακό συντονισμό. Αυτό είναι ένα κενό του ευρωπαϊκού συστήματος που χρήζει περαιτέρω μελέτης.

2.2 Νομοθεσία στην Ελλάδα

Με την σειρά της η Ελλάδα, μέσα από την συνεργασία των νομοθετικών αρχών και του Υπουργείου Υποδομών & Μεταφορών, θεσπίζει νόμους που βασίζονται στις παραπάνω οδηγίες, πάντα προσαρμοσμένες στα εθνικά δεδομένα.

2.2.1 Οδικές μεταφορές

Το 1976 θεσμοθετήθηκε ο N. 383/1976 «Περί διενέργειας εμπορευματικών μεταφορών δια φορτηγών αυτοκινήτων δημόσιας χρήσης και άλλων τινών διατάξεων» που αποδείχθηκε η βάση για τις εθνικές μεταφορές γιατί περιέγραφε τις παραβάσεις, τις κυρώσεις, την διαδικασία ελέγχου αδειών Φορτηγών Δημόσιας Χρήσης (Φ.Δ.Χ) και τον διαδέχθηκαν νόμοι όπως ο N.3446/2006 που επισυνάπτονται οι διοικητικές κυρώσεις που θα γίνονται σε παραβάσεις επί των διενεργειών ελέγχου και προβλημάτων σε ευρωπαϊκές εμπορευματικές συμφωνίες με τρίτες χώρες, για Φορτηγά Ιδιωτικής Χρήσης (Φ.Ι.Χ.).

Επίσης, οι νέες νομοθεσίες, έπρεπε να στοχεύσουν σε συγκεκριμένους άξονες της κοινωνίας για να προωθήσουν την εξοικονόμηση ενέργειας, που αποτελούσε και αποτελεί και σήμερα, ένα κεντρικό ζήτημα. Η ορθολογικότερη χρήση των ήδη υπάρχοντων μέσων μεταφοράς, η χρήση οχημάτων με τεχνολογικά συστήματα υψηλής απόδοσης και η οικολογικότερη / οικονομικότερη οδήγηση ως προς την κατανάλωση καυσίμου προς την διανυθείσα απόσταση σε χιλιόμετρα, αποτελούν τους κύριους τρεις άξονες που συγκεντρώνουν την προσοχή των νομοθετικών πλαισίων.

Το 2010, τέθηκε σε λειτουργία ένας νέος νόμος που κάλυπτε τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για τις άδειες κυκλοφορίας. Σύμφωνα με το άρθρο 4 παρ. 2, του Ν. 3887/2010 «οι άδειες κυκλοφορίας φορτηγών δημόσιας χρήσης χορηγούνται αποκλειστικά για φορτηγά, τα οποία εμπίπτουν στην κατηγορία εκπομπών EURO IV ή EURO V ή μεταγενέστερων οδηγιών που καθορίζονται με απόφαση του Υπουργού Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, και δεν επιτρέπεται η αντικατάστασή τους με άλλα φορτηγά αυτοκίνητα μεγαλύτερου ή μικρότερου μικτού βάρους». Αυτό μετέτρεψε τις διαδικασίες έκδοσης αδειών σε πιο ακέραιες από ότι ήταν πριν.

Όπως στις οδηγίες της Ε.Ε. πληθαίνει η θεματολογία των εκπομπών βλαβερών ρύπων προς το περιβάλλον, έτσι και στην χώρα, υπάρχει η Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) κατ' εφαρμογή της Οδ. 2001/42/ΕΚ σχετικά με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων του Περιφερειακού Σχεδίου Αττικής για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ) (<https://www.newsauto.gr>). Ένα από τα κεφάλαια του σχεδίου ασχολούνται με την μετάβαση σε φορτηγά οχήματα με προδιαγραφές Euro 7 που έχει σκοπό να φέρει μια πιο οικολογική αλλαγή στις εμπορευματικές μεταφορές με μείωση εκπομπών NO_x και μηδενικές εκπομπές CO₂, από το 2025 για φορτηγά και από το 2027 για βαρέα οχήματα.

2.2.2 Σιδηροδρομικές μεταφορές

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί την βασική λύση του μέλλοντος εξετάζοντάς το από οικονομικής και περιβαλλοντικά φιλικής σκοπιάς. Η Ελλάδα έχει δυστυχώς ένα από τα μικρότερα μερίδια στην αγορά των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών στην ΕΕ, μόλις το 1.2% του συνόλου των εμπορευματικών μεταφορών (EUROSTAT,2020). Σε σύγκριση με το αεροπλάνο, που αποτελεί μια πολύ συχνή επιλογή, με αρκετά αρνητικές συνέπειες σε σχέση με τις ρυπαντικές εκπομπές, τα πλεονεκτήματα του σιδηρόδρομου αυξάνονται ιδιαίτερω, σε συνάρτηση με την Ευρώπη έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες σοβαρές επενδυτικές κινήσεις, προς αναβάθμιση των σιδηροδρόμων, η Ελληνική Κυβέρνηση θα έπρεπε να ενθαρρύνει τη χρηματοδότηση σύγχρονων, ταχείας μετακίνησης σιδηροδρόμων σε όλες τις περιφέρειές της και διακρατικά.

Εφαρμόζεται από το 2016 η οδηγία 2016/2370 η οποία έχει ως θεματική την ασφάλεια στον σιδηρόδρομο και περιλαμβάνει ρυθμίσεις για τις υπηρεσίες γενικού οικονομικού συμφέροντος, με στόχο την προώθηση φιλικής ανταγωνιστικότητας μεταξύ κρατών (Υπ. Υποδομών & Μεταφορών, 2016). Επίσης, οι οδηγίες 2016/797 και 2016/798 ενσωματώθηκαν εδώ και κάποια χρόνια στην χώρα με την επικύρωση του N. 4632/2019, με σκοπό την αποτελεσματική διαλειτουργικότητα των σιδηροδρομικών δικτύων της Ελλάδας με άλλες χώρες.

Ωστόσο, φαίνεται ότι η Ελληνική αγορά και οικονομία δε μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξή τους στο σιδηροδρομικό δίκτυο. Μπορούμε άμεσα να καταλάβουμε, ότι η επιλογή επένδυσης σε οδικό δίκτυο παρά σε σιδηροδρομικό, αποτελεί την βάση της Ελληνικής οικονομίας, για λόγους γεωμορφολογίας και ελλειπούς χρηματοδότησης στον τομέα των σιδηροδρόμων. Παρακάτω θα αναλυθούν τα μερίδια αγοράς της Ελλάδας και χωρών της Ευρώπης, αλλά και τα ποσοστά χρήσης κάθε δικτύου.

2.3 Η προσπάθεια για μείωση της κατανάλωσης

Αν γίνει προσπάθεια να εξηγήσουμε, περιληπτικά, την νομοθεσία στην Ελλάδα και τις οδηγίες της Ε.Ε., μπορούμε να συμπεράνουμε ότι «κινούνται» ανάμεσα σε τρεις βασικούς άξονες, το περιβάλλον, την εκπομπή ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα ο τρίτος άξονας για τις χερσαίες μεταφορές, οι οποίες έχουν κοινό παράγοντα το καύσιμο ντίζελ, όπου και θα εξεταστεί εκτενώς παρακάτω.

Το καύσιμο ντίζελ ή κετάνιο γενικά είναι οποιοδήποτε υγρό καύσιμο χρησιμοποιείται σε ντιζελοκινητήρες, των οποίων η ανάφλεξη δεν γίνεται με σπινθηρισμό αλλά με συμπίεση του εισερχόμενου αέριου μείγματος και έγχυσης του καυσίμου με παρουσία οξυγόνου. Με την ανακάλυψη του ντιζελοκινητήρα το 1892 από το *Rudolf Diesel*, ο σιδηρόδρομος επανήλθε στη λίστα ανταγωνισμού με τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς. Ο τρόπος που λειτουργεί ένας ντιζελοκινητήρας ή μια ντιζελάμαξα είναι ως εξής: ο αέρας οδηγείται στον κύλινδρο, όπου συμπιέζεται ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του. Έπειτα μια ποσότητα πετρελαίου εγχύνεται εντός του κυλίνδρου με την παρουσία

ατμοσφαιρικού αέρα. Τότε το πετρέλαιο αναφλέγεται χωρίς σπινθήρα, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και από θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια στο σύστημα κίνησης (Καπετανάκης, 2003). Υπάρχουν πολλά πεδία μελέτης του καυσίμου τα οποία είναι όμοια για σιδηρόδρομο και φορτηγό και είναι άξια αναφοράς.

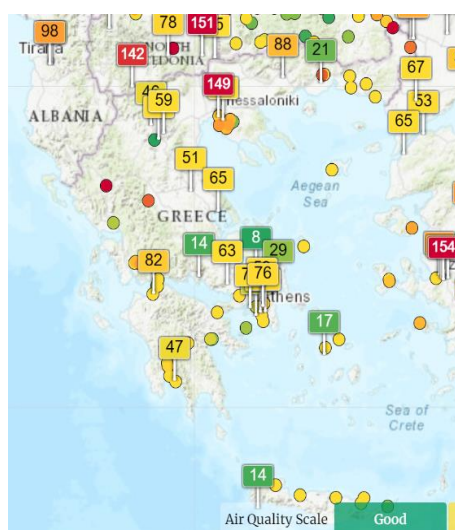
2.3.1 Οι εκπομπές ρύπων από τις μεταφορές

Η πυκνότητα του πετρελαίου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κατανάλωση του καυσίμου και την λειτουργία του κινητήρα ως προς τη δυνατότητα ισχύος ή την εξοικονόμηση. Η πυκνότητα του υγρού εκφράζεται σε μάζα ανά μονάδα όγκου ($SI = kg/m^3$). Επίσης, η ποιότητα ανάφλεξης έχει αξία, καθώς καθορίζει τον βαθμό απόδοσης και εξαρτάται από το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχει. Ουσιαστικά, όσο αυξάνεται η ποσότητα των ατόμων του μορίου του άνθρακα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση του καυσίμου για ανάφλεξη. Κατά την καύση, απελευθερώνονται σημαντικές ποσότητες ρύπων στην ατμόσφαιρα, που προκαλούν επιβλαβείς επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα από την καύση του καυσίμου είναι:

- Μονοξείδιο του άνθρακα – CO
- Διοξείδιο του άνθρακα- CO₂
- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες-HC
- Οξείδια του αζώτου-NO_x
- Διοξείδιο του θείου-SO₂
- Υδρατμοί-H₂O
- Στερεά μικροσωματίδια- PM (Τσακαλάκης, 2016)

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Ε.Σ.Υ.), οι μεταφορές στο σύνολο της Ε.Ε. αναλαμβάνουν το 33% του συνόλου εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα, ένα ποσοστό μεγάλης επιρροής και σημασίας, που χρήζει διερεύνησης. (Pablo Martínez Fernandez, 2019)

Κυρίως τα πιο επιβλαβή αέρια θεωρούνται οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες HC, το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ και τα οξείδια του αζώτου NO_x, για αυτό ανήκουν και στην κατηγορία των ρυπαντών. Μέσα από τον παρακάτω χάρτη της Ε.Ε. Εικόνα 2.3, φαίνονται οι ημερήσιες εκπομπές αερίων και στερεών σωματιδίων ανά περιοχή, κάθε κράτους μέλους. Η Ελλάδα, διαθέτει λίγες ενδείξεις, καθώς δεν υπάρχουν μετρήσεις συγκεντρώσεων για όλες τις περιοχές. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται μέσα από τον χάρτη, στην χώρα οι εκπομπές στερεών σωματιδίων PM_{2.5}, είναι της τάξης 50-90 $\mu g/m^3$ που σε σχέση με χώρες της κεντρικής Ευρώπης, ακόμα διατηρείται σε διαχειρίσιμα πλαίσια



Εικόνα 2.4 Η εικόνα της χώρας μας για εκπομπές μικροσωματιδίων PM_{2.5}.
Πηγή: World's Air Pollution

χωρίς να μπορούν να εξαχθούν τελικά συμπεράσματα γιατί είναι μικρότερο το δείγμα συγκριτικά με άλλες χώρες.



Εικόνα 2.5 Οι δείκτες ρύπων στις διάφορες χώρες της Ε.Ε.. Πηγή: World's Air Pollution



Εικόνα 2.6 Εκπομπές μικροσωματιδίων στην Ε.Ε.. Πηγή: World's Air Pollution

2.3.2 Η κατανάλωση καυσίμων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την πρόσφατη καταμέτρηση, το 36,7% της κατανάλωσης καυσίμων είναι για τις μεταφορές, ωστόσο, μόνο το 2% της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται από τον τομέα των μεταφορών καταναλώνεται από τον σιδηρόδρομο, παρά το γεγονός ότι πάνω από το 17% των εμπορευματικών μεταφορών και το 8% των μεταφορών επιβατών, εκτελείται σιδηροδρομικώς εντός της ΕΕ (Επιτροπή, 2017) (González-Gil, 2014).

Στα φορτηγά, συνηθίζεται ο κινητήρας ντίζελ, καθώς χαρακτηρίζεται από την υψηλή αποδοτικότητά του σε μεγάλες και ταχείες εμπορευματικές διαδρομές. Η πλειοψηφία των φορτηγών χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως καύσιμο σε ποσοστό άνω του 75% (The commercial vehicle, 2007). Οι βενζινοκινητήρες επίσης χρησιμοποιούνται από φορτηγά οχήματα, αλλά περισσότερο σε μικρότερου βάρους οχήματα. Υπάρχουν ακόμα τα ηλεκτροκίνητα φορτηγά οχήματα, που όμως εν έτη 2022, ακόμα δεν διαθέτουν υψηλή αυτονομία, συγκριτικά με τους ντιζελοκινητήρες, με αποτέλεσμα να χρειάζονται συχνές, πολύωρες στάσεις για επαναφόρτιση.

Η εξέλιξή του είναι ο ντίζελ-ηλεκτροκινητήρας ο οποίος θα μπορούσε και να χαρακτηριστεί ως ηλεκτράμαξα που μπορεί να παράξει την δική του ηλεκτρική ενέργεια (The commercial vehicle, 2007). Ωστόσο, συγκριτικά με την ντιζελάμαξα, είναι πιο αργή και δεν ενδείκνυται για συχνές και ταχείες εμπορευματικές μεταφορές.

Η κατανάλωση ενέργειας μιας αμαξοστοιχίας, μετράται για τα συστήματα έλξης αλλά και μη-έλξης. Τα πρώτα αφορούν στην ενέργεια που παράγεται κατά την κίνηση της αμαξοστοιχίας, ενώ τα δεύτερα, στην ενέργεια που καταναλώνεται στις αποθήκες, στους σταθμούς και σε άλλες εγκαταστάσεις του σιδηροδρομικού συστήματος.

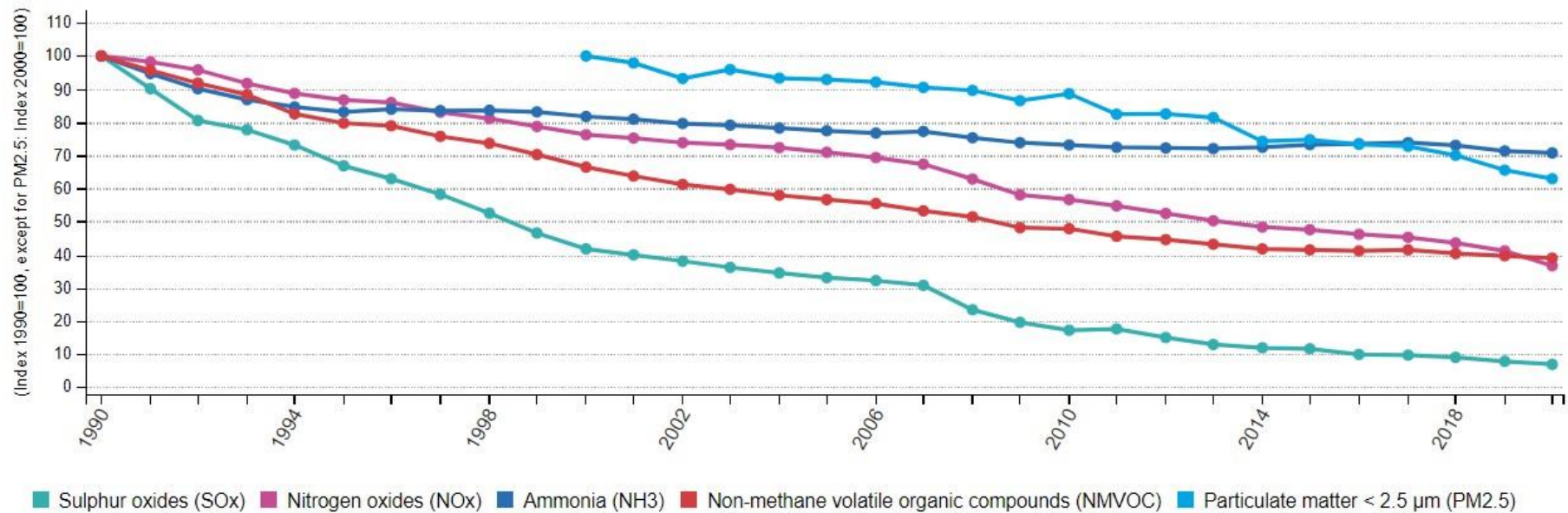
Τα σύγχρονα συστήματα μέτρησης της κατανάλωσης ενέργειας, συντηρούν μια μέθοδο που δίνει μια γενική εικόνα της κατανάλωσης ενός ταξιδιού. Δίνεται ουσιαστικά η καταμέτρηση λίτρων του καυσίμου (εδώ πετρέλαιο) ως προς την ικανότητα ανεφοδιασμού του συστήματος λίπανσης. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος, αφήνει πολλά περιθώρια λάθους όσον αφορά στην μέση κατανάλωση καθώς δεν προσδιορίζεται η συγκεκριμένη κατανάλωση για τις διαφορετικές ενέργειες, αλλά η μέση κατανάλωση του ταξιδιού.

Το παραπάνω πρόβλημα χρήζει επιπλέον έρευνας σχετικά με τον έλεγχο των παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας. Οι παράμετροι που μπορούν να ληφθούν υπόψιν, είναι πολυάριθμοι και επηρεάζουν διαφορετικά το κάθε στάδιο και τον κάθε τομέα. Πολλές αναφορές περιλαμβάνουν παράγοντες όπως «απροσδόκητες καθυστερήσεις» (Dominguez, Fernández-Cardador, Cucala, & Pecharroman, 2012), «αναγέννηση πέδησης» (Lu et. al., 2016), «ενσωματωμένα συστήματα αποθήκευσης» (Dominguez, 2012), «παραλλαγές της μάζας του τρένου» (W Carvajal-Carreño, 2014), ή «κατανάλωση βοηθητικών συστημάτων» (G Huang, 2017). Ωστόσο όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, η ταχύτητα κίνησης του αμαξώματος ή της αμαξοστοιχίας, το μεταφερόμενο βάρος φορτίου και η κλίση της οδού ή της σιδηροτροχιάς, είναι οι τρεις πιο συχνοί παράμετροι που εφαρμόζονται

για όλες τις χερσαίες μεταφορές, δεν θεωρούνται τόσο περίπλοκες ώστε να μην μπορούν να εκτιμηθούν, και τέλος, διατίθενται επαρκή στοιχεία και δεδομένα, ώστε να δοθεί ένα ακριβέστερο αποτέλεσμα.

2.3.3 Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και οι Ευρωπαϊκές προδιαγραφές

Οι δύο κύριοι λόγοι που γίνεται προσπάθεια εξήγησης και εκτίμησης της κατανάλωσης ενός οχήματος είναι η οικονομία και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το ένα τρίτο ($1/3$) της συνολικής ενέργειας στην Ε.Ε. καταναλώνεται από τις μεταφορές και ενώ οι τομείς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η βιομηχανία, φαίνεται να έχουν μειώσει το αποτύπωμά τους σε εκπομπές ρύπων, οι μεταφορές καταλαμβάνουν περισσότερο από το ένα τέταρτο ($1/4$) των συνολικών εκπομπών αερίων σε αυτή (ΕΟΠ, 2020). Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα που παρατίθεται παρακάτω, οι εκπομπές αερίων, έχουν την τάση να μειώνονται την τελευταία τριαντακονταετία, με τις εκπομπές PM να μειώνονται κατά 37% από το 2000 και έπειτα.



PM2.5 time series starts in 2000.

Source: European Environment Agency, also available at Eurostat (online data code: env_air_emis)

eurostat

Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα εκπομπών ρύπων στην ΕΕ μέσα σε μια 30ετία. Πηγή: EUROSTAT

Για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την επίτευξη του οράματος της ΕΕ για μηδενικές εκπομπές CO₂ έως το 2050, η ΕΕ “κατασκεύασε” μια πολιτική εξυγίανσης με τρεις βασικούς πυλώνες: πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικής ρύπανσης και πρότυπα εκπομπών για βασικές πηγές ρύπανσης (ΕΟΠ, 2017). Όσον αφορά στις μεταφορές, εδραίωσε την πολιτική των Euro X για πρότυπους κινητήρες βενζίνης και ντίζελ, που καταναλώνουν λιγότερο, εκπέμπουν λιγότερους ρύπους, είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον μεταξύ άλλων προδιαγραφών. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προδιαγραφές κάθε χρονιάς. Με N1 και N2 & N3 συμβολίζονται το βάρος των επιβατικών οχημάτων και ελαφρών φορτηγών με N3 να θεωρούνται τα μεγάλα φορτηγά 2000 kg και άνω.

Πίνακας 2.2 Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για τις εκπομπές ρύπων από φορτηγά 2000 kg και άνω. Πηγή: ΨΥΛΛΑΚΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ, 2013

EURO X	year	Κατηγορία οχήματος	CO (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM (g/km)
EURO 1	1992	N3	4.9	9.0	1.23	0.40
EURO 2	1997	N3	4.0	7.0	1.1	0.15
EURO 3	2001	N3	2.1	5.0	0,66	0.1
EURO 4	2006	N3	1.5	3.5	0,46	0,02
EURO 5	2011	N3	1.5	2.0	0,46	0,02

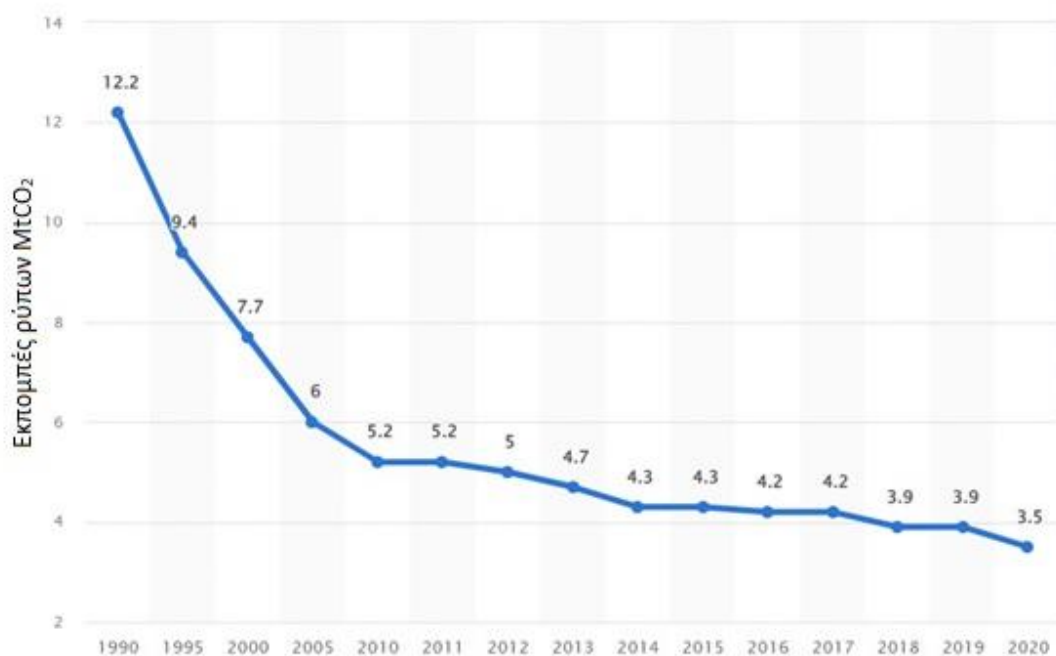
Πίνακας 2.3 Προδιαγραφές Ε.Ε. για τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα, σε οχήματα δημόσιας χρήσης (Δ.Χ.) & ιδιωτικής χρήσης (Ι.Χ.). Πηγή: European Commission

Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές Εκπομπών						
EURO X	year	Κατηγορία οχήματος	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC+NO _x (g/km)	PM (g/km)
EURO 1	1992	N1, ≤ 1305 kg N1,	2,72		0,97	0,14
		1305 - 1760 kg N1	5,17		1,4	0,19
		N1 > 1760 kg	6,9		1,7	0,25
EURO 2	1997	N1, ≤ 1305 kg N1,	1,0		0,7	0,08
		1305 - 1760 kg N1	1,25		1	0,12
		N1 > 1760 kg	1,5		1,2	0,17
EURO 3	2001	N1, ≤ 1305 kg N1,	0,66	0,5	0,56	0,05
		1305 - 1760 kg N1	0,8	0,65	0,72	0,07
		N1 > 1760 kg	0,95	0,78	0,86	0,1
EURO 4	2006	N1, ≤ 1305 kg N1,	0,5	0,25	0,3	0,025
		1305 - 1760 kg N1	0,63	0,33	0,39	0,04
		N1 > 1760 kg	0,74	0,39	0,46	0,06
EURO 5	2011	N1, ≤ 1305 kg N1,	0,5	0,18	0,23	0,005
		1305 - 1760 kg N1	0,63	0,235	0,295	0,005
		N1 > 1760 kg	0,74	0,28	0,35	0,005
		N2	0,74	0,28	0,35	0,005
EURO 6	2015	N1, ≤ 1305 kg N1,	0,5	0,08	0,17	0,005
		1305 - 1760 kg N1	0,63	0,105	0,195	0,005
		N1 > 1760 kg	0,74	0,125	0,215	0,005
		N2	0,74	0,125	0,215	0,005

Για τα Euro 7, τον Νοέμβριο του 2022 έγιναν οι πρώτες προτάσεις προδιαγραφών και οι οποίες σύμφωνα με στατιστικές, θα μειώσουν τις εκπομπές NO_x κατά 35% από τα Euro 6, και θα επιβάλλουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη χρήση ηλεκτρικών συστημάτων στα οχήματα και τους κινητήρες, με στόχο το 2035 να πετύχει 100% μείωση των εκπομπών CO₂ και CO_{2e}. Οι προδιαγραφές είναι δυνατόν να εφαρμοστούν από το 2027 για τα βαριά οχήματα, ωστόσο, οι παράγοντες των αυτοκινητοβιομηχανιών, φαίνεται να ασκούν πιέσεις, υποστηρίζοντας πως δεν θα μπορούν να ανταπεξέλθουν χρονικά στα καινούργια, αυστηρά και υψηλών απαιτήσεων πρότυπα.

Ο σιδηρόδρομος διακρίνεται για την σύγχρονη τεχνολογία του και το χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα που έχει παγκοσμίως, καθώς ως μέσο, έχει ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, ενσωματώνοντας την ηλεκτρική ενέργεια σε εμπορευματικές και επιβατικές αμαξοστοιχίες. Πιο συγκεκριμένα, λήφθηκε το κάτωθι διάγραμμα από την

ιστοσελίδα <https://www.statista.com>, το οποίο δείχνει την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂ από τρένα, για τα τελευταία τριάντα χρόνια, στην Ευρώπη. Τον Απρίλιο του 2004 δόθηκαν οι εκπομπές ρύπων για μηχανές έλξης και κινητήρες πλοίων, που διέθεταν τρεις φάσεις υλοποίησης, και στόχο είχαν να καθορίσουν τα όρια εκπομπών και την μείωση της κατανάλωσης.



Διάγραμμα 2.2: Εκπομπές του CO₂ από τις σιδηροδρομικές μεταφορές στην Ε.Ε. για την περίοδο 1990-2020 (μονάδα μέτρησης= εκατομμύρια μετρικούς τόνους). Πηγή: statista.com

Η πρώτη φάση (III A) καλύπτει κινητήρες ισχύος 19-560kW που αφορά κινητήρες σταθερής ταχύτητας και μηχανές έλξης, η δεύτερη (III B) αφορά κινητήρες ισχύος 37-560kW ομοίως και για μηχανές έλξης και η τρίτη φάση (IV), κινητήρες 56 και 560kW (Nolte, 2003). Παρακάτω διαμορφώθηκε Πίνακας 2.4, με αναλυτικότερη εικόνα των προτύπων για την εκπομπή ρύπων.

Πίνακας 2.4 Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για τις σιδηροδρομικές μηχανές έλξης. Πηγή: του συγγραφέα με δεδομένα από 2004/26/EC

IIIA	Καθαρή Ισχύς	Ημερομηνία	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
	[kW]		[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
	130≤P≤560	Δεκ. 2007	3,5	-	4		0,2
	560<P	Δεκ. 2009	3,5	0,5*	-	6,0*	0,2
	*HC=0,4g/kWh για κινητήρες με P>2.000kW & D>5 l/κύλινδρο						
IIIB	Καθαρή Ισχύς	Ημερομηνία	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
	[kW]		[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
	130<P	Δεκ. 2012	3,5	-	4	-	0,025
IV	Καθαρή Ισχύς	Ημερομηνία	CO	HC+NO _x	NO _x	PM	
	[kW]		[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	
	130≤P≤560	Δεκ. 2014	3,5	0,19	0,4	0,025	
	560<P	Δεκ. 2014	5	0,19	0,4	0,025	

Το κοινό σημείο στο οποίο γίνεται σύγκριση μεταξύ μέσων χερσαίων μεταφορών, είναι η κατανάλωση καυσίμου, αφού ο κοινός παράγοντας είναι η κατανάλωση καυσίμου ντίζελ, γεγονός που επιτρέπει να μελετηθούν σε κοινό επίπεδο. Έτσι, οι έρευνες που γίνονται από τους επιστήμονες, εκτός από τη μείωση της κατανάλωσης με σκοπό την μείωση ρύπανσης του περιβάλλοντος, έχουν στόχο την μείωση του ρυθμού της κατανάλωσης.

2.3.4 Εξοικονόμηση κατανάλωσης καυσίμων

Συγκοινωνιολόγοι και μηχανολόγοι μηχανικοί, αναζητούν τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, στοχεύοντας σε ευρετικές μεθόδους και λύσεις για τη σωστότερη διαχείρισή του. Η μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης είναι σε λίτρα ανά εκατό χιλιόμετρα (l/100 km) για την Ευρώπη και σε μίλια ανά γαλόνι (mpg) για τις ΗΠΑ. Η πρώτη αναφέρεται ως μονάδα κατανάλωσης, καθώς δίνει τα λίτρα που μπορεί να καταναλώσει ένα όχημα στα 100 χιλιόμετρα, ενώ η δεύτερη αναφέρεται ως μονάδα «οικονομίας», καθώς προσδιορίζει την βέλτιστη ποσότητα καυσίμου που θα καταναλωθεί στα ζητούμενα μίλια. Ουσιαστικά με την μείωση κατανάλωσης σε λίτρα/100 χιλ., αυξάνεται η τιμή σε μίλια ανά γαλόνι, με αντιστοιχία l/100km=235/mpg. (Μαραμαθός, 2016)

Εκτιμάται πως η κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού τύπου N3 (2000 kg και άνω), για συνήθεις συνθήκες, κυμαίνεται μεταξύ 33-36 l/100km. Σε πείραμα της WELLAN2000 το οποίο θα χρησιμοποιούσε το σύστημα POWER-Ring (επεξεργαστής για βελτιστοποίηση κατανάλωσης), ένα φορτηγό της μεταφορικής εταιρίας Helmut Baldus

GmbH, πριν την χρήση του επεξεργαστή, κατανάλωσε καύσιμο με ρυθμό 35,33 l/100km. Με την χρήση του συστήματος, κατάφερε την βέλτιστη απόδοση, με 31,20 l/100km (WELLAN2000, 2020). Η επιτυχία του συστήματος βασίζεται στην επεξεργασία των αεριοποιημένων μορίων έτσι ώστε να αποδίδουν καλύτερα κατά την καύση.

Με τον όρο οικονομία καυσίμου, νοείται η σωστή και ορθολογική χρήση της ενέργειας που παράγεται κατά την καύση, χωρίς ελλείψεις. Έχουν κατασκευαστεί πολλά μοντέλα και συστήματα, που σκοπό έχουν να ρυθμίζουν την κατανάλωση του καυσίμου και να προσφέρουν στην εξοικονόμησή του, όπως τα Bens Fuel Booster, Auto Polar, Super Fuel Max. Λειτουργούν με μαγνητισμό, αλλάζοντας την πολικότητα των μορίων του άνθρακα και του οξυγόνου, σε αντίθετες, δημιουργώντας καλύτερη ελκτικότητα μεταξύ των δύο, με λιγότερα κατάλοιπα στον θάλαμο καύσης. Οι πρακτικές όμως αυτές δεν μπορούν να εξασφαλίσουν 100% την οικονομία του καυσίμου, καθώς, τεράστια επιρροή σε αυτό, διαθέτουν παράγοντες όπως η σχεδίαση του οχήματος ή του τρένου και η τεχνική του κατάσταση, οι οδηγικές και κλιματικές συνθήκες κατά την κίνηση του, η κατάσταση και το μέγεθος του φορτίου, αλλά και ο τρόπος οδήγησης του οδηγού (ΚΑΠΕ, 2005).

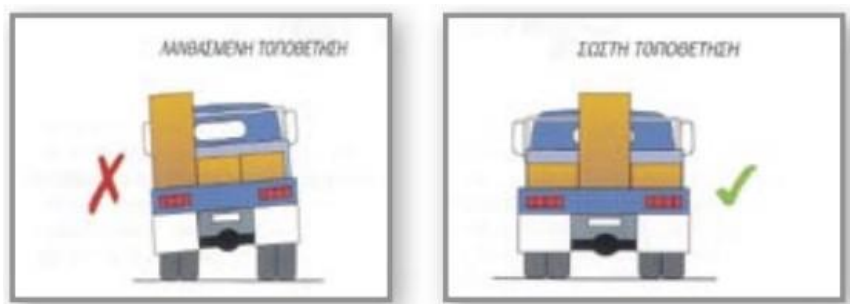
Στην συνέχεια θα περιγραφεί η μεθοδολογία υπολογισμού και θα παρουσιαστούν οι τρεις πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου ως προς το περιβάλλον και την οικονομία καυσίμου, οι οποίοι θα συμπεριληφθούν και θα επηρεάσουν το μοντέλο που θα μελετηθεί.

3 Μεθοδολογία Υπολογισμού

3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1.1 Χαρακτηριστικά φορτίου φορτηγού

Ο σημαντικότερος παράγοντας επιρροής στην κατανάλωση καυσίμου είναι το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου. Ουσιαστικά, το μικτό βάρος χωρίζεται στο βάρος του αμαξώματος (το απόβαρο) και το ωφέλιμο βάρος φορτίου. Πρέπει να δοθεί βάση στην τοποθεσία του φορτίου πάνω στο ρυμουλκούμενο αμάξιωμα, στο μέγεθος και στο είδος του φορτίου που μεταφέρεται από αυτό, καθώς και στις συνθήκες μεταφοράς.



Εικόνα 3.1 Σωστή και λανθασμένη διάταξη βαρών πάνω σε εμπορευματικό φορτηγό όχημα. Πηγή: «Εισαγωγή στην ασφαλή φόρτωση και μεταφορά φορτίων».

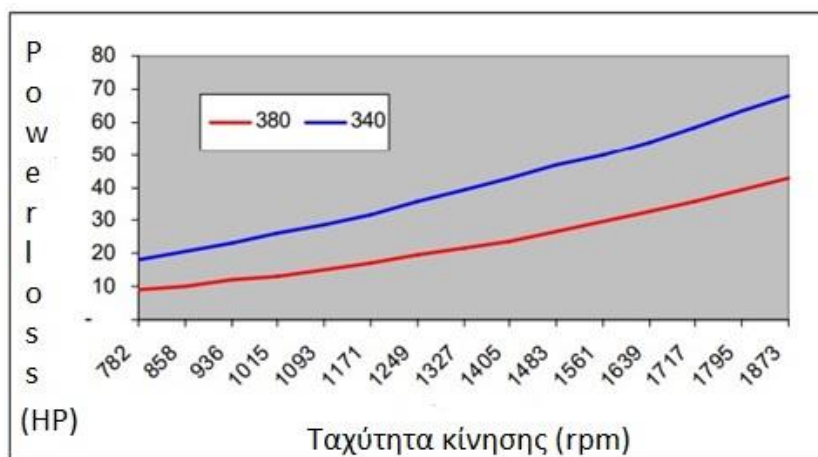
Το Υπουργείο Συγκοινωνιών του Ηνωμένου Βασιλείου σε συνεργασία με το Τμήμα Μεταφορών και άλλους φορείς, πραγματοποίησαν το 2007 ένα πείραμα μεταξύ δύο αρθρωτών φορτηγών οχημάτων, με σκοπό να ποσοτικοποιήσουν την επίδραση του βάρους του φορτίου στην κατανάλωση καυσίμου και την αποδοτικότητα του οχήματος (Coyle, 2007). Οι δύο τύποι φορτηγών που χρησιμοποιήθηκαν, θεωρούνται οι πιο συνηθείς στην Ε.Ε.. Χρησιμοποιήθηκαν, λοιπόν, δύο οχήματα των 32 και 44 τόνων, με κοινά χαρακτηριστικά στον εξωτερικό σχεδιασμό, αλλά και διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως η ιπποδύναμη της κάθε μηχανής. Παρά το γεγονός αυτής της διαφοροποίησης, φαίνεται πως η κατανάλωση δεν επηρεάστηκε σε σημαντικό βαθμό εξαιτίας της. Παρακάτω, αναγράφονται οι συναρτήσεις βάρους- κατανάλωσης καυσίμου για τους διαφορετικούς ίππους και τους διαφορετικούς τόνους φορτίου.

Πίνακας 3.1 Σχέσεις κατανάλωσης καυσίμου - Βάρους ωφέλιμου φορτίου. Πηγή: (Coyle, 2007)

340 PS	$FE = 10,8 - 0,139 * P$
380 PS	$FE = 10,6 - 0,143 * P$
44 tonnes	$FE = 9,701 - 0,165 * P$
32 tonnes	$FE = 11,754 - 0,287 * P$

Όπου FC είναι η κατανάλωση του καυσίμου, με μονάδα μέτρησης τα μίλια ανά γαλόνι (miles per gallon, mpg) και P είναι το ωφέλιμο φορτίο σε τόνους.

Στις μετρήσεις καταγράφηκαν μεγέθη όπως ο χρόνος, οι αποστάσεις, τα λίτρα που καταναλώθηκαν και η τοποθεσία του φορτίου πάνω στην καρότσα. Στη συνέχεια, προέβησαν σε αλλαγές όσον αφορά στο μέγεθος του φορτίου για κάθε όχημα και κατασκεύασαν τα παρακάτω διαγράμματα για να εξηγήσουν καλύτερα τις μεταβολές στην απόδοση. Τα πρώτα συμπεράσματα που μπορούμε να βγάλουμε μέσα από τις συναρτήσεις είναι η οικονομία καυσίμου σε ένα άφορτο όχημα ($P=0$) και η αύξηση της κατανάλωσης όταν υπάρχει φορτίο.



Διάγραμμα 3.1: Διαφορές στην απώλεια λόγω τριβής και αντίστασης κύλισης. Πηγή: (Coyle, 2007)

Όσον αφορά στην ιπποδύναμη του άφορτου οχήματος, μπορεί να γίνει σαφές ότι, το όχημα με ιπποδύναμη 340, μπορεί να είναι λιγότερο αποδοτικό σε σχέση με το 380. Αυτό συμβαίνει, λόγω αρχικά, της μικρότερης ισχύος του πρώτου σε σχέση με το δεύτερο. Δεύτερον, λόγω της αντίστασης κύλισης και της τριβής, που αυξάνονται ανάλογα με το βάρος του μετακινούμενου αμαξώματος. Έτσι, το όχημα, χρειάζεται να καταναλώσει μεγαλύτερη ενέργεια για να ανταπεξέλθει. Στην έρευνα που μελετάται, το όχημα με την μικρότερη ιπποδύναμη 340 PS, μπορεί να καταναλώσει καύσιμο με μεγαλύτερη οικονομία μέχρι τους 23 τόνους ωφέλιμου φορτίου, όπου είναι και η τελική του ικανότητα - άρα η αντίσταση κύλισης και η αντίσταση τριβής, δεν επηρεάζουν σημαντικά- σε αντίθεση με το όχημα 380 PS, υπερτερεί σε μεγαλύτερα φορτία.

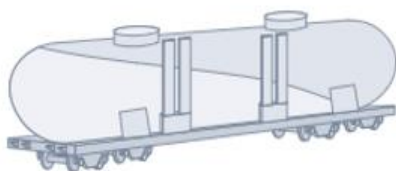
Για την επιρροή του βάρους στην κατανάλωση καυσίμου και την οικονομία αυτού, κατασκευάστηκε και η παρακάτω εξίσωση που συνδυάζει το βάρος του φορτίου (w σε lb) και την απόδοση του καυσίμου (FE σε mpg). Είναι ένας γενικός τύπος υπολογισμού της απόδοσης που, δεν διαφοροποιείται ανάλογα το μέσο που μελετάται.

$$FE = -5 * 10^{-10} * w^2 + 8 * 10^{-6} * w + 9,6687 \quad (1)$$

Στα οχήματα με διαφορετικά βάρη αμαξώματος, φαίνεται πως το όχημα των 32 τόνων εμφανίζει χαμηλότερη κατανάλωση όταν δεν μεταφέρει φορτίο άρα μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου, όμως όταν τελικά δέχεται επιπλέον βάρος (ωφέλιμο βάρος), τότε μεταβάλλεται διαφορετικά, καθιστώντας το όχημα των 44 τόνων πιο

οικονομικό ως προς την κατανάλωση. Συγκεκριμένα, όταν το ωφέλιμο φορτίο γίνεται μεγαλύτερο των 17 τόνων, το όχημα των 32 τόνων καταναλώνει περισσότερο καύσιμο από τον πιο βαρύ του ανταγωνιστή, των 44 τόνων, επηρεαζόμενο από την αντίσταση κύλισης και την τριβή από το οδόστρωμα.

Επιπλέον, έχει σημασία να αναφερθούμε και στο έργο που παράγεται κατά τη μεταφορά ενός φορτίου από το όχημα επιλογής. Η κατανάλωση του καυσίμου μετρίεται σε σχέση με το πόσο καύσιμο έχει καταναλώσει ένα όχημα σε συγκεκριμένα τόνο-χιλιόμετρα. Άρα, η κατανάλωση συνδέεται άμεσα με το έργο που διαπράττει το εκάστοτε όχημα από την μεταφορά. Έτσι, υποθετικά, αν ένα όχημα άφορτο έκανε την ίδια διαδρομή με ένα όχημα έμφορτο, το άφορτο θα θεωρούνταν αντισυμβατικό καθώς κατανάλωσε καύσιμο, αλλά δεν παρήγαγε έργο, σε αντίθεση με το έμφορτο που διέπραξε την μεταφορά παράγοντας έργο (Verband der automobilindustrie, 2005). Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι ένα αμάξιμο θεωρείται οικονομικότερο και αποδοτικότερο, όταν μεταφέρει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φορτίο.



Επίσης, η θέση του φορτίου πάνω στο ρυμουλκούμενο αμάξιμο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση. Με το να βρίσκεται όσο πιο κοντά γίνεται στην καμπίνα και να έχει το χαμηλότερο δυνατό ύψος, προσφέρει καλύτερη αεροδυναμική στο όχημα και άρα μικρότερη αντίσταση και μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου.

Τα παραπάνω χρησιμοποιούνται και στην περίπτωση ενός σιδηροδρομικού συρμού, που διαθέτει έναν συγκεκριμένο αριθμό βαγονιών και ρυμουλκούμενων οχημάτων. Θα θεωρούνταν πολύ μεγάλη ενεργειακή δαπάνη, εάν τα βαγόνια δεν ήταν φορτωμένα με το μεγαλύτερο δυνατό φορτίο. Στον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας σε σιδηροδρομικούς συρμούς, υπεισέρχεται ο παράγοντας του συνολικού βάρους του συρμού, δηλαδή το ωφέλιμο βάρος και το απόβαρο του αμαξώματος, καθώς και το έργο για το οποίο υλοποιείται η μεταφορά, οριζόμενο ως η μεταφορική απόσταση επί τη μεταφερόμενη μάζα.

Εικόνα 3.2 Διαφορετικά είδη βαγονιών για εμπορευματικές μεταφορές χύδην και υγρών υλικών αγαθών.

Πηγή: <https://www.searates.com/reference/flat/>

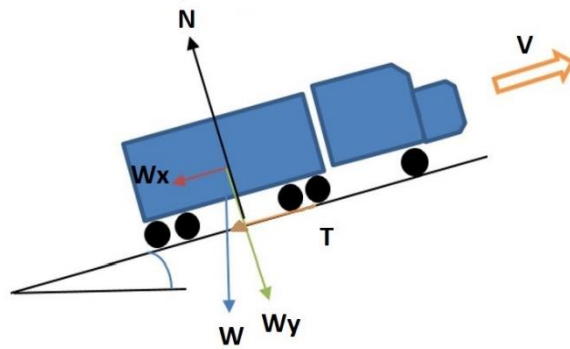
Στον σιδηρόδρομο έχει μεγάλη σημασία το μεταφερόμενο βάρος φορτίου σε συνάρτηση με την αντίσταση του οχήματος κατά την κίνηση και το φορτίο γραμμής που επιδρά στην αντίσταση κύλισης. Οι επιχειρήσεις, καταβάλουν προσπάθεια να μειώσουν την αναλογία της συνολικής μεταφερόμενης μάζας του συρμού προς το ωφέλιμο φορτίο του, χρησιμοποιώντας φορτάμαξες (βαγόνια ανοιχτού και κλειστού τύπου) και μεταφερόμενες μονάδες που έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο απόβαρο, εστιάζοντας έτσι στην οικονομία καυσίμου και στην μείωση επιρροής του βάρους.

Οι παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό με ένα φάσμα συνθηκών έχουν επιρροή στη μεταφορά εμπορεύματος, είτε αυτή διεκπεραιώνεται με φορτηγό, είτε με τρένο. Γίνεται αντιληπτή η ανάγκη, αλλά και η δυσκολία ανάπτυξης μοντέλων μεγάλης ακρίβειας για την αποσαφήνιση της επίδρασης των τριών παραγόντων που στην εν λόγω διπλωματική εργασία, θεωρήθηκαν οι σημαντικότεροι για την κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου.

3.1.2 Χαρακτηριστικά οδού

Τα φορτηγά βαριών φορτίων, πρέπει να κινούνται μέσω των αυτοκινητοδρόμων, καθώς από κανόνα, δεν ξεπερνούν 4% σε κλίση εδάφους. Γενικότερα η κλίση του οδοστρώματος δεν πρέπει να ξεπερνά τις τιμές 7-8%, καθώς η βαρυτική δύναμη θα υπερισχύσει, δημιουργώντας αναπόφευκτες επιπτώσεις (Ο Franzese, 2011). Η μορφή και η κλίση του εδάφους έχει ουσιαστικό ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου, ειδικά σε βαριά φορτηγά οχήματα και αμαξοστοιχίες. Στο οδικό δίκτυο, υπάρχουν ανωφέρειες και κατωφέρειες, με έντονες ιδιομορφίες που, ανάλογα με την περίπτωση, μπορεί να αυξήσουν ή να μειώσουν την κατανάλωση του καυσίμου. Στον σιδηρόδρομο, συνήθως αποφεύγονται αυτές οι διαδρομές αντ' αυτού κατασκευάζονται υποδομές όπως γέφυρες ή σήραγγες, που εξυπηρετούν το συρμό, με την μικρότερη δυνατή κλίση. Από άποψη δυναμικής ενέργειας, η δύναμη της βαρύτητας, μπορεί να αποδειχθεί είτε σύμμαχος και αντίπαλος για την κατανάλωση καυσίμου, πάντα σε συνδυασμό με τη θετική ή την αρνητική κλίση της οδού.

Πιο συγκεκριμένα, η λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης, διαφέρει στην περίπτωση της ανωφέρειας σε σχέση με της κατωφέρειας, καθώς στην πρώτη απαιτούνται στη λειτουργία της μηχανής, περισσότερες στροφές κατά την κίνηση. Ανάλογα με το ποσοστό της κλίσης στην ανωφέρεια, χρειάζεται μεγαλύτερη προσπάθεια από τη μηχανή για να ανταπεξέλθει, ενώ μπορεί να χρειαστεί ο οδηγός να κατεβάσει ταχύτητα, μειώνοντας το ρυθμό μετάδοσης σχετικά απότομα, γεγονός που αυξάνει την κατανάλωση του πετρελαίου.



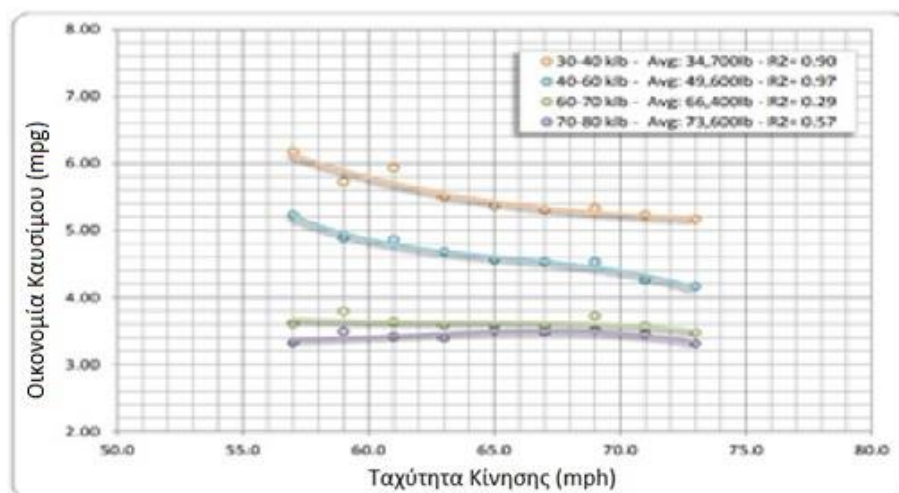
Εικόνα 3.3 Επεξήγηση των δυνάμεων που δέχεται ένα όχημα κινούμενο επί ανωφέρειας. Πηγή: από τον συγγραφέα

Κατά την κατωφέρεια, λειτουργούν διαφορετικές δυνάμεις, με τη βαρυτική δύναμη να παίζει θετικό ρόλο στην κίνηση. Σε περίπτωση μάλιστα μικρής κλίσης (π.χ. 2%), θεωρείται ότι το όχημα μπορεί να κινηθεί μόνο με το βάρος του σε συνδυασμό με την ταχύτητα που διατηρούσε στην αρχή της κατωφέρειας.

Επίσης, υπάρχουν δύο διαφορετικές επιλογές, με βάση την οδήγηση του οδηγού. Η πρώτη επιλογή είναι όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε σταθερές στροφές (νεκρά ταχύτητα), που σε συνδυασμό με την μορφή της διαδρομής μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα και μικρή έως μηδενική κατανάλωση. Η δεύτερη επιλογή είναι η εφαρμογή χαμηλής μετάδοσης μέσω μικρών ταχυτήτων, η οποία υπερσχύει της πρώτης, σε περίπτωση μεγάλου μήκους κατηφόρας, καθώς δεν επιζητά πολύ υψηλές στροφές στη μηχανή, διατηρώντας μια ισορροπία κατά την κατανάλωση (Τριανταφυλλίδης, 2017).

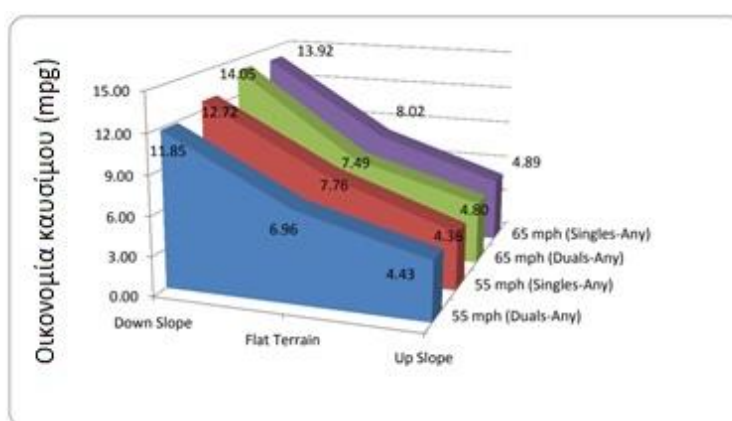
Οι αυτοκινητόδρομοι, μπορούν να κατασκευαστούν πιο εύκολα, ως πιο ευέλικτοι σε θέματα γεωμορφολογίας του εδάφους, και καθώς πρόκειται για την αποκλειστική οδό που μπορούν να ακολουθήσουν τα εμπορευματικά φορτηγά, γίνεται φανερός ο λόγος της μεγάλης ανάπτυξης του οδικού δικτύου έναντι του σιδηροδρομικού.

Η εταιρεία UT-BATTELLE σε συνεργασία με το εργαστήριο Oak Ridge National Laboratory, το 2011, μελέτησε μια διαδρομή μεγαλύτερη από 21.500 χιλιόμετρα, σε μια διαδρομή από το Κλήβελαντ έως το Νοξβίλ, που χωρίστηκε σε 3 τμήματα των 40 μιλίων (64,37 km). Προέβησαν σε 62 επαναλήψεις για την πρώτη διαδρομή, σε 28 για την δεύτερη και σε 50 για την τρίτη, διαφοροποιώντας την μεταβλητή του βάρους κάθε φορά. Με βάση την μελέτη, η κλίση του οδοστρώματος φαίνεται να κυμαίνεται από -3% έως +3% για τα τμήματα μελέτης, γεγονός που καθιστά την κλίση μια μεταβλητή χαμηλής επιρροής της κατανάλωσης.



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα επεξήγησης της απόδοσης καυσίμου για διαφορετικές ταχύτητες, με κοινό παράγοντα την ανωφέρεια. Πηγή: Oak Ridge National Laboratory

Η ανωφέρεια διαθέτει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στη μελέτη, καθώς η κατωφέρεια, σύμφωνα με τον οργανισμό, έχει σχεδόν μηδενική τιμή κατανάλωσης. Η τελική εικόνα για την κατανάλωση γίνεται πιο κατανοητή με το επόμενο 3D διάγραμμα που παρατίθεται από τη μελέτη και επιβεβαιώνει ότι, κατά την κατωφέρεια η απόδοση του καυσίμου είναι σχεδόν κατά 1/3 μεγαλύτερη σε σχέση με την ανωφέρεια, υπό σταθερή ταχύτητα.



Διάγραμμα 3.3: Αποδοτικότητα καυσίμου για διαφορετικά είδη τερέν, ταχύτητας, για οποιοδήποτε βάρος οχήματος. Πηγή: Oak Ridge National Laboratory

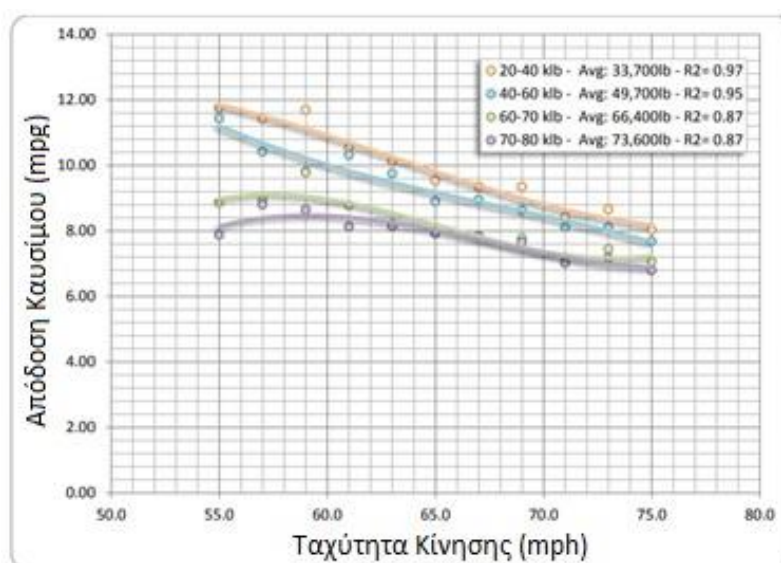
3.1.3 Οδηγική συμπεριφορά

Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας για την κατανάλωση καυσίμου, είναι η ταχύτητα κίνησης του οχήματος ή της αμαξοστοιχίας. Όπως καθορίστηκε και από τα ευρωπαϊκά πρότυπα, η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα που μπορεί να έχει ένα φορτηγό όχημα, είναι τα 90 km/h. Ωστόσο, δεν πρόκειται και για τη βέλτιστη ταχύτητα κατανάλωσης, η οποία ορίζεται στα 60 km/h ως επί των πλείστων.

Για να κινηθεί ένα όχημα, χρειάζεται ισχύ η οποία δαπανάται στις δυνάμεις αντίστασης της κίνησης. Μεγέθη όπως η αεροδυναμική αντίσταση, η αντίσταση κύλισης, οι δυνάμεις που αντιστέκονται κατά τις οριζοντιογραφικές καμπύλες και άλλα, είναι ύψιστης σημασίας για την ταχύτητα. Συγκεκριμένα για τον σιδηρόδρομο, η αεροδυναμική αντίσταση αποτελεί σημαντικό κίνητρο στον σχεδιασμό του μπροστινού του άκρου, προκειμένου να επηρεάζει όσο το δυνατόν λιγότερο, την κίνηση, την ανάπτυξη ταχύτητας και την κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου. Όμως η αεροδυναμική αντίσταση θεωρείται πρακτικά αμελητέα όταν το όχημα κινείται σε χαμηλές ταχύτητες ενώ, λαμβάνεται υπόψιν για ταχύτητες από 70 km/h και άνω στα φορτηγά (Ζωγραφίδης, 2007) και από 300 km/h και άνω για το σιδηρόδρομο (Transport, 2003).

Αντίθετα, η αντίσταση κύλισης τροχών, είναι ένα μέγεθος που δεν αυξάνεται με ραγδαίο ρυθμό κατά την αύξηση της ταχύτητας, αλλά διαδραματίζει έναν συνεχόμενο ρόλο, επηρεάζοντας την κίνηση και άρα την κατανάλωση. Η τιμή της επηρεάζεται κυρίως από το βάρος του φορτίου, όπως θα εξεταστεί και στην επόμενη ενότητα.

Στο πείραμα που αναφέρθηκε και πρωτύτερα, του Oak Ridge National Laboratory (O.R.N.L.), διεκπεραιώθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν στην επιρροή της ταχύτητας στην απόδοση του καυσίμου για ίδια βάρη φορτίου. Στο Διάγραμμα 3.4 φαίνεται πως η σχέση της ταχύτητας με την απόδοση καυσίμου είναι σχεδόν γραμμική για βάρη φορτίου έως τα 60.000 lbs. (30 t.), ενώ για τις επόμενες τάξεις βαρών η σχέση είναι παραβολική. Παρατηρείται επίσης, όπως ήταν αναμενόμενο ότι σε οποιαδήποτε δεδομένη ταχύτητα, η απόδοση του καυσίμου μειώνεται καθώς αυξάνεται το βάρος του οχήματος. Ωστόσο, αυτή η απόκλιση φαίνεται να ελαττώνεται με την αύξηση της ταχύτητας του οχήματος.



Διάγραμμα 3.4: Κατανάλωση - ταχύτητα για διαφορετικά βάρη. Πηγή: Oak Ridge National Laboratory

Η σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου και ενέργειας δεν είναι στο ίδιο επίπεδο σύγκρισης. Για αυτό θα χρησιμοποιηθούν οι εκπομπές των ρύπων και των δύο μέσων,

για σύγκριση των μεγεθών αυτών. Οι τύποι που συνδέουν την κατανάλωση και την ενεργειακή απόδοση με τις εκπομπές, θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια, αναφέρονται δυο μοντέλα που υπολογίζουν τις εκπομπές ρύπων και την καταναλισκόμενη ενέργεια, της κίνησης του εκάστοτε αμαξώματος, χρησιμοποιώντας παραλλαγές των προαναφερθέντων παραγόντων που την επηρεάζουν.

Εκπομπές Βαρών - Φορτηγών οχημάτων

Το μοντέλο κατασκευάστηκε από τον Sergio Mitrovich και την ομάδα του, το 2003 και προέκυψε από δεδομένα της Eurostat, που αφορούν κατά αποκλειστικότητα τα βαριά οχήματα.

$$E = K + a * V + b * V^2 + c * V^3 + \frac{d}{V} + \frac{e}{V^2} + \frac{f}{V^3} \quad (2)$$

E = εκπομπές ρύπων (g/km)

V = μέση ταχύτητα (km/h)

K, a, b, c, d, e, f = συντελεστές επιρροής σε βαρέα οχήματα. (Franzese, 2011.)

Καταναλισκόμενη ενέργεια στο σιδηρόδρομο

Το 1999 δημιουργήθηκε η ανάγκη να υπολογιστεί η κατανάλωση ενέργειας για το έργο MEET (Methodology for calculating Transport emissions and Energy Consumption) με την χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Το μοντέλο που κατασκευάστηκε περιλάμβανε μεταβλητές όπως η μέση ταχύτητα και οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών στάσεων του σιδηρόδρομου και πραγματικά δεδομένα 200.000 δρομολογίων εμπορικών συρμών για διάφορες επιλογές βάρους φορτίου.

$$EC \left[\frac{kJ}{t \cdot km} \right] = k * \frac{V^2}{\ln(x)} + C \quad (3)$$

EC = κατανάλωση ενέργειας σιδηροδρομικού συρμού

k, C = σταθερές ίσες με 0,019 και 63, αντίστοιχα

V = μέση ταχύτητα κίνησης του συρμού (km/h)

X = η απόσταση μεταξύ των στάσεων.

3.2 Περιγραφή διαδικασίας εκτίμησης κατανάλωσης

Η ανάλυση που ακολουθείται, βασίζεται στην θεωρία της δύναμης έλξης μεταξύ του οχήματος ή της αμαξοστοιχίας και του οδοστρώματος ή της σιδηροτροχιάς, αντίστοιχα. Η δύναμη έλξης δρα με σκοπό να προκαλέσει την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του οχήματος και έρχεται αντιμέτωπη με αντιστάσεις που δημιουργούνται εξαιτίας της κίνησης. Για ένα όχημα που κινείται στο οδόστρωμα, οι

κύριες αντιστάσεις που πρέπει να υπερνικήσει είναι δύο, η αντίσταση κύλισης και η αεροδυναμική αντίσταση, ενώ για το σιδηρόδρομο είναι τέσσερις, η αντίσταση κύλισης, κλίσης, καμπύλης και η αεροδυναμική αντίσταση. Σε περίπτωση ανωφέρειας, υπάρχει και η αντίστοιχη δύναμη βαρύτητας, που αντιστέκεται στην κίνηση. Η δύναμη έλξης, όπως ορίζεται από τον 2^ο Νόμο του Νεύτωνα, εξαρτάται από τις δυνάμεις αντίστασης, από τη μάζα του φορτίου, από την κλίση της οδού και από την ταχύτητα κίνησης, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εξίσωση.

$$F_{trac} = m * \frac{dv}{dt} + m * g * \sin\theta + F_{RR} + F_{aero} \text{ (N)} \quad (4)$$

F_{trac} = δύναμη έλξης

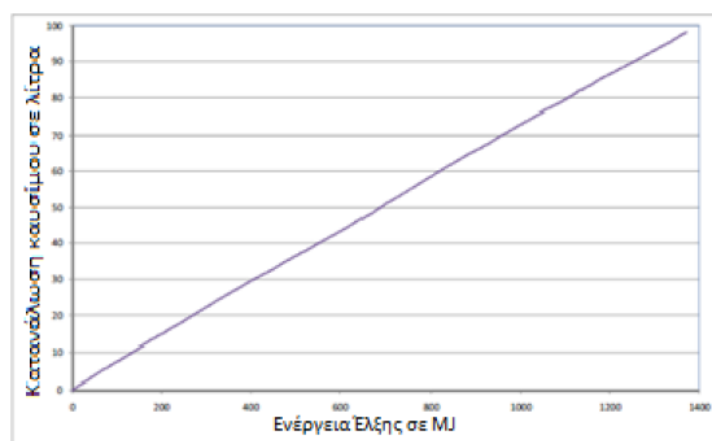
F_{RR} = αντίσταση κύλισης

F_{aero} = αεροδυναμική αντίσταση

Το έργο της δύναμης, που θα μας απασχολήσει περισσότερο, στην παρούσα εργασία, διατυπώνεται μέσα από την τη θεωρία της Αρχής Διατήρησης της Ενέργειας (Α.Δ.Ε.), όπως φαίνεται παρακάτω, εκφράζοντας το έργο της δύναμης έλξης ως άθροισμα των έργων των αντιστάσεων και των μεταβολών κινητικής και δυναμικής ενέργειας.

$$\Delta E_{trac} = \frac{1}{2} * m * (V_2^2 - V_1^2) + m * g * (h_2 - h_1) + \Delta E_{RR} + \Delta E_{aero} \quad (5)$$

Η επιρροή της ενέργειας έλξης στην κατανάλωση καυσίμου γίνεται μόνο όταν η δύναμη έχει θετικό πρόσημο, τότε το όχημα επιταχύνει, παράγοντας μεγαλύτερο έργο που συνεπάγεται μεγαλύτερη κατανάλωση. Ουσιαστικά, η σχέση της ενέργειας έλξης με την κατανάλωση καυσίμου για ένα πρότυπο προφίλ ταχυτήτων, έχει γραμμικό χαρακτήρα όπως φαίνεται στην εικόνα στο διάγραμμα που εξήχθη από το παράδειγμα του ORNL.



Διάγραμμα 3.5: Διάγραμμα από ORNL που εξηγεί την γραμμική σχέση μεταξύ ενέργειας έλξης και κατανάλωσης καυσίμου. Πηγή: ORNL

Οι δυνάμεις που δημιουργούνται από την κίνηση ενός οχήματος, συσχετίζονται με τους παράγοντες που αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο και επηρεάζουν την κατανάλωση ενός αμαξώματος.

3.2.1 Αναλυτικές εξισώσεις υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου σε φορτηγό

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου, προϋποθέτει την προηγουμένως επίλυση των επιμέρους μεγεθών, αρχίζοντας με την αντίσταση κύλισης που ισούται με:

$$FRR = CRR * m * g \text{ (N)} \quad (6)$$

C_{RR} = συντελεστής αντίστασης κύλισης με τιμές 0,004-0,008 (συνήθως 0,007)

$g = 9,81 \text{ m/sec}^2$, επιτάχυνση βαρύτητας

m = μικτό βάρος οχήματος που στους τύπους χρησιμοποιείται σε kg.

Ουσιαστικά, το έργο της δύναμης κύλισης είναι αυτό που καθορίζει την κατανάλωση καυσίμου και αυτό ισούται με:

$$ERR = CRR * m * g * \Sigma \Delta si \text{ (J)} \quad (7)$$

$\Sigma \Delta si$ = το μήκος (σε m) της διαδρομής από το σημείο προέλευσης στο σημείο προορισμού, όπου το όχημα επιτάχυνε.

Επίσης, απαιτούμενο μέγεθος υπολογισμού για την εύρεση της κατανάλωσης, είναι η αεροδυναμική αντίσταση, που ισούται με:

$$Faero = CD * Af * 0,5 * \rho * v^2 \text{ (N)} \quad (8)$$

C_D = συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης, λαμβάνει συνήθως την τιμή 0,62 για βαριού τύπου οχήματα.

$A_f = 2,5\text{m} * 4,0\text{m}$ είναι το εμβαδόν της διατομής οχήματος.

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ είναι η πυκνότητα του αέρα

v = η ταχύτητα συναρτήσει του χρόνου (σε m/sec)

το έργο της δύναμης είναι:

$$Eaero = CD * Af * \int 0,5 * \rho * v^3 \text{ (J)} \quad (9)$$

Σημείωση: το ολοκλήρωμα υπολογίζεται ως προς τον χρόνο διάρκειας της επιτάχυνσης.

Έτσι το έργο της έλξης είναι το άθροισμα τω έργων αεροδυναμικής και αντίστασης κύλισης και η μεταβολή της μηχανικής ενέργειας, δηλαδή της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας:

$$Etrac = Eaero + ERR + \Delta K + \Delta U \text{ (J)} \quad (10)$$

Και έτσι η κατανάλωση του καυσίμου του οχήματος είναι:

$$F_{c, trac} = \frac{1}{n_{engine} * LHV} * \left(\frac{E_{trac}}{n_{trans}} + E_{acces} \right) (lt) \quad (11)$$

$n_{engine}=0,42$
 $LHV=35,8$
 $n_{trans}=0,90$

είναι συντελεστές που αφορούν την απόδοση της μηχανής και του συστήματος κίνησης του οχήματος²

E_{acces} = είναι η ενέργεια που καταναλώνεται από τα εσωτερικά αξεσουάρ του οχήματος όπως ραδιόφωνο κ.λπ. (σε MJ).

Ελάχιστη κλίση εδάφους για μηδενική κατανάλωση

Είναι πολύ σημαντικό να γίνει αναφορά στην επίδραση της κλίσης της οδού στην κατανάλωση καυσίμου όταν το όχημα κινείται σε κατωφέρεια, καθώς μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη κλίση οδού, κατά την οποία, η δύναμη έλξης είναι μηδενική, και το όχημα κινείται μόνο με την επίδραση του βάρους του, χωρίς να καταναλώνει καύσιμο (Verband der automobilindustrie, 2005). Ουσιαστικά, το βάρος πρέπει να υπερκεράσει τις υπόλοιπες αντιστάσεις για να συμβεί αυτό κι όπως αποδεικνύεται παρακάτω. Αυτό μπορεί να συμβεί για ορισμένες τιμές της ταχύτητας και του μεταφερόμενου βάρους.

$$F_{trac} = 0 \rightarrow m * g * \sin\theta = F_{aero} + F_{RR} =>$$

$$9,81 * m * \sin\theta = 0,62 * 2,5 * 4 * 1,2 * \frac{1}{2} * u^2 =>$$

$$\sin\theta = \frac{3,72 * u^2 + 0,0687 * m}{9,81 * m} \quad (12)$$

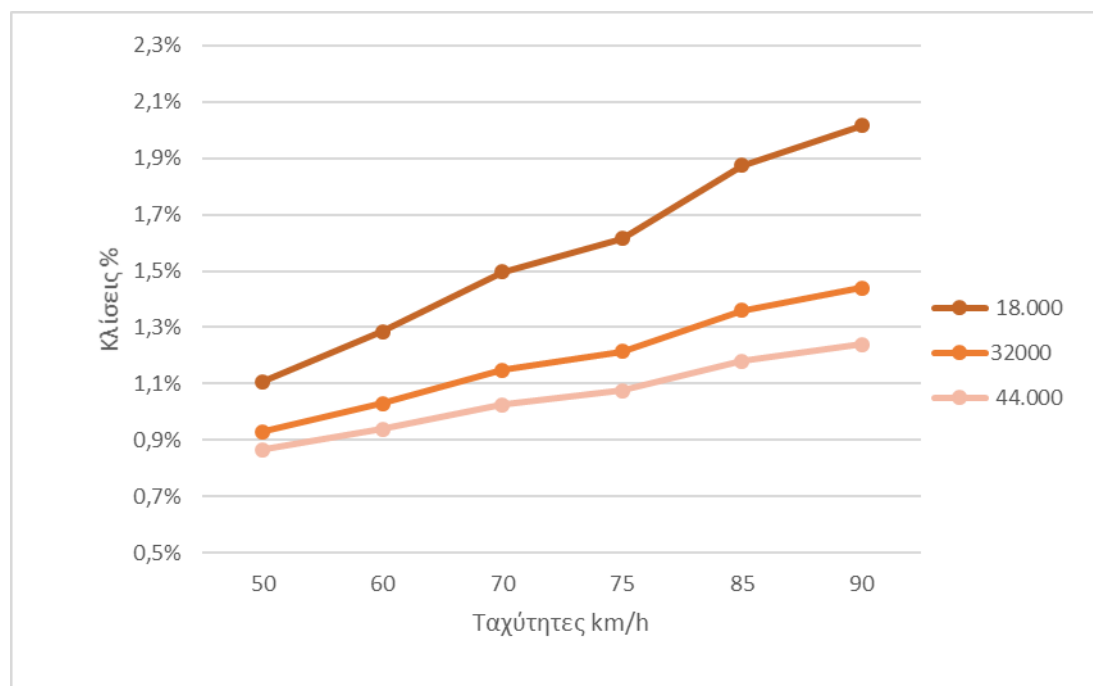
Εφαρμόζοντας την παραπάνω εξίσωση για διαφορετικές τιμές ταχύτητας και βάρους του οχήματος, μπορούμε να βρούμε την ανάλογη ελάχιστη κλίση για την οποία ισχύει η μηδενική κατανάλωση. Δημιουργήθηκε ο παρακάτω Πίνακας 3.2 με κάποιες πολύ συχνές ταχύτητες κίνησης για φορτηγά και ένα εύρος μικτών βαρών, για να φανεί η σχέση κλίσης – βάρους – ταχύτητας.

Πίνακας 3.2 Ελάχιστες κλίσεις οδού από διάφορες τιμές ταχύτητας και μικτού βάρους, για μηδενική κατανάλωση καυσίμου.

Μικτό βάρος [kg]	Ταχύτητα					
	[km/h]					
	50	60	70	75	85	90
18.000	1,1%	1,3%	1,5%	1,6%	1,9%	2,0%
32.000	0,9%	1,0%	1,1%	1,2%	1,4%	1,4%
44.000	0,9%	0,9%	1,0%	1,1%	1,2%	1,2%

² Αυτές είναι οι συνθηέστερες τιμές που λαμβάνει ο κάθε συντελεστής, για αυτό και λαμβάνονται ως δεδομένες.

Στο παρακάτω Διάγραμμα 3.6 γίνεται πιο κατανοητή η επιρροή των δύο παραγόντων καθώς είναι ευκρινέστερη η μεταβολή που προσδίδουν.



Διάγραμμα 3.6: Διάγραμμα ελάχιστης κλίσης οδού για μηδενική κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με την ταχύτητα και το μικό βάρος.

Η διαφορά υπολογισμών στην κατανάλωση για φορτηγό και τρένο είναι θεμελιώδης, καθώς, το τρένο, διαθέτει διαφορετικούς μηχανισμούς λειτουργίας, με αποτέλεσμα οι παραπάνω εξισώσεις να μην μπορούν να εξυπηρετήσουν και τον σιδηρόδρομο.

3.2.2 Αναλυτικές εξισώσεις υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας σιδηρόδρομου

Στην Ελλάδα, από το 2019, εφαρμόστηκε πλήρως η ηλεκτροκίνητη γραμμή του ΟΣΕ, παραδίδοντας και το τελευταίο κομμάτι της γραμμής που είχε μείνει πετρελαιοκίνητο, Λιανοκλάδι – Δομοκό. Πλέον, η συνολική γραμμή λειτουργεί μέσω ηλεκτρικής ενέργειας, που γνώμονα είχε την μείωση των ρύπων και την εξοικονόμηση ενέργειας των εμπορευματικών και επιβατικών συρμών.

Στην παρούσα εργασία, που σκοπό έχει να συγκρίνει την κατανάλωση των χερσαίων εμπορευματικών μεταφορών, η σύγκριση ενός μέσου που κινείται με καύσιμο ντίζελ και ενός μέσου που κινείται με χρήση ηλεκτρισμού, γίνεται περίπλοκη καθώς πρέπει να βρεθεί ένας κοινός παράγοντας μελέτης όπως προαναφέρθηκε. Ουσιαστικά, υπάρχουν πολλές μέθοδοι για να υπολογιστεί η ενέργεια που καταναλώνει ο σιδηρόδρομος και όλες έχουν να κάνουν με την δύναμη έλξης και τις αντιστάσεις κύλισης και αεροδυναμικής (και στα δύο μέσα) αλλά και την αντίσταση πρόσφυσης και καμπύλης (μόνο στο σιδηρόδρομο). Ο τύπος της ειδικής καταναλισκόμενης ενέργειας είναι ο εξής:

$$\alpha = 2,78 * \Sigma W, \left[\frac{Wh}{tn*km} \right] \quad (13)$$

ΣW = το άθροισμα των ειδικών αντιστάσεων που υποβάλλονται στο συρμό κατά την κίνηση

2,78= συντελεστής που προκύπτει από την μετατροπή των μονάδων μέτρησης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας του συρμού και τους εκπεμπόμενους ρύπους, είναι πολλών ειδών. Οι σημαντικότεροι εξ' αυτών είναι η συνολική μάζα του συρμού (μηχανές έλξης και μικτό βάρος ρυμουλκούμενων), το είδος του συστήματος έλξης, η ταχύτητα κίνησης, τα χαρακτηριστικά της γραμμής, και η απόσταση μεταξύ στάσεων. Το βάρος και η ταχύτητα επηρεάζουν την αντίσταση κύλισης, και τα χαρακτηριστικά της γραμμής επηρεάζουν την αντίσταση καμπύλης και κλίσης.

Αρχικά, η αντίσταση κύλισης της μηχανής υπολογίζονται ως εξής:

$$W_{μελ} = 5 * G_{κα} + 4 * \left\{ \frac{V+15}{10} \right\}^2, (N) \quad (14)$$

$G_{κα}$ = το βάρος που αναλαμβάνουν οι κινητήριοι τροχοί

V = η ταχύτητα κίνησης του τρένου (σε km/h)

Η ειδική αντίσταση κύλισης για εμπορικά οχήματα που συναρτάται μαζί με την προηγούμενη αντίσταση, και ισούται με:

$$W_{κυλ, εμπ} = c_0 + (0,007 + m) * \left(\frac{V}{10} \right)^2, (\%) \quad (15)$$

c_0 = συντελεστής τριβών στην έδραση των αξόνων

m = συντελεστής για την μορφή των οχημάτων που μεταφέρονται

V = ταχύτητα συρμού (σε km/h)

Έτσι, η ειδική αντίσταση κύλισης επί του συνολικού συρμού είναι:

$$W_{κυλ, \Sigma} = \frac{n * W_{μελ} + W_{κυλ, εμπ} * G_{ελκ}}{G_{\Sigma}}, (N) \quad (16)$$

$G_{ελκ}$ = το βάρος των οχημάτων που έλκει ο συρμός (σε kN)

G_{Σ} = το συνολικό βάρος του συρμού (σε kN)

n =ο αριθμός των μηχανών έλξης

Τα παραπάνω βάρη, λαμβάνουν μέγιστες τιμές όταν ο συρμός κάνει την εκκίνηση του σε ανωφέρεια δηλαδή σε μεγάλη θετική κλίση, καθώς τότε συμπεριλαμβάνονται στην εξίσωση και παράγοντες όπως, η δύναμη πρόσφυσης και η δύναμη τριβής, καθώς και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η σιδηροτροχιά. Γενικότερα, η κλίση, όπως έχει προαναφερθεί, αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες επιρροής στην κατανάλωση, ίσως τον σημαντικότερο, είτε πρόκειται για ενέργεια είτε για καύσιμο.

Ελάχιστη κλίση για μειωμένη κατανάλωση στο σιδηρόδρομο

Στο σιδηρόδρομο, ισχύει επίσης η συσχέτιση της κατωφέρειας με την μηδενική ενεργειακή κατανάλωση και αυτό συμβαίνει όταν η ειδική αντίσταση κλίσης είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των άλλων δύο αντιστάσεων (ειδική αντίσταση κλίσης > αντίσταση κύλισης + αντίσταση μηχανής έλξης). Ακόμα, στην περίπτωση που η αντίσταση κλίσης είναι μικρότερη του αθροίσματος, η ειδική κατανάλωση υπολογίζεται μόνο από την αντίσταση κύλισης ($W_{κλίσης} \& W_{καμπ}=0$), καθώς οι άλλες δύο αντιστάσεις αντισταθμίζονται λόγω κατωφέρειας.

3.3 Διερεύνηση επιρροής των κύριων παραμέτρων κατανάλωσης καυσίμου φορτηγού

Χάρis το μοντέλο υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου ενός οχήματος, που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα, παρουσιάζονται μια σειρά από πίνακες και διαγράμματα που εξηγούν την επίδραση των παραγόντων στην κατανάλωση, όταν αυτοί μεταβάλλονται.

Κατασκευάζονται τρία σενάρια, όπου στο κάθε ένα μεταβάλλεται διαφορετικός παράγοντας με σκοπό να διεξαχθούν συμπεράσματα. Ένα φορτηγό θα διανύσει μια απόσταση 100 χιλιομέτρων, με συγκεκριμένο εύρος ταχυτήτων, βαρών και κλίσεων οδού. Σε κάθε υποσενάριο, μεταβάλλεται διαφορετικός παράγοντας, ώστε να γίνει κατανοητό το αποτύπωμά του στην κατανάλωση. Επίσης, θα υπάρξουν και σενάρια που μεταβάλλονται δύο παράγοντες ταυτόχρονα, ώστε να μελετηθεί και η συνδυαστική τους επίδραση.

3.3.1 Ταχύτητα – Παράμετρος επιρροής

Η ταχύτητα επηρεάζει την κατανάλωση δραστικά, όταν το όχημα επιταχύνει, καθώς όταν αυξάνεται η τιμή της, η αντίσταση του αέρα έχει μεγαλύτερη επίδραση πάνω στο όχημα, με αποτέλεσμα εκείνο, να πρέπει να παράγει περισσότερο έργο για να κινηθεί, άρα να καταναλώνει περισσότερο καύσιμο. Παρακάτω (Πίνακας 3.3 & Πίνακας 3.4) γίνεται αισθητή αυτή η μεταβολή στο έργο της αεροδυναμικής αντίστασης. Με σταθερή κλίση στο 0% και σταθερό μικτό βάρος οχήματος, 40 τόνων υπολογίζονται τα έργα των αντιστάσεων και οι μεταβολές της μηχανικής ενέργειας. Έγινε χρήση των εξισώσεων (5) έως (10) για να βρεθεί η κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 3.3 Παράμετροι που δεν επηρεάζονται από την διαφοροποίηση της ταχύτητας κίνησης.

Κλίση οδού	Μικτό Βάρος m	Συντελεστής Αεροδύναμης C_D	Εμβαδόν διατομής A_f	Πυκνότητα αέρα ρ	Απόσταση ΔS	
[%]	kg	σταθερά	[m ²]	[kg/m ³]	[km]	...
0	40.000	0,62	10	1,2	100	

Επιτάχυνση Βαρύτητας	Συντελεστής Αντ. Κύλισης	Αντίσταση Κύλισης	Έργο Αντ. Κύλισης	Μεταβολή Δυναμικής Ενέργειας	Μεταβολή Κινητικής Ενέργειας
g	C_{RR}	F_{RR}	E_{RR}	ΔU	ΔK
[m/sec ²]	σταθερά	[N]	[MJ]	[MJ]	[MJ]
9,81	0,007	2746,8	274,68	0	0,0

Πίνακας 3.4 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές της ταχύτητας κίνησης.

Ταχύτητα Κίνησης		Αεροδυναμική Αντίσταση	Έργο Αεροδυναμικής Αντίστασης	Κατανάλωση Καυσίμου
V		F_{aero}	E_{aero}	$F_{c,trac}$
[km/h]	[m/s]	[N]	[MJ]	[lt/100km]
50	13,9	717,59	71,8	25,6
55	15,3	868,29	86,8	26,7
60	16,7	1033,33	103,3	27,9
65	18,1	1212,73	121,3	29,3
70	19,4	1406,48	140,6	30,7
75	20,8	1614,58	161,5	32,2
80	22,2	1837,04	183,7	33,9
85	23,6	2073,84	207,4	35,6
90	25,0	2325,00	232,5	37,5

Κατασκευάστηκε η γραφική αναπαράσταση (Διάγραμμα 3.7) των παραπάνω αποτελεσμάτων για να γίνει πιο κατανοητή η επιρροή του παράγοντα ταχύτητα.



Διάγραμμα 3.7: Η γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές ταχύτητας κίνησης.

Η σχέση κατανάλωσης – ταχύτητας είναι εμφανώς γραμμική, όταν η κλίση της οδού είναι μηδενική, με αποτέλεσμα και το έργο της αεροδυναμικής αντίστασης να έχει μικρές τιμές σε χαμηλές ταχύτητες και να αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση της

ταχύτητας. Το έργο της αντίστασης κύλισης παραμένει σταθερό, καθώς εξαρτάται από την μεταβολή του βάρους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι μηδέν. Επίσης, οι μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας παραμένουν μηδενικές, λόγω της σταθερής κλίσης και ταχύτητας κατά μήκος της διαδρομής.

3.3.2 Μικτό βάρος – Παράμετρος επιρροής.

Η ίδια διαδικασία με πριν επαναλαμβάνεται, τώρα για το μικτό βάρος φορτίου του οχήματος και κρατώντας σταθερή την κλίση στο 0% -άρα και την ταχύτητα κίνησης στα 80 km/h. Αυτή την φορά, θα επηρεαστεί η αντίσταση κύλισης και όχι η αεροδυναμική αντίσταση. Έγινε χρήση των εξισώσεων (5) έως (10) για να βρεθεί η κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 3.5 Παράμετροι που δεν επηρεάζονται από την διαφοροποίηση του μικτού βάρους φορτίου.

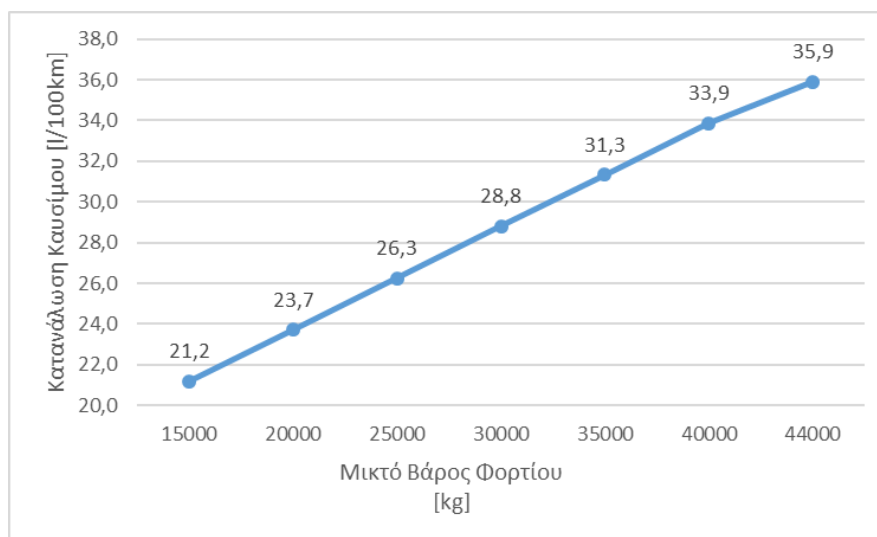
Ταχύτητα Κίνησης		Κλίση οδού	Συντελεστής Αεροδυναμικής	Εμβαδόν διατομής	Πυκνότητα αέρα	
V			C_D	A_f	ρ	
[km/h]	[m/s]	[%]	[σταθερά]	[m ²]	[kg/m ³]	...
80	22,2	0,00	0,62	10	1,2	

Απόσταση	Επιτάχυνση Βαρύτητας	Συντελεστής Αντ. Κύλισης	Αεροδυναμική Αντίσταση	Έργο Αεροδυναμικής Αντίστασης	Μεταβολή Δυναμικής Ενέργειας	Μεταβολή Κινητικής Ενέργειας
ΔS	g	C_{RR}	F_{aero}	E_{aero}	ΔU	ΔK
[km]	[m/sec ²]	[σταθερά]	[N]	[MJ]	[MJ]	[MJ]
100,00	9,81	0,007	1837,04	183,7	0,0	0,0

Πίνακας 3.6 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές του μικτού βάρους φορτίου.

Μικτό Βάρος	Αντίσταση Κύλισης	Έργο αντίστασης κύλισης	Κατανάλωση Καυσίμου
m	F_{RR}	E_{RR}	$F_{c, trac}$
[kg]	[N]	[MJ]	[lt/100km]
15.000	1030,05	103,01	21,2
20.000	1373,40	137,34	23,7
25.000	1716,75	171,68	26,3
30.000	2060,10	206,01	28,8
35.000	2403,45	240,35	31,3
40.000	2746,80	274,68	33,9
44.000	3021,48	302,15	35,9

Το έργο της αντίστασης κύλισης, λαμβάνει υψηλές τιμές, με την αύξηση του βάρους, και καταλήγει να γίνει ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την κατανάλωση καυσίμου. Στο Διάγραμμα 3.8, γίνεται πάλι αισθητή η γραμμικότητα, αυτή την φορά μεταξύ βάρους και κατανάλωσης, πάντα υπό το πρίσμα μηδενικής κλίσης. Ωστόσο, αυτό που είναι άξιο αναφοράς είναι, ότι τα μεγέθη της κατανάλωσης για μεταβολή ταχύτητας ή βάρους, δεν διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ τους, γεγονός που καθιστά τις δύο αυτές μεταβλητές, ίδιας κλίμακας επιρροής.



Διάγραμμα 3.8: Η γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές του μικτού βάρους φορτίου.

3.3.3 Κλίση οδού – Παράμετρος επιρροής.

Σε αυτή την περίπτωση, διατηρούνται σταθερά τα μεγέθη ταχύτητας και μικτού βάρους και μεταβάλλεται η κλίση, για λογικές τιμές (έως 7% είναι οι συνηθέστερες τιμές). Το μικτό βάρος του οχήματος παραμένει σταθερό, στους 40 τόνους και η ταχύτητα παραμένει σταθερή 80 km/h, συνεπάγεται και ότι η τιμή της μεταβολής της κινητικής ενέργειας θα παραμείνει σταθερή στο μηδέν, ωστόσο, εξαιτίας της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σημείων προέλευσης και προορισμού, διακρίνεται η διαφοροποίηση στις τιμές της δυναμικής ενέργειας, με την αύξηση της κλίσης οδού. Έγινε χρήση των εξισώσεων (5) έως (10) για να βρεθεί η κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 3.7 Παράμετροι που δεν επηρεάζονται από τη διαφοροποίηση τιμών της κλίσης οδού.

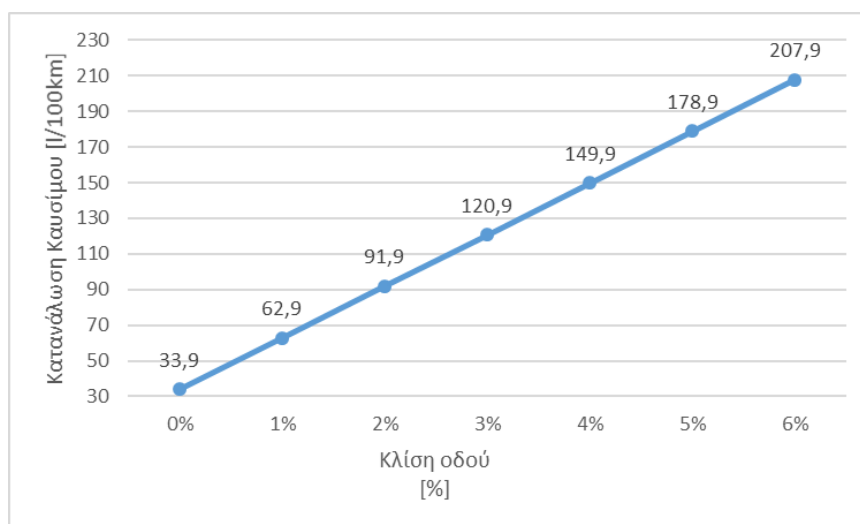
Ταχύτητα Κίνησης V		Κλίση οδού	Μικτό Βάρος m	Συντελεστής Αεροδύναμης C_D	Εμβαδόν διατομής A_f	Πυκνότητα αέρα ρ
[km/h]	[m/s]	[%]	[kg]	[σταθερά]	[m ²]	[kg/m ³]
80	22,2	0,00	40.000	0,62	10	1,2

...

Απόσταση	Επιτάχυνση Βαρύτητας	Συντελεστής Αντ. Κύλισης	Αεροδυναμική Αντίσταση	Έργο Αεροδυναμικής Αντίστασης	Αντίσταση Κύλισης	Έργο Αντ. Κύλισης	Μεταβολή Κινητικής Ενέργειας
ΔS	g	C_{RR}	F_{aero}	E_{aero}	F_{RR}	E_{RR}	ΔK
[km]	[m/sec ²]	[σταθερά]	[N]	[MJ]	[N]	[MJ]	[MJ]
100,00	9,81	0,007	1.837	183,7	2.746,8	274,68	0,0

Πίνακας 3.8 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου για τις διάφορες τιμές της κλίσης οδού.

Κλίση Οδού	Μεταβολή Δυναμικής Ενέργειας ΔU	Κατανάλωση Καυσίμου $F_{c, trac}$
[%]	[MJ]	[lt/100km]
0%	0,00	33,9
1%	392,40	62,9
2%	784,80	91,9
3%	1.177,20	120,9
4%	1.569,60	149,9
5%	1.962,00	178,9
6%	2.354,40	207,9



Διάγραμμα 3.9: Η γραφική αναπαράσταση της κατανάλωσης καυσίμου για διάφορες τιμές της κλίσης οδού.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα του Πίνακας 3.8, γίνεται κατανοητή η σημασία της κλίσης για την κατανάλωση, καθώς με την μεταβολή της πρώτης, η δεύτερη φτάνει τις υψηλότερες τιμές που έχουν καταγραφεί στο εν λόγω παράδειγμα, ήδη από τις μικρότερες κλίσεις. Η μελέτη αυτής της υποτιθέμενης διαδρομής, φέρει το συμπέρασμα ότι η μεταβολή της κλίσης του οδοστρώματος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας επιρροής και για υψηλές τιμές, είναι η κυριότερη αφορμή αυξημένης κατανάλωσης.

3.3.4 Συνδυαστικές μεταβολές παραγόντων

Η δεύτερη φάση της έρευνας έχει σκοπό να εξηγήσει την επίδραση στην κατανάλωση, μέσω συνδυαστικών μεταβολών στους παράγοντες μελέτης. Παρακάτω, υλοποιήθηκε πίνακας που υπολογίζει την κατανάλωση, αλλά αυτή την φορά μεταβάλλοντας την κλίση και την ταχύτητα κίνησης. Έγινε χρήση των εξισώσεων (5) έως (10) για να βρεθεί η κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 3.9 Κατανάλωση Καυσίμου (l/100km) με μεταβολή κλίσης και ταχύτητας.

Κλίση	Ταχύτητα Κίνησης					
[%]	[km/h]					
	50	55	60	65	70	90
0%	25,60	26,71	27,93	29,26	30,69	37,48
1%	54,60	55,71	56,93	58,26	59,69	66,48
2%	83,59	84,71	85,93	87,25	88,69	95,47
3%	112,59	113,71	114,93	116,25	117,68	124,47

Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3.9), φαίνεται πως από την κλίση 0% έως την κλίση 3%, η κατανάλωση σχεδόν τετραπλασιάζεται και φαίνεται πως ο συγκεκριμένος συνδυασμός την επηρεάζει σημαντικά.

Πίνακας 3.10 Κατανάλωση Καυσίμου (l/100km) με μεταβολή κλίσης και μικτού βάρους.

Κλίση	Μικτό Βάρος						
[%]	[kg]						
	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000	40.000	45.000
0%	22,92	25,46	28,00	30,53	33,07	35,61	38,15
1%	37,42	39,96	42,50	45,03	47,57	50,11	52,64
2%	59,17	61,71	64,24	66,78	69,32	71,85	74,39
3%	88,17	90,70	93,24	95,78	98,31	100,85	103,39

Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3.10), υλοποιήθηκε ένας άλλος συνδυασμός μεταβαλλόμενων παραγόντων, αυτός του μικτού βάρους και κλίσης οδού. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός, έχει επίσης υψηλές τιμές, σχεδόν τριπλασιάζεται η κατανάλωση από την κλίση 0% έως την 3%, όχι όμως, τόσο όσο ο συνδυασμός ταχύτητας – κλίσης.

Μπορεί να εξαχθεί ένα πρώτο συμπέρασμα, ότι δηλαδή ο συνδυασμός κλίση οδού και οι υψηλές ταχύτητες κίνησης είναι από τους σημαντικότερους συνδυασμούς επίδρασης στην κατανάλωση, επειδή καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές της κατανάλωσης καυσίμου κατά την επίδρασή τους.

4 Ανάλυση και αποτελέσματα

4.1 Επιλογή διαδρομής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, που σκοπό έχει να υπολογίσει την κατανάλωση καυσίμου και ενέργειας των χερσαίων εμπορευματικών μεταφορών, κρίθηκε απαραίτητος ο ορισμός μιας διαδρομής από την οποία θα μπορούσαμε να λάβουμε συγκρίσιμα δεδομένα για τα δύο δίκτυα. Έτσι, η διαδρομή Αθήνας – Θεσσαλονίκης, κρίθηκε η πλέον κατάλληλη, καθώς για τα περισσότερα χαρακτηριστικά (π.χ. χιλιόμετρα, υψόμετρα, ελιγμοί κ.α.), δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, μιας που οι δύο διαδρομές είναι σχεδόν παράλληλες, όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 4.1).



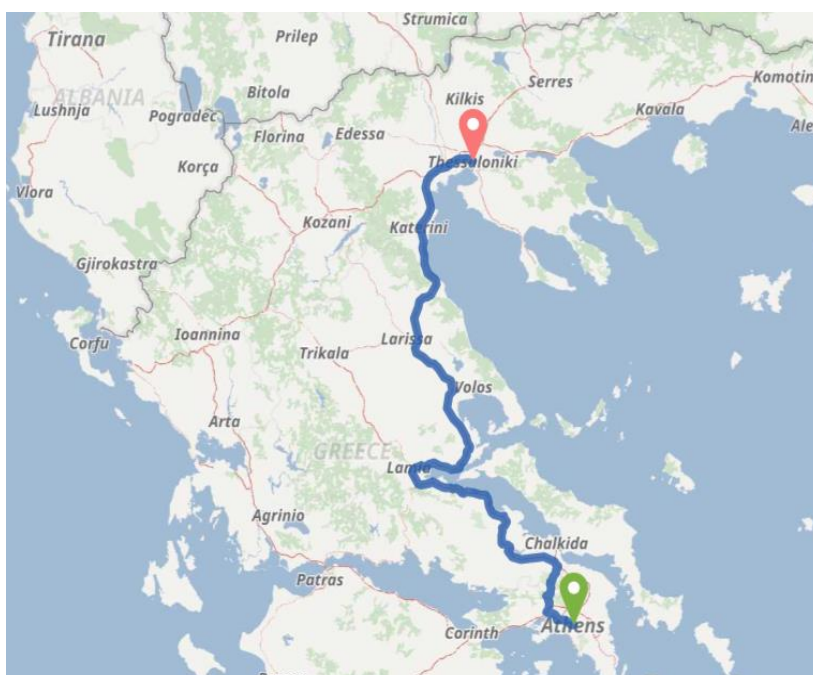
Εικόνα 4.1 Το σιδηροδρομικό και οδικό δίκτυο για τη διαδρομή Αθήνα- Θεσσαλονίκη. Πηγή: OSE.gr και μορφοποίηση μέσω AutoCAD και Photoshop.

4.2 Βάση δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, για να γίνει ο υπολογισμός των μεγεθών κατανάλωσης για την συγκεκριμένη διαδρομή, αναζητήθηκαν δεδομένα ορισμένων χαρακτηριστικών προκειμένου να δημιουργηθεί βάση δεδομένων για το οδικό δίκτυο. Οι υπολογισμοί από το μοντέλο που διαμορφώνεται στην παρούσα διπλωματική, θα συγκριθούν με τα αποτελέσματα παλαιότερης διπλωματικής εργασίας (Τουρνάκη Ε. , 2014), που αφορούν στις εκπομπές ρύπων για μεταφορά εμπορεύματος με το σιδηρόδρομο από Αθήνα προς Θεσσαλονίκη.

Αρχικά, για να γίνει η χρήση του μοντέλου πρέπει να οριστούν οι χιλιομετρικές θέσεις (Χ.Θ.) και να καταγραφούν οι τιμές των υψομέτρων ανά Χ.Θ., για την κατά μήκος κλίση, για την ταχύτητα διέλευσης από τα σημεία, για το μικτό βάρος και για το πλήθος των στάσεων που κάνει το εμπορευματικό όχημα.

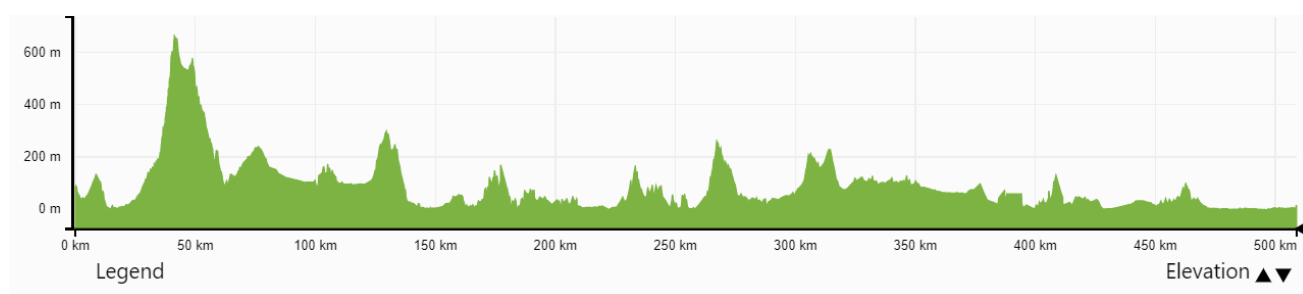
Συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση της διαδρομής ανά 300 μέτρα, καθώς θεωρήθηκε ως το μικρότερο μήκος που θα μπορούσε να μεταβάλλεται η κατά μήκος κλίση σε κάθε σημείο της οδού. Η εξαγωγή των δεδομένων των Χ.Θ. έγινε μέσω της ιστοσελίδας Google Earth και αναλύθηκαν από την εφαρμογή του Graphhopper, ώστε να βρεθούν τα υψόμετρα σε κάθε σημείο. Έτσι, τα παραπάνω δεδομένα, εισάχθηκαν στην φόρμα του Microsoft Excel, και υπολογίστηκε η κλίση της οδού μεταξύ διαδοχικών σημείων. Σε ορισμένα σημεία που παρατηρήθηκαν πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές τιμές, αισθητά λανθασμένες, έγινε διερεύνηση και βρέθηκε ότι πρόκειται για σημεία πάνω σε γέφυρες ή σε σήραγγες, οπότε διορθώθηκαν με γραμμική παρεμβολή χρησιμοποιώντας το αμέσως προηγούμενο και επόμενο σημείο στη διαδρομή.



Εικόνα 4.2 Απόσπασμα από τον χάρτη με τη διαδρομή Αθήνα προς Θεσσαλονίκη μέσω εφαρμογής Graphhopper. Πηγή: www.Graphhopper.com

Θεωρήθηκαν ακόμα, μια σειρά από πιθανές ταχύτητες διέλευσης, ανάλογα με την τοποθεσία του σημείου. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε η ταχύτητα 50 km/h εντός αστικού δικτύου, η ταχύτητα 70km/h στα Τέμπε και η ταχύτητα 85km/h εντός της Εθνικής Οδού, ώστε να καλυφθούν ως επί το πλείστον οι συνηθέστερες ταχύτητες που μπορούν να φτάσουν τα εμπορευματικά φορτηγά οχήματα. Όσον αφορά στην μελέτη του παράγοντα ταχύτητα, λήφθηκαν υπόψιν και τα σημεία της αναγκαστικής στάσης του οχήματος, όπως διόδια και επιπλέον έγινε θεώρηση ως προς την επιβράδυνση και την επιτάχυνσή του, πριν και μετά τις στάσεις, της τάξης του 1 m/s^2 επιβράδυνση και $0,3 \text{ m/s}^2$ επιτάχυνση. Με βάση αυτή την προϋπόθεση, υπολογίστηκε ο χρόνος διέλευσης από κάθε σημείο.

Οι λανθασμένες τιμές των υψομέτρων σε συγκεκριμένα σημεία, προφανώς δίνουν την αίσθηση ότι δεν μπορούν να θεωρηθούν απόλυτα ακριβή τα αποτελέσματα από το Google Earth, αλλά καθώς είναι αναγκαία η χρήση τους για την μελέτη κατανάλωσης του καυσίμου, γίνεται δεκτή η παραδοχή της γραμμικής παρεμβολής ως η πλέον πλησιέστερη εκδοχή.



Διάγραμμα 4.1: Υψόμετρα οδικού δικτύου για διαδρομή Αθήνας - Θεσσαλονίκης. Πηγή: www.Graphhopper.com

Παρακάτω (Εικόνα 4.3) επισυνάπτεται ένα απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που συμπληρώθηκε και περιλαμβάνει 1.674 τιμές Χ.Θ. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει: στην πρώτη στήλη, τις Χ.Θ. της διαδρομής με οδικό δίκτυο ανά 300 μέτρα. Στη δεύτερη στήλη, την κατά μήκος κλίση της οδού, στην συγκεκριμένη Χ.Θ., όπως υπολογίστηκε από τα υψόμετρα που βρέθηκαν για την εκάστοτε προηγούμενη και επόμενη Χ.Θ. Στην τρίτη στήλη, το υψόμετρο της εκάστοτε Χ.Θ. όπως βρέθηκε από το site Graphhopper.com και ανά περιπτώσεις μορφοποιήθηκε. Στην τέταρτη στήλη, μικτή παρουσίαση του προφίλ ταχυτήτων που ακολουθείται κατά τη διαδρομή. Έπειτα, στην πέμπτη στήλη, σύμφωνα με την απόσταση μεταξύ Χ.Θ. και την ταχύτητα διέλευσης, βρέθηκε ο χρόνος διέλευσης από την κάθε Χ.Θ.. Στην έκτη στήλη, υπολογίστηκε το έργο της αεροδυναμικής αντίστασης, στην έβδομη στήλη, το έργο της αντίστασης κύλισης, στην όγδοη, η μεταβολή της κινητικής ενέργειας (ΔK) και στην ένατη, η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας (ΔU), για την εκάστοτε Χ.Θ. Η συλλογή αυτών των δεδομένων και μεγεθών, καλύπτεται μέσα από παραδοχές που λήφθηκαν όσον αφορά στη διάταξη των φορτίων κατά την μεταφορά, βασισμένες σε ό,τι στοιχεία έχουν συλλεχθεί και αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες (βλ. Θεωρητικό υπόβαθρο).

File		Home		Insert		Page Layout		Formulas		Data		Review		View		Tell me what you want to do...	
Paste		Cut Copy		Format Painter		Clipboard		Font		Alignment		Number		Conditional Formatting		Format as Table	
V28																	

Εικόνα 4.3 Ενδεικτικό απόσπασμα της βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου ενός φορτηγού οχήματος

4.3 Επιλογή σεναρίων

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες, η μεταφορά εμπορεύματος πραγματοποιείται με την χρήση εμπορευματοκιβωτίων (ε/κ), που διαθέτουν συγκεκριμένες διαστάσεις. Τα ε/κ διαθέτουν δύο βασικούς τύπους που μετριοούνται στην μονάδα μέτρησης foot (πόδια). Υπάρχουν τα ε/κ των 20 και 40 ποδιών, τα οποία κατατάσσονται και στην μονάδα μέτρησης ικανότητας των TEUs (twenty-foot equivalent unit όπου 1 TEU αντιστοιχεί σε ε/κ 20'). Τα δύο παραπάνω είδη διαθέτουν τυποποιημένες διαστάσεις που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1 Τυποποιημένες εξωτερικές διαστάσεις για τα εμπορευματοκιβώτια 20 και 40 ποδιών. Πηγή: uma.com.cy

Τύπος ε/κ	Εξωτερικό Μήκος	Εξωτερικό Πλάτος	Εξωτερικό Ύψος	Όγκος	Μέγιστη Ικανότητα μικτού βάρους	Απόβαρο
[feet]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[tn]	[tn]
20'	6,058	2,438	2,591	33,2	30,5	2,2
40'	12,192	2,438	2,896	67,7	30,5	4

Τα εμπορεύματα που μεταφέρονται, τοποθετούνται σε παλέτες, επίσης συγκεκριμένων διαστάσεων, οι οποίες εξυπηρετούν στην μεταφορά και τη στοίχιση των φορτίων. Οι παλέτες στην Ε.Ε. κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, στις EURO-παλέτες, διαστάσεων 800mm x 1200mm και στις κοινές παλέτες διαστάσεων 1000mm x 1200mm. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν διαφορετικά μεγέθη παλετών για μεγαλύτερη εξυπηρέτηση, είναι σύνηθες, ανάλογα με τα αγαθά που μεταφέρονται από τα ε/κ, τα φορτία να μην εξαντλούν το 100% της χωρητικότητας του ε/κ ή του μέγιστου επιτρεπόμενου βάρους.

Έτσι, υπάρχουν πολλές διαφορετικές παραλλαγές για την μεταφορά των προϊόντων και οι οποίες χρήζουν ομαδοποίησης και ανάλυσης. Την ανάλυση αυτή, πραγματοποιούμε μέσω σεναρίων μεταφοράς εμπορευμάτων, ανάλογα με τον αριθμό των ε/κ και το βάρος του φορτίου. Η επιλογή των σεναρίων έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα συνηθέστερα είδη και τύπους φορτίων που διακινούνται στους μεγαλύτερους λιμένες μεταφοράς ε/κ (όπως το Ρότερνταμ και το Αμβούργο) (Carrillo Zanuy, 2011) και τα χερσαία δίκτυα της Ευρώπης. Οι τύποι φορτίων χωρίζονται σε τέσσερις (4) βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το μεταφερόμενο βάρος, δηλαδή σε Ελαφριά (π.χ. βαμβάκι), Μεσαία, Βαριά και Πολύ Βαριά φορτία (π.χ. μέταλλο). Παρακάτω φαίνονται τα ποσοστά μεταφοράς από κάθε κατηγορία ανάλογα με την συχνότητά τους.

Πίνακας 4.2 Ποσοστό ελαφριών, μεσαίου βάρους και βαριών εμπορευμάτων που διακινούνται από σταθμούς διακίνησης ε/κ. Πηγή: (Carrillo Zanuy, 2011)

Κατηγορία Αγαθών	Μέσο βάρος [t/TEUs]	% διακίνησης [%]
Ελαφριά	6	43
Μεσαία	14	30
Βαριά	23	19
Πολύ Βαριά	30	8

Με γνώμονα τα παραπάνω στοιχεία, δημιουργήθηκαν τρία πιθανά σενάρια διακίνησης ε/κ. Τα φορτηγά έχουν μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος φορτίου της τάξης των 25-29 τόνων και από άποψη χώρου, λόγω των διαστάσεων των 20' και 40', θεωρείται ότι για φορτηγά κανονικών διαστάσεων με ρυμουλκούμενο όχημα μπορούν να μεταφέρουν δύο ε/κ των 20' ή ένα ε/κ των 40', ενώ πρόκειται για φορτηγά με χωρητικότητα δεξαμενής καυσίμου από 165lt-900lt (<https://tank-aluminum.com>). Με αυτές τις προδιαγραφές κατασκευάστηκαν οι παρακάτω πίνακες. Σε αυτή την ενότητα θα σημειωθεί η σημασία των διαφορετικών κατηγοριών φορτίων, με σκοπό την ολοκληρωμένη επεξήγηση της παρούσας έρευνας. Ακολουθούν τα τρία σενάρια μελέτης.

Πίνακας 4.3 Βάρος φορτίων για κάθε κατηγορία φορτίου. Πηγή: (Λευίτικος, 2017)

Αγαθά	Τύπος ε/κ	Μικτό Βάρος	Απόβαρο	Ωφέλιμο Βάρος
	[ft]	[tn]	[tn]	[tn]
Ελαφριά	40	12	4	8
Μεσαία	40	28	4	24
Βαριά	20	23	2,2	20,8
Πολύ Βαριά	20	30	2,2	27,8

Σενάριο 1

Στο πρώτο σενάριο (#Σ1) θεωρήθηκε ότι γίνεται μεταφορά εμπορευμάτων μόνο ελαφρού βάρους, με ποσοστό διακίνησης 43%, και με συνολικό βάρος στόλου φορτηγών από 100-400 τόνους. Παρά το γεγονός ότι τα συγκεκριμένα φορτία δεν αγγίζουν την μέγιστη ικανότητα σε βάρος, καταλαμβάνουν πλήρως τον όγκο του ε/κ. Έχει πολύ μεγάλη σημασία να διευκρινιστούν τα είδη των προϊόντων που βρίσκονται ανά κατηγορία φορτίου, ώστε να γίνει κατανοητή η επιλογή του εκάστοτε τύπου ε/κ.

Αρχικά, όπως φάνηκε και από τον Πίνακα 4.3, τα αγαθά ελαφρού βάρους είναι βιομηχανικά είδη όπως ηλεκτρονικός εξοπλισμός και προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας ή βαμβάκι είναι τα πλέον πιο συνήθη στην μεταφορά και την ζήτηση. Το μέσο μικτό τους βάρος κυμαίνεται από 3 έως 10 τόνους/ TEU και στην πλειοψηφία τους μεταφέρονται από ε/κ των 40 ποδιών (Carrillo Zanuy, 2011). Στην παρούσα εργασία, έγινε η παραδοχή ότι τα ελαφρού βάρους αγαθά μεταφέρονται εξολοκλήρου από ε/κ των 40'.

Πίνακας 4.4 Πλήθος ε/κ και μικτού βάρους για το Σενάριο #1.

Μέγιστο Βάρος Στόλου	Ε/Κ 40'	Τελικό Μικτό Βάρος
[tn]	[πλήθος]	[tn]
100	2	80
200	5	200
300	7	280
400	10	400

Σενάριο 2

Στο δεύτερο σενάριο (#Σ2), θεωρήθηκε ότι γίνεται μεταφορά φορτίων μεσαίου μικτού βάρους, από 100-600 τόνους συνολικού βάρους στόλου. Τα φορτία αυτά έχουν πολύ μεγάλη συχνότητα και ζήτηση με ποσοστό 30%. Τα αγαθά μεσαίου βάρους είναι κατά κύριο λόγο ημιτελή ή τελικά προϊόντα όπως βαριά μηχανήματα, συσκευασίες χημικών υλικών, προϊόντα ξυλείας, ημιπεξεργασμένα τρόφιμα και ποτά. Κυμαίνονται από 10 έως 17 τόνους/TEU και μεταφέρονται συνήθως από ε/κ των 40 ποδιών. Τα ε/κ των 20 ποδιών δεν είναι κατάλληλα για αυτή την κατηγορία φορτίων, καθώς είναι μικρότερης χωρητικότητας.

Πίνακας 4.5 Πλήθος ε/κ και μικτού βάρους για το Σενάριο #2

Βάρος Στόλου	Ε/Κ 40'	Μικτό Βάρος
[tn]	[πλήθος]	[tn]
100	3	84
200	7	196
300	11	308
400	14	392
500	18	504
600	21	588

Σενάριο 3

Το τρίτο σενάριο (#Σ3), έγινε για τα βαριά και τα πολύ βαριά φορτία με βάρος από 100 - 1200 τόνους. Στα βαριά αγαθά συμπεριλαμβάνονται χημικά προϊόντα, ημιπροϊόντα (μεταφέρονται σε βαρέλια), αλεύρι και άλλα δημητριακά υλικά, και επεξεργασμένα μέταλλα κ.α.. Έχουν μέσο μικτό βάρος εύρους 18 με 26 τόνους/ TEU. Το ε/κ επιλογής στην προκειμένη περίπτωση, είναι των 20 ποδιών γιατί τα 40' μπορούν να δεχθούν μέχρι 35 τόνους μέγιστου μικτού βάρους, καθώς λόγω χαμηλού ποσοστού διακίνησης θα θεωρηθεί «σπατάλη» η χρήση μεγαλύτερου ε/κ (όπως 40') με την έννοια ότι θα υπάρχουν κενοί χώροι στο ε/κ.

Προϊόντα όπως ο σίδηρος και ο χάλυβας, ή χημικά υγρά όπως το πετρέλαιο, κατατάσσονται στα πολύ βαριά αγαθά, καθώς είναι τα πιο βαριά μοναδοποιημένα υλικά. Το μέσο μικτό τους βάρος κυμαίνεται από 26-30,5 τόνους/TEU, αγγίζοντας έτσι

την μέγιστη ικανότητα μικτού βάρους των ε/κ. Με πυκνότητα κοντά στον 1 τόνο/m³, η αποκλειστική χρήση ε/κ των 20', θεωρείται η μόνη δυνατή για τους ίδιους λόγους που προαναφέρθηκαν και στα βαριά φορτία.

Πίνακας 4.6 Μικτό βάρος και πλήθος ε/κ για το Σενάριο #3.

Μέγιστο Βάρος Στόλου	Ε/Κ 20'	Ε/Κ 20'	Συνολικά Ε/Κ	Τελικό Μικτό Βάρος
[tn]	[πλήθος]	[πλήθος]	[πλήθος]	[tn]
100	3	1	4	99
200	6	1	7	168
300	10	2	12	290
400	14	3	17	412
500	18	3	21	504
600	21	4	25	603
700	24	5	29	702
800	28	5	33	794
900	31	6	37	893
1000	34	6	40	962
1100	39	7	46	1107
1200	43	7	50	1199

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα μικτά βάρη που μπορεί να μεταφέρει ο στόλος των φορτηγών (αποτελείται από 2 έως 50 φορτηγά οχήματα συνολικά στα σενάρια) και σε κάθε περίπτωση, είναι μέρος παραδοχής που θεωρήθηκε, έπειτα από έρευνες που έγιναν για τα συνήθη μεγέθη εμπορευμάτων που μεταφέρονται σε χώρες της ΕΕ. Παρατηρείται επίσης, ότι σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει υπέρβαση του μέγιστου επιτρεπόμενου μικτού βάρους των φορτηγών, σύμφωνα με τα επιτρεπόμενα όρια της Ελλάδας, τα οποία είναι 40 τόνοι για φορτηγά αμιγώς οδικών μεταφορών και 42 τόνοι για φορτηγά συνδυασμένων μεταφορών. Ωστόσο, χάριν απλοποίησης των υπολογισμών και λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαφορά αυτή είναι σχετικά μικρή, θεωρείται ότι τα εμπορεύματα, σε αυτές τις περιπτώσεις, φορτώνονται ως υπέρβαρα (Τουρνάκη Ε. , 2014).

Ακόμα μία παραδοχή, η οποία προέκυψε κατ' ανάγκη, είναι ότι κάθε φορτηγό θα μεταφέρει ένα ε/κ από τους δύο τύπους (20' & 40'), καθώς λόγω μέγιστης οριακής ικανότητας, σε σχέση με το ελάχιστο μικτό βάρος των σεναρίων, το φορτηγό θεωρείται ότι δεν μπορεί να μεταφέρει παραπάνω από ένα.

4.4 Αποτελέσματα και σχολιασμός

Χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, προέκυψαν τα αποτελέσματα της κατανάλωσης καυσίμου για κάθε τύπο ε/κ. Τα αποτελέσματα αυτά αναλύθηκαν στο περιβάλλον του Microsoft Excel, κάνοντας χρήση της κατασκευασμένης συνάρτησης «IF», που διατίθεται στην φόρμα. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε σενάριο υπολογίστηκε, αρχικά, η κλίση σε κατωφέρεια βάση

της οποίας, το όχημα δεν καταναλώνει καύσιμο. Αυτή η κλίση αποτέλεσε και την πρώτη συνθήκη που καλείται να ερευνηθεί κατά την παραπάνω συνάρτηση. Ουσιαστικά, κατασκευάστηκαν μια σειρά από υποθετικές συναρτήσεις προκειμένου να υπολογιστούν οι παράγοντες επιρροής, δηλαδή το έργο της αεροδυναμικής αντίστασης, το έργο της αντίστασης κύλισης και οι μεταβολές της κινητικής και δυναμικής ενέργειας, για το κάθε σημείο.

Με την πρώτη συνθήκη να είναι η διερεύνηση της εκάστοτε κατά μήκος κλίσης της Χ.Θ., ως προς την σχέση της με την ελάχιστη κλίση της οδού που έχει οριστεί (Πίνακας 4.7), η συνάρτηση προχωράει στην επόμενη συνθήκη μόνο αν η προηγούμενη δεν βγει αληθής. Οπότε, στην πρώτη συνθήκη, αν βγει αληθής, τότε το εκάστοτε έργο δύναμης μηδενίζεται, καθώς σημαίνει ότι βρέθηκε κλίση για την οποία, σημειώνεται μηδενική παραγωγή έργου. Αν όχι, εξετάζονται οι επόμενες συνθήκες που έχουν να κάνουν με την τιμή της ταχύτητας, δηλαδή αν η ταχύτητα διέλευσης από το εκάστοτε σημείο, είναι μηδενική ή είναι ίδια με αυτή του προηγούμενου σημείου. Έτσι, αν η κλίση σε κάποιο κομμάτι της διαδρομής είναι μικρότερη από την ορισμένη ως ελάχιστη, ή αν θεωρηθεί ότι το όχημα επιβραδύνει, τότε το έργο της δύναμης θα έχει μηδενική τιμή. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, η τιμή είναι υπολογίσιμη μέσω του τύπου έργου (Ενότητα 3.2.1). Στον παρακάτω πίνακα, φαίνονται οι ελάχιστες κλίσεις που βρέθηκαν για κάθε σενάριο, καθώς και το μικτό βάρος που μεταφέρεται.

Πίνακας 4.7 Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο υπολογισμού: ελάχιστη κλίση και μικτό βάρος

Τύπος Βάρους	Τύπος (ft)	Ελάχιστη Κλίση	Μικτό Βάρος (kg)
Ελαφριά	40	-0,014	27.000
Μεσαία	40	-0,011	43.000
Βαριά	20	-0,011	38.000
Πολύ Βαριά	20	-0,011	45.000

Με εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας, έγινε ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου για κάθε τύπο φορτίου-ε/κ, όπως φαίνεται και στον επόμενο πίνακα. Έγινε χρήση των εξισώσεων (5) έως (10) για να βρεθεί η κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 4.8 Κατανάλωση καυσίμου φορτηγού οχήματος για κάθε τύπο φορτίου..

Τύπος	Κατανάλωση Καυσίμου	
	[lt/100km]	[lt]
Ελαφριά	34,64	173,595
Μεσαία	46,72	234,149
Βαριά	44,48	222,903
Πολύ Βαριά	48,37	242,397

Αθροίζοντας τις καταναλώσεις καυσίμου από τα οχήματα που χρησιμοποιεί ο στόλος, βρέθηκαν τα συνολικά λίτρα καυσίμου που καταναλώνονται κατά τη μεταφορά. Ο τρόπος που θα συγκριθούν τα αποτελέσματα του φορτηγού με το σιδηρόδρομο, είναι μέσω εκπομπών αερίων (kg CO₂e). Έτσι, πολλαπλασιάζεται η τελική κατανάλωση (μετατρέπεται σε lt), με τον συντελεστή που βρέθηκε Well to Wheel (WTW) ίσο με 3,24

(EU, 2016)³. Πιο σωστά θα έπρεπε τα συνολικά λίτρα να πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή TTW (tank to wheel), που περιλαμβάνει τις εκπομπές από την καύση του καυσίμου μόνο από το όχημα, αλλά λόγω του ότι στην διαδρομή ο συρμός είναι κατά το ήμισυ ηλεκτροκίνητος, άρα ο συντελεστής TTW είναι ίσος με 0 (František Petro, 2017), οι ρύποι που θα υπολογίζονταν, θα ήταν σαφέστατα μικρότεροι από τους TTW του οδικού δικτύου (κινείται μόνο με πετρέλαιο) και δεν θα μπορούσαν να συγκριθούν. Τα αποτελέσματα των σεναρίων ακολουθούν στις επόμενες σελίδες.

4.4.1 Σενάριο 1: Αγαθά ελαφρού βάρους

Στο #Σ1, όπου έγινε η υπόθεση ότι ο στόλος των φορτηγών έχει μέγιστο μικότο βάρος φορτίου τους 400 τόνους, χρειάστηκε να υπολογιστεί το πλήθος των ε/κ που μεταφέρονται, σύμφωνα με το μέγιστο επιτρεπόμενο συνολικό φορτίο του κάθε σεναρίου. Έτσι, κρίθηκε ότι χρειάζονται από 2 έως 10 ε/κ για τις περιπτώσεις από 100 έως 400 τόνους μικότου μεταφερόμενου βάρους φορτίου, με αυξητικό ρυθμό τα 2 με 3 ε/κ την φορά, έτσι ώστε να μην ξεπερνάει το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος.

Πίνακας 4.9 Κατανάλωση καυσίμου για το #Σ1

Μέγιστο Βάρος Στόλου	Ε/Κ 40'	Τελικό Μικότο Βάρος	Κατανάλωση Καυσίμου
[tn]	[πλήθος]	[tn]	[lt]
100	2	80	347,19
200	5	200	867,98
300	7	280	1.215,17
400	10	400	1.735,95

Οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου για την μεταφορά φορτίου στη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη είναι χαμηλές, χωρίς μεγάλες μεταβολές κατά την αύξηση των βαρών του φορτίου, δηλαδή, η μεταβολή των τιμών κατανάλωσης από τους 100 τόνους στους 200 ή από τους 300 τόνους στους 400 τόνους μικότου βάρους, δεν είναι παραπάνω από 600 lt (520 lt και για τις δύο περιπτώσεις). Για το σενάριο των 100 τόνων συνολικού μικότου βάρους θα καταναλωθούν 347,19lt μέχρι τη Θεσσαλονίκη. Ωστόσο, φαίνεται πως το η μεταφορά των ελαφρού βάρους αγαθών, δεν επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση, συγκριτικά και με τα αποτελέσματα των επόμενων σεναρίων, για αυτό η επιλογή του φορτηγού είναι αρκετά οικονομική λύση.

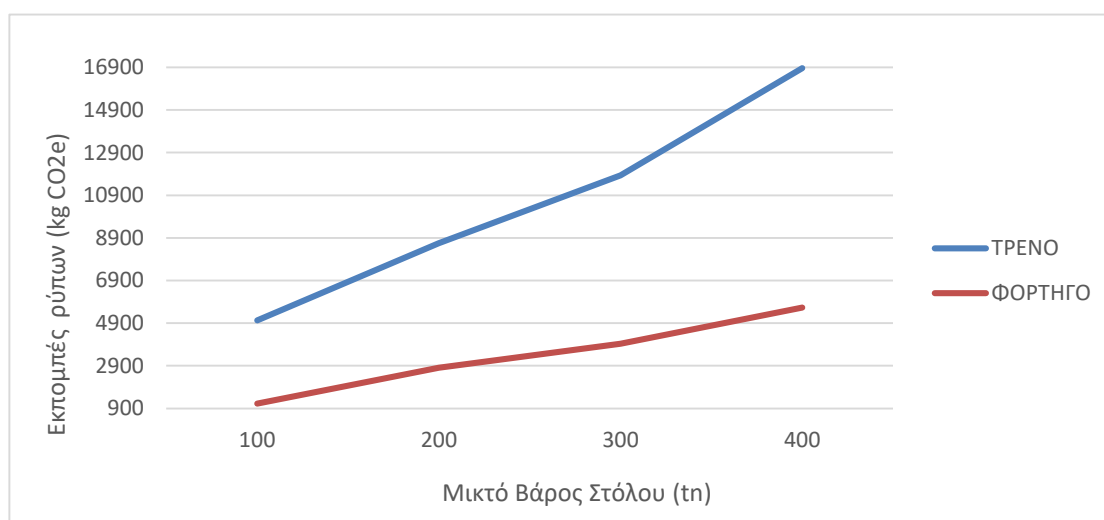
Σε σύγκριση με την επιλογή τρένου, του οποίου οι τιμές έχουν ληφθεί από παλαιότερη διπλωματική εργασία (Τουρνάκη Ε. , 2014), όπου δεν είναι πλήρως ηλεκτροκίνητο, αλλά κατά το ήμισυ ντιζελοκίνητο, για την συγκεκριμένη κατηγορία φορτίων, φαίνεται πως το τρένο εκπέμπει σημαντική ποσότητα ρύπων. Για την ίδια διαδρομή και για το ίδιο μεταφερόμενο βάρος, το φορτηγό εκπέμπει πολύ λιγότερους ρύπους άρα καταναλώνει λιγότερη ενέργεια κατά την κίνηση, σε σχέση με το τρένο. Έτσι, στην προκειμένη περίπτωση, το φορτηγό, θεωρείται πιο οικολογικό και οικονομικό μέσο από το τρένο.

³ Βλέπε παράρτημα 5 την εξήγηση του WTW & TTW.

Πίνακας 4.10 Σύγκριση εκπομπών ρύπων (CO₂e) μεταξύ φορτηγού και τρένου #Σ1. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014)

Μέγιστο Βάρος Στόλου	ΤΡΕΝΟ	ΦΟΡΤΗΓΟ
[tn]	[kg CO ₂ e]	[kg CO ₂ e]
100	5.028,80	1.124,90
200	8.654,50	2.812,24
300	11.837,90	3.937,14
400	16.866,70	5.624,48

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 4.2), γίνεται κατανοητή η διαφορά εκπομπών των δύο μέσων, με σημαντικά υψηλές τιμές για το τρένο. Αυτό συμβαίνει, εξαιτίας του μεγάλου βάρους του τρένου που ξεπερνά το βάρος του στόλου των φορτηγών, καθιστώντας το πρώτο, αντισυμβαλλόμενο.



Διάγραμμα 4.2: Γραφική αναπαράσταση των εκπομπών (CO₂e) μεταξύ φορτηγού και τρένου 1^{ου} Σεναρίου.

4.4.2 Σενάριο 2: Αγαθά μεσαίου βάρους

Κατά το (#Σ2) το μέγιστο επιτρεπόμενο μικτό βάρος φορτίου είναι οι 600 τόνοι και μεταφέρονται φορτία μεσαίου βάρους. Όπως γίνεται φανερό από το πλήθος τους στο #Σ1, προκαλώντας την αύξηση της κατανάλωσης με πιο απότομο ρυθμό τα ε/κ (Πίνακας 4.11), αυξάνονται αριθμητικά σε σχέση με το πλήθος τους στο #Σ1, προκαλώντας την αύξηση της κατανάλωσης με πιο απότομο ρυθμό.

Πίνακας 4.11 Κατανάλωση καυσίμου για το #Σ2.

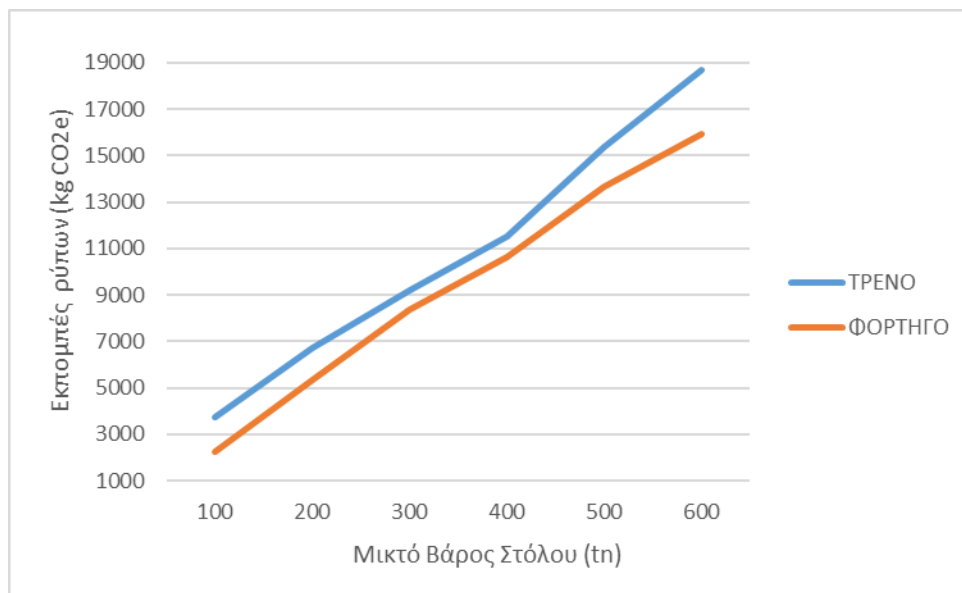
Μέγιστο Βάρος Στόλου	Ε/Κ 40'	Μικτό Βάρος	Κατανάλωση Καυσίμου
[tn]	[πλήθος]	[tn]	[lt]
100	3	84	702,45
200	7	196	1.639,04
300	11	308	2.575,64
400	14	392	3.278,09
500	18	504	4.214,68
600	21	588	4.917,13

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.12, οι εκπομπές ρύπων των δύο μέσων κινούνται ανοδικά, σχεδόν παράλληλα, με το τρένο πάντα να καταναλώνει μεγαλύτερη ενέργεια και κατ' επέκταση, να εκπέμπει μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων.

Πίνακας 4.12 Σύγκριση εκπομπών ρύπων (CO₂e) μεταξύ φορτηγού και τρένου #Σ2. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014)

Μέγιστο Βάρος Στόλου	ΤΡΕΝΟ	ΦΟΡΤΗΓΟ
[tn]	[kg CO ₂ e]	[kg CO ₂ e]
100	3.747,40	2.275,93
200	6.701,70	5.310,50
300	9.173,70	8.345,07
400	11.518,00	10.621,00
500	15.347,40	13.655,57
600	18.679,50	15.931,50

Στο Διάγραμμα 4.3 φαίνεται πως είναι πολύ μικρότερη η διαφορά στις τιμές των δύο μέσων, ωστόσο το φορτηγό υπερνικά το τρένο ως προς την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια και αφήνοντας μικρότερο αποτύπωμα ρύπανσης και πάλι. Στην περίπτωση των 400 τόνων, τα δύο μέσα έρχονται πιο κοντά στην ποσότητα εκπομπών, επιβεβαιώνοντας έτσι, για πρώτη φορά, την αξία του τρένου σε μεγάλα φορτία.



Διάγραμμα 4.3: Γραφική αναπαράσταση των εκπομπών (CO₂e) μεταξύ φορτηγού και τρένου 2ου Σεναρίου.

4.4.3 Σενάριο 3: Αγαθά βαριά και πολύ βαριά

Το (#Σ3), διαθέτει τα μεγαλύτερα βάρη αγαθών και το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο φορτίο στόλου, των 1200 τόνων. Με έως και 50 ε/κ στο #Σ3, το φορτηγό διαθέτει τις μεγαλύτερες τιμές κατανάλωσης καυσίμου που υπάρχουν μέχρι στιγμής στην εργασία. Αυτό συμβαίνει γιατί, αρχικά, πρόκειται για μεγαλύτερα μικτά βάρη σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια, αλλά και επειδή, τα πολύ βαριά αγαθά, επιδρούν άμεσα στην αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου.

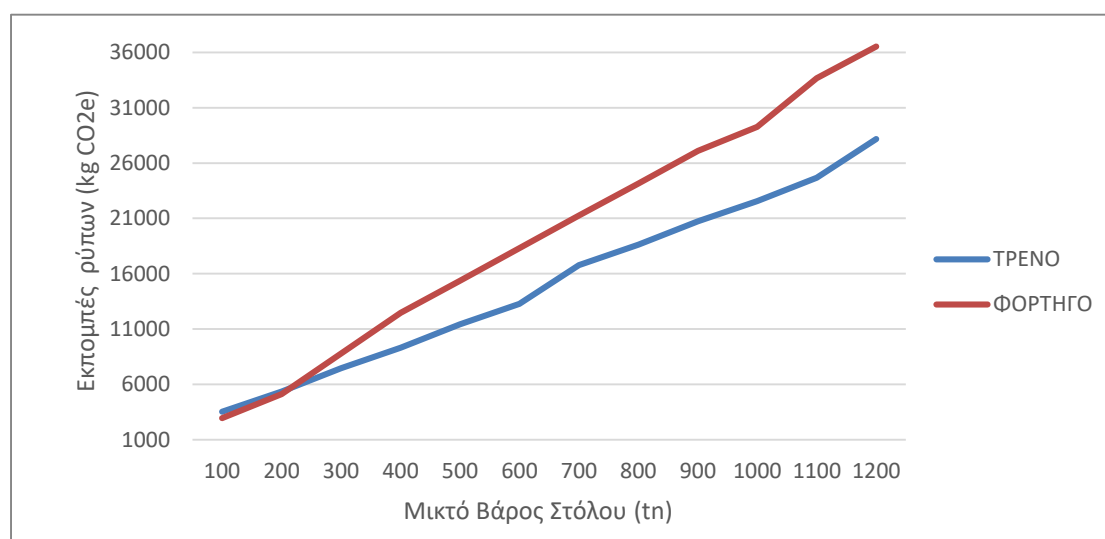
Πίνακας 4.13 Κατανάλωση καυσίμου για το #Σ3.

Μέγιστο Βάρος Στόλου	Ε/Κ 20'	Ε/Κ 20'	Σύνολο	Μικτό Βάρος	Κατανάλωση Καυσίμου
[tn]	[πλήθος]	[πλήθος]	[πλήθος]	[tn]	[lt]
100	3	1	4	99	911,11
200	6	1	7	168	1.579,82
300	10	2	12	290	2.713,82
400	13	3	16	389	3.624,93
500	17	3	20	481	4.516,54
600	20	4	24	580	5.427,65
700	23	6	29	709	6.581,15
800	27	6	33	801	7.472,76
900	30	7	37	900	8.383,87
1000	34	7	41	992	9.275,48
1100	38	7	45	1084	10.167,10
1200	43	7	50	1199	11.281,61

Παρατηρώντας τον Πίνακα 4.14 και Διάγραμμα 4.4 εκπομπών των μέσων, φαίνεται πως το φορτηγό δαπανά περισσότερη ενέργεια, εκπέμποντας μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων από του τρένου μέχρι τους 300 τόνους μικτού βάρους φορτίου, ενώ στην πορεία, αυξανόμενων των μικτών βαρών, το τρένο εκπέμπει μικρότερη ποσότητα ρύπων για το υπόλοιπο των φορτίων, και μάλιστα με αυξητική διαφορά έναντι του φορτηγού. Ουσιαστικά, για τα βαριά και πολύ βαριά αγαθά, το τρένο παρουσιάζει μια πιο συμφέρουσα εικόνα όσον αφορά την κατανάλωση και τις εκπομπές ρύπων, σε αντίθεση με το φορτηγό.

Πίνακας 4.14 Σύγκριση εκπομπών ρύπων (CO₂e) μεταξύ φορτηγού και τρένου για το #Σ3. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014)

Μ. Βάρος Στόλου	ΤΡΕΝΟ	ΦΟΡΤΗΓΟ
[tn]	[kg CO ₂ e]	[kg CO ₂ e]
100	3.507,40	2.951,98
200	5.356,70	5.118,60
300	7.461,00	8.792,79
400	9.310,30	11.744,78
500	11.414,60	14.633,60
600	13.263,90	17.585,58
700	16.771,30	21.322,93
800	18.620,70	24.211,76
900	20.724,90	27.163,74
1000	22.574,30	30.052,56
1100	24.678,50	32.941,39
1200	28.163,30	36.552,42

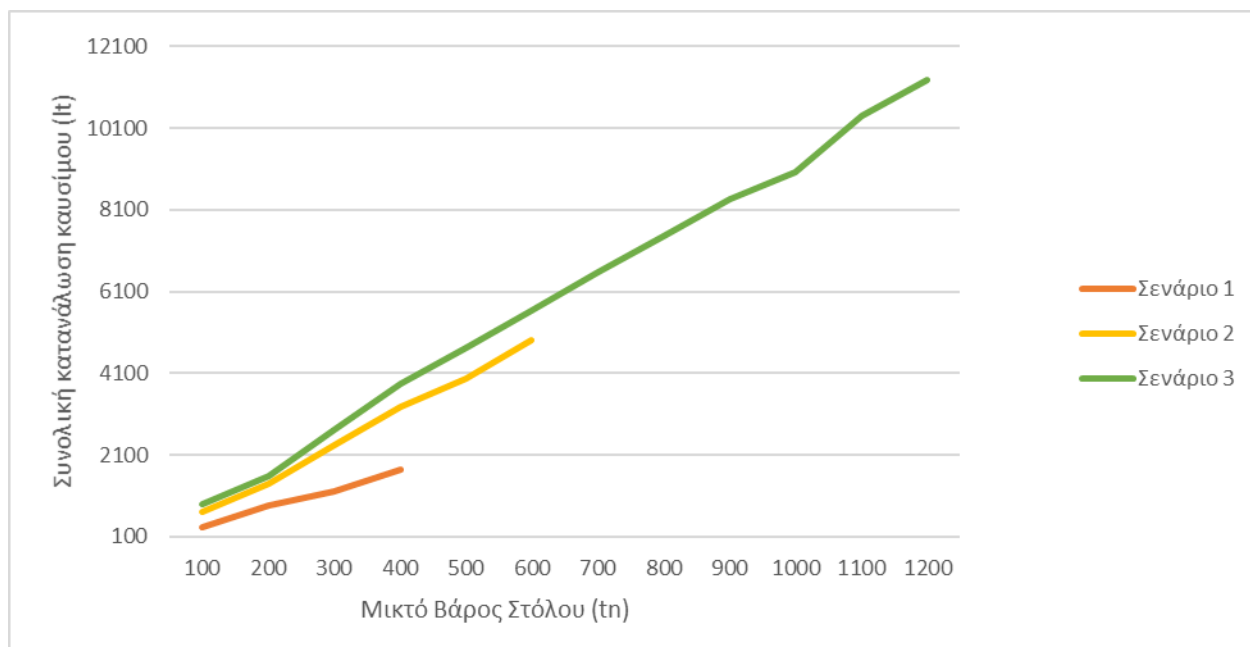


Διάγραμμα 4.4 Γραφική αναπαράσταση των εκπομπών (CO₂e) μεταξύ φορτηγού και τρένου #Σ3. Πηγή: (Τουρνάκη Ε. , 2014)

4.4.4 Σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου σεναρίων

Τα αποτελέσματα από κάθε διαφορετικό σενάριο, διαφέρουν μεταξύ τους και δίνουν σημαντικά στοιχεία για την κάθε επιλογή μέσου. Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων πηγάζει από την ανάγκη για περαιτέρω εξήγηση της σημασίας των διαφορετικών σεναρίων και του τρόπου που αυτά δομήθηκαν.

Παρατίθεται το Διάγραμμα 4.5 σύγκρισης των σεναρίων με την συνολική κατανάλωση καυσίμου για το καθένα. Η διαφορετική κλίση του διαγράμματος οφείλεται στην αύξηση του βάρους του φορτίου, εξαιτίας του οποίου, αυξάνεται όλο και πιο γρήγορα η κατανάλωση, από το προηγούμενο σενάριο στο επόμενο.



Διάγραμμα 4.5: Η συνολική κατανάλωση καυσίμου του στόλου φορτηγών, που μετρήθηκε από κάθε σενάριο.

Τα τρία παραπάνω σενάρια, κατασκευάστηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν, όσο γίνεται, μεγαλύτερο φάσμα συνδυασμών και επιλογών για τις εμπορευματικές μεταφορές με φορτηγό ή με τρένο αλλά και επίσης για να ταιριάζουν με τα σενάρια της παλαιότερης διπλωματικής εργασίας, που ακολουθούσε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία. Τα αποτελέσματα προσεγγίζουν τις τιμές που έχουν βρεθεί από online εφαρμογές (βλ. Eco Transit), οι οποίες υπολογίζουν την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές ρύπων, με λιγότερες παραμέτρους, αλλά που θεωρούνται αρκετά ακριβείς ως προς τα αποτελέσματά τους.

5 Συμπεράσματα και προτάσεις

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου και ενέργειας για εμπορευματική μεταφορά μέσω οδικού δικτύου, με φορτηγό και η σύγκρισή τους με το σιδηροδρομικό δίκτυο. Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν δεδομένα από το Google earth, επεξεργάστηκαν από το Graphhopper και δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων με υψόμετρα, χρονικές αποστάσεις, ταχύτητες διέλευσης κ.α. Έτσι, έγινε μια διερεύνηση των κυριότερων παραμέτρων που επηρεάζουν την κατανάλωση των καυσίμων στα φορτηγά καθώς και η εκτίμηση/υπολογισμός, μέσω μοντέλου, της κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με εφαρμογή στη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη. Στη συνέχεια παρατίθενται τα κυριότερα συμπεράσματα από την ανάλυση αυτή.

5.1 Βασικά συμπεράσματα

Η ταχύτητα κίνησης, το βάρος φορτίου και η κλίση της οδού κρίθηκαν ως οι σημαντικότεροι παράγοντες επιρροής της κατανάλωσης, καθώς συμπεριλαμβάνονται σε κάθε πιθανή μεταφορά, σε αντίθεση με άλλους προαναφερθέντες παράγοντες (Ενότητα 1.3) και επίσης, ποσοτικά, επιδρούν πιο πολύ από τους υπολοίπους στην κατανάλωση. Συγκεκριμένα, συμπεραίνεται μέσα από την εφαρμογή στη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη πως, η κλίση της οδού είναι ένας πολύ βασικός παράγοντας αύξησης της κατανάλωσης, ειδικά για το φορτηγό, καθώς επηρεάζει τρεις από τις τέσσερις παραμέτρους της κατανάλωσης καυσίμου (αντίσταση κύλισης, μεταβολή κινητικής και δυναμικής ενέργειας).

Καθώς η ύπαρξη κλίσης στην οδό επηρεάζει άμεσα και την μεταβολή της δυναμικής ενέργειας ΔU , παρατηρείται από την προηγούμενη στην επόμενη Χ.Θ. ότι, όπου τα αντίστοιχα υψόμετρα έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους ή αυξομειώνονται συχνά (Πίνακας 5.1) τότε η ΔU παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές και σε ορισμένες περιπτώσεις

Πίνακας 5.1 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα της ΔU .

Χιλιομετρική Θέση	ΚΛΙΣΗ	ELEVATION	ΜΙΚΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ	Έργο Αεροδύναμης Eaero	Έργο Κύλισης ERR	Μεταβολή Κινητικής ΔΚ	Μεταβολή Δυναμικής ΔU
[m]	[%]	[m]	[m/sec]	[sec]	[J]	[J]	[J]	[J]
458.100	0,36%	30,291	23,61	20.850,88	620.020,6	927.045	0,00	471.910
458.400	1,81%	35,714	23,61	20.863,54	620.020,6	927.045	0,00	2.393.983

αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα αυξημένης κατανάλωσης. Όπως παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα για την Χ.Θ. 458.100 και 458.400 μ., μπορεί να γίνει κατανοητή η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας, κατά την αύξηση της κατά μήκος κλίσης και κατ' επέκταση, της υψομετρικής θέσης. Το αντίθετο αποτέλεσμα επέρχεται όταν σημειώνεται, σε πολλές Χ.Θ. στη σειρά, σημαντική μείωση των κατά μήκος κλίσεων που σηματοδοτεί την ύπαρξη μεγάλου μήκους κατωφέρειας (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.2 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μείωση και η εκμηδένιση της ΔU σε μεγάλου μήκους κατωφέρεια.

Χιλιομετρική Θέση	ΚΛΙΣΗ	ELEVATION	ΜΙΚΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ	Έργο Αεροδύναμης E_{aero}	Έργο Κύλισης E_{RR}	Μεταβολή Κινητικής ΔΚ	Μεταβολή Δυναμικής ΔU
[m]	[%]	[m]	[m/sec]	[sec]	[J]	[J]	[J]	[J]
203.100	0,05%	99,6528	23,61	9.680,85	620.020,6	927.045	0	65.997
203.400	-0,12%	99,28	23,61	9.693,51	620.020,6	927.045	0	0
203.700	-0,05353	83,275	23,61	9.706,178	0	0	0	0

Η μεταβολή της κινητικής ενέργειας, ΔΚ επίσης λόγω της ύπαρξης στάσεων, επιβραδύνσεων- επιταχύνσεων σε διόδια ή κατά τη διαδρομή μετά από αλλαγή ταχύτητας, φαίνεται να εμφανίζει κάποιες σποραδικές, αλλά υψηλές τιμές, ανά περιπτώσεις και μάλιστα μεγαλύτερες της δυναμικής (Πίνακας 5.3)

Πίνακας 5.3 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα της ΔΚ.

Χιλιομετρική Θέση	ΚΛΙΣΗ	ELEVATION	ΜΙΚΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ	Έργο Αεροδύναμης E_{aero}	Έργο Κύλισης E_{RR}	Μεταβολή Κινητικής ΔΚ	Μεταβολή Δυναμικής ΔU
[m]	[%]	[m]	[m/sec]	[sec]	[J]	[J]	[J]	[J]
392.100	-1,49%	19,688	19,44	17.958,08	0,0	0	0,00	0
392.400	-1,94%	13,896	19,44	17.973,46	0,0	0	0,00	0
392.700	1,56%	18,559	20,343	17.988,78	1.360,7	927.045	808.291,10	2.058.481
393.000	0,86%	21,124	23,61	18.002,19	6.376,0	927.045	3.230.875,15	1.132.319
393.300	-1,13%	17,731	23,61	18.014,85	0,0	0	0,00	0

Η ταχύτητα, εκτός από την κινητική ενέργεια ΔΚ, επηρέασε σημαντικά και το έργο της αεροδυναμικής αντίστασης. Φαίνεται πως κατά τα πρώτα χιλιόμετρα της διαδρομής ξεκινώντας από Αθήνα (Πίνακας 5.4), διαθέτει τις μικρότερες τιμές, όπως στο 6^ο χιλιόμετρο που θεωρείται ακόμα εντός Αττικής, ή κοντά στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, προφανώς λόγω του αστικού δικτύου στο οποίο καταγράφονται κατά κανόνα μικρότερες ταχύτητες κίνησης. Αντίθετα, σε περιοχές που το φορτηγό όχημα μπορεί και επιτρέπεται να αναπτύξει ταχύτητα, γίνεται εμφανής η αύξηση της τιμής της Αεροδύναμης, καθώς το όχημα δέχεται μετωπικά μεγαλύτερη αντίσταση από τον αέρα.

Πίνακας 5.4 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα του έργου Αεροδύναμης, εντός του αστικού δικτύου

Χιλιομετρική Θέση	ΚΛΙΣΗ	ELEVATION	ΜΙΚΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ	Έργο Αεροδύναμης E_{aero}	Έργο Κύλισης E_{RR}	Μεταβολή Κινητικής ΔΚ	Μεταβολή Δυναμικής ΔΥ
[m]	[%]	[m]	[m/sec]	[sec]	[J]	[J]	[J]	[J]
5700	0,13%	195,5436	13,9	431,80	214903,6	927045	0,00	171591,6
6000	-1,18%	192,0078	13,9	453,31	0,0	0	0,00	0
6300	-4,86%	177,484	13,9	474,82	0,0	0	0,00	0
6600	-2,17%	171	13,9	496,33	0,0	0	0,00	0

Η αυξομείωση του έργου αεροδυναμικής αντίστασης που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.5) συμβαίνει σε περίπτωση απότομης επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης, σύνηθες φαινόμενο στις προσπεράσεις κατά την οδήγηση ή σε μεγάλες ευθείες.

Πίνακας 5.5 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα του έργου Αεροδύναμης κατά την αλλαγή ταχύτητας κίνησης.

Χιλιομετρική Θέση	ΚΛΙΣΗ	ELEVATION	ΜΙΚΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ	Έργο Αεροδύναμης E_{aero}	Έργο Κύλισης E_{RR}	Μεταβολή Κινητικής ΔΚ	Μεταβολή Δυναμικής ΔΥ
[m]	[%]	[m]	[m/sec]	[sec]	[J]	[J]	[J]	[J]
342300	1,30%	104,591	14,094	15609,21	-10685,4	0	0,00	1720472
342600	-0,37%	103,472	10,37497	15657,89	-1839,1	0	0,00	0
342900	-0,25%	102,72	16,942255	15679,78	6346,9	927045	4036500,00	0
343200	0,37%	103,832	21,597222	15695,29	7420,0	927045	4036500,00	490892,4
343500	1,22%	107,476	23,61	15708,23	4011,8	927045	2047322,25	1608644
343800	-0,88%	104,832	23,61	15720,90	620020,6	927045	0,00	0

Επιπλέον, το έργο της αντίστασης κύλισης, που επηρεάζεται άμεσα από την αλλαγή βάρους του φορτίου, φαίνεται πως δεν έχει σπουδαίες διακυμάνσεις στην τιμή, λόγω του ότι δεν μεταβάλλεται το φορτίο. Στα σημεία που παρατηρούνται ορισμένες αυξομειώσεις, πρόκειται για ύπαρξη διαβαθμίσεων στην κατά μήκος κλίση της οδού, που ως αποτέλεσμα μειώνει ή και μηδενίζει την κατανάλωση ενέργειας (Πίνακας 5.6).

Πίνακας 5.6 Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων που γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα του έργου αντίστασης κύλισης, κατά τις μεγάλες μήκους κατωφύριες.

Χιλιομετρική Θέση	ΚΛΙΣΗ	ELEVATION	ΜΙΚΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ	Έργο Αεροδύναμης E_{aero}	Έργο Κύλισης E_{RR}	Μεταβολή Κινητικής ΔΚ	Μεταβολή Δυναμικής ΔΥ
[m]	[%]	[m]	[m/sec]	[sec]	[J]	[J]	[J]	[J]
6600	2,17%	171	13,9	496,33	0,0	0	0,00	0
6900	1,01%	167,98	13,9	517,84	214903,6	927045	0,00	0
7200	0,59%	169,736	13,9	539,35	214903,6	927045	0,00	775186,2
7500	2,47%	162,343	13,9	560,86	0,0	0	0,00	0

Έπειτα από σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας, μέσα από τις εκπομπές ρύπων, μεταξύ των δύο μέσων μεταφοράς (φορτηγό και σιδηρόδρομο) και για την ίδια

ποσότητα μεταφοράς αγαθών, φαίνεται πως σε κάποιες περιπτώσεις μεταφοράς ε/κ συμφέρει το φορτηγό ενεργειακά και περιβαλλοντικά, σε σχέση με το τρένο ενώ σε άλλες περιπτώσεις ο σιδηρόδρομος είναι λιγότερο επιβαρυντικός προς το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται πως το φορτηγό, υπερτερεί του τρένου, στην περίπτωση μεταφοράς ελαφρού και μεσαίου βάρους αγαθών. Για το σενάριο μεταφοράς συνολικού μικτού βάρους 100 tn (Σενάριο 1), το τρένο εκπέμπει ρύπους 5.028,80 kg CO₂e ενώ το φορτηγό 1.124,90 kg CO₂e, και μάλιστα, όσο αυξάνεται το μέγιστο μικτό βάρος του στόλου, φαίνεται πως το τρένο επηρεάζεται, με αυξητικό ρυθμό πολύ μεγαλύτερο από του φορτηγού, σημειώνοντας τελικά μεγάλη διαφορά στις τιμές εκπομπών ανά μεταξύ τους (Πίνακας 4.10 & Πίνακας 4.12). Έτσι, καθώς οι δύο παραπάνω κατηγορίες διαθέτουν και τα μεγαλύτερα ποσοστά διακίνησης (Πίνακας 4.3), γίνεται κατανοητό γιατί το οδικό δίκτυο επιλέγεται σχεδόν καθολικά για εμπορευματική μεταφορά, έναντι του σιδηροδρομικού δικτύου.

Αντίθετα, το τρένο φαίνεται να επικρατεί επί του φορτηγού (Πίνακας 5.7), σε περιπτώσεις μεταφοράς αγαθών μεγάλου βάρους, από τους 300 tn συνολικού μικτού βάρους στόλου και άνω με τιμές 7.461,00 kg CO₂e για το τρένο και 8.792,79 kg CO₂e για το φορτηγό στο σύνολο της διαδρομής. Καθώς αυξάνεται το συνολικό μικτό βάρος, η διαφορά των εκπομπών μεταξύ των δύο μέσων, είναι αυξανόμενη από 1%-6% από την προηγούμενη στην επόμενη βαθμίδα μικτών βαρών.

Πίνακας 5.7 Ρυθμός ανάπτυξης των εκπομπών ρύπων για ιδιαιτέρως βαριά αγαθά.

Μικτό Βάρος Στόλου	ΤΡΕΝΟ	ΦΟΡΤΗΓΟ	Ποσοστό ΤΡΕΝΟΥ	Ποσοστό ΦΟΡΤΗΓΟΥ
	[kg CO ₂ e]	[kg CO ₂ e]		
100	3.507,40	2.951,98		
200	5.356,70	5.118,60	→ 5%	6%
300	7.461,00	8.792,79	4%	6%
400	9.310,30	11.744,78	2%	3%
500	11.414,60	14.633,60	2%	2%
600	13.263,90	17.585,58	2%	2%
700	16.771,30	21.322,93	3%	2%
800	18.620,70	24.211,76	1%	1%
900	20.724,90	27.163,74	1%	1%
1000	22.574,30	30.052,56	1%	1%
1100	24.678,50	32.941,39	1%	1%
1200	28.163,30	36.552,42	1%	1%

Τα βαριά φορτία είναι κύριο προϊόν μεταφοράς σε συνδυασμένες μεταφορές, που συχνά μεταφέρονται μέσω σιδηρόδρομου, εικάζοντας ότι ο τελευταίος μπορεί να ανταπεξέλθει καλύτερα από τα φορτηγά σε μεγάλα βάρη, καθώς φαίνεται να είναι πιο συμφέρον ως προς το ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμά του.

Όπως φάνηκε, το αυξημένο βάρος, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα προτίμησης του σιδηροδρόμου έναντι του φορτηγού και ειδικά για μια διαδρομή όπως αυτή της Αθήνας – Θεσσαλονίκης, που πραγματοποιείται καθημερινά για τη μεταφορά ε/κ.

5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Προτείνεται η επέκταση της συγκεκριμένης έρευνας και για άλλα δίκτυα, σε άλλη χώρα της Ε.Ε., όπως για παράδειγμα της Ιταλίας ή της Ισπανίας, που διαθέτουν ένα σημαντικό σιδηροδρομικό δίκτυο, που κινείται παράλληλα με το εθνικό οδικό δίκτυο και μπορεί να θεωρηθεί συγκρίσιμο (Εικόνα 5.1).

Επιπλέον, προτείνεται η προτεινόμενη μέθοδος εκτίμησης κατανάλωσης καυσίμου να γίνει με νέα δεδομένα κατανάλωσης και εκπομπής ρύπων, πιο πρόσφατα για το σιδηροδρομικό δίκτυο Αθήνας Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 5.1 Σιδηροδρομικά δίκτυα Ευρωπαϊκών χωρών. Πηγή: op.europa.eu

6 Βιβλιογραφία

- (n.d.). *Calculator, εφαρμογή υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου*. ecoTransIT.com.
- Carrillo Zanuy, A. K. (2011). *Intermodal application of VEL-Wagon (Versatile, Efficient and Longer Wagon for European Transportation)*. <http://www.vel-wagon.eu/index.php/downloads>.
- Coyle, D. (2007). *Effects of payload on the fuel consumption of trucks*. Department of transport.
- Dominguez. (2012). *High-speed global shutter CMOS machine vision sensor with high dynamic range image acquisition and embedded intelligence*.
- Dominguez, M., Fernández-Cardador, A., Cucala, A. P., & Pecharroman, R. R. (2012). *Energy Savings in Metropolitan Railway Substations Through Regenerative Energy Recovery and Optimal Design of ATO Speed Profiles*.
- EKBY. (2010). Το φυσικό περιβάλλον της Ελλάδας.
- EU, C. (2016). Well-to-Wheels Analyses. *European Commission, EU science Hub*.
- F.Santos, B. (2015). *The impact of transport policies on railroad intermodal freight competitiveness – The case of Belgium*.
- František Petro, V. K. (2017). *Calculation of emissions from transport services and their use for the internalisation of external costs in road transport*.
- Franzese, O. O. (2011). *Effect of weight and roadway grade on the fuel economy of class-8 freight trucks*.
- G Huang, D. C. (2017). *Multi-scale dense convolutional networks for efficient prediction*.
- González-Gil, A. (2014). *A systems approach to reduce urban rail energy consumption*. journal homepage: www.elsevier.com/locate/enconman.
- Mallon, W. (2013). *Costs of CO2 transportation infrastructures*. Science Direct.
- Nolte, R. W. (2003). *Evaluation of Energy Efficiency Technologies for Rolling Stock and Train Operation of railways*.
- O Franzese, D. D. (2011). *Effect of weight and roadway grade on the fuel economy of class-8 freight trucks*. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
- Pablo Martínez Fernandez, I. V. (2019). *A review of modelling and optimisation methods applied to railways energy consumption*. journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro.
- (2004). *pier2pier*. Frederiksberg, Denmark: pier2pier.com.
- Plotaroute.com. (n.d.). <https://www.plotaroute.com/routeplanner>.
- (2007). *The commercial vehicle*. Verband der Automobilindustrie.

- Transport, C. f. (2003). Nijland.
- Verband der automobilindustrie, V. (2005). *the commercial vehicle*.
- W Carvajal-Carreño, A. C. (2014). *Optimal design of energy-efficient ATO CBTC driving for metro lines based on NSGA-II with fuzzy parameters*.
- WELLAN2000. (2020). *Power Ring - Οικονομία στα καύσιμα*.
- Αποστολόπουλος, Β. (2018). *Διερεύνηση Θεμάτων Δρομολόγησης Στόλου Φορτηγών Οχημάτων*.
- Βυθούλκα, Κ. &. (2018). *Συστήματα Έλξης*, (σ. 113).
- Γενίτσαρης, Ε. (2010). *Οδικές εμπορευματικές μεταφορές στην Ελλάδα: Προβλήματα και προοπτικές*.
- ΕΕΣ, Σ. Ε. (2018). *Ευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας: προς το παρόν, τίποτε άλλο από ένα αναποτελεσματικό συνονθύλευμα*.
- ΕΟΠ. (2017). *Ευρωπαϊκός δείκτης ποιότητας αέρα: άμεσα διαθέσιμες πληροφορίες για την τρέχουσα ποιότητα του αέρα*. ΕΟΠ.
- ΕΟΠ, Ε. Ο. (2020). *Μεταφορές*.
- Επιτροπή, Ε. (2017). *Ευρωπαϊκή Επιτροπή*. https://commission.europa.eu/index_el.
- Ζωγραφίδης, Ν. (2007). *Ανάπτυξη Προτύπου Υπολογισμού Κόστους Λειτουργίας Βυτιοφόρων Οχημάτων Δ.Χ.*
- Θ Τσέκερης, Α. Τ.-Α. (2009). *Περιβαλλοντικές και ενεργειακές επιπτώσεις των μεταφορών: διεθνής και εγχώρια εμπειρία και πολιτικές διαχείρισης*.
- ΚΑΠΕ. (2005). *Συνοπτικός Οδηγός για τα Καθαρά Καύσιμα και τις Τεχνολογίες Οχημάτων*.
- Καπετανάκης, Γ. (2003). *Αυτοκίνητο και Περιβάλλον*. Ν. Ηράκλειο Αττικής: Ι.Δ.Ε.Ε.Α.
- Λευϊτικός, Κ. (2017). *ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ. ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ*.
- Μαραμαθάς, Ι. (2016). *Μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου κινητήρων diesel με φορητό σύστημα*.
- Μιχαηλίδου, Έ. (Σεπτέμβριος 2008). *Ορεινές Περιοχές της Ελλάδας. Χαρακτηριστικά και Στρατηγικές Ανάπτυξης*. ΜΔΕ του Ε.Μ.Π.
- Τουρνάκη, Ε. (2014). *Το Αποτύπωμα Άνθρακα στις Σιδηροδρομικές Συνδυασμένες Μεταφορές: Εφαρμογή στη Γραμμή Αθηνών – Θεσσαλονίκης*.
- Τουρνάκη, Ε. (2014). *Το Αποτύπωμα Άνθρακα στις Σιδηροδρομικές Συνδυασμένες Μεταφορές: Εφαρμογή στη Γραμμή Αθηνών – Θεσσαλονίκης*.
- Τριανταφυλλίδης, Κ. (2017). *Με ταχύτητα ή με νεκρά στις κατηφόρες;. Drive*.
- Τσακαλάκης, Κ. Γ. (2016). *Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα*.

- Φαφουτέλης, Π. (2015). *Κατανάλωση Καυσίμου Φορτηγών Οδικών Οχημάτων*.
- Ψυλλάκη, Δ. (2013). *Κύκλοι οδήγησης για την μέτρηση εκπομπών καυσαερίων και κατανάλωσης καυσίμου*.

7 Πηγές

- Οδηγία EN 16258 – τυποποίηση υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας <https://www.en-standard.eu>
- Οδηγία 2016/797- σχετικά με την τεχνική προδιαγραφή δια λειτουργικότητας για το υποσύστημα «διεξαγωγή και διαχείριση της κυκλοφορίας» του σιδηροδρομικού συστήματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης <https://eur-lex.europa.eu>
- Δεδομένα για ημερήσια ατμοσφαιρική ρύπανση στην ΕΕ- <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/explore-interactive-maps/up-to-date-air-quality-data> & <https://waqi.info/#/c/45.431/2.989/4z>
- Δεδομένα για μερίδια αγοράς στην Ε.Ε. - <https://www.vda.de>
- Προδιαγραφές εμπορευματοκιβωτίων στην Ε.Ε. - uma.com.cy
- Υψόμετρα - <https://graphhopper.com/maps>
- Μοντέλο υπολογισμού εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα - <https://www.pier2pier.com>
- Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία - <https://www.statistics.gr/el/statistics/>
- Εφοδιαστική Αλυσίδα - <https://www.enterprisegreece.gov.gr>
- Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία- <https://ec.europa.eu>
- Ελληνικά Τρένα/ Hellenic Trains- <https://www.hellenictrain.gr/>
- Μεταφορά εμπορευματικού φορτίου- <https://data.oecd.org/transport/freight-transport.htm#indicator-chart>

8 Παραρτήματα

1. Πίνακας τόνο-χιλιομέτρων μικτού βάρους εμπορεύματος που μεταφέρεται στην Ε.Ε. (Eurostat, 2020)

TIME	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TRA. MODE (Labels)														
Railways	14,0	14,2	15,6	15,4	15,6	16,8	16,9	16,7	16,7	17,4	17,4	18,5	19,4	20,6
Roads	7,1	7,4	6,5	6,2	6,4	6,5	6,4	6,5	6,5	6,3	6,3	6,2	6,1	5,9
Maritime	14,5	15,3	15,3	16,3	16,5	16,9	17,	18,2	17,5	17,8	15,6	16,4	16,5	17,5
Inland waterways	6,9	6,3	6,2	6,8	7,5	7,7	7,7	8,3	8,2	8,7	9,2	8,5	7,9	8,4

2. Ενοποίηση στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές - τονοχιλιόμετρο για το μεικτό βάρος των εμπορευμάτων. (Eurostat, 2020)

TIME	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Φορτηγό	404	652	263	722	463	581	1.015	1.204	953	698
Ποσοστιαία Μεταβολή		2,48	-3,89	4,59	-2,59	1,18	4,34	1,89	-2,51	-2,55

3.Επιδόσεις εμπορευματικών μεταφορών, προσαρμοσμένες για εδαφικότητα, ΕΕ, 2010-2020 (Eurostat, 2020)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	2.933.786	2.946.334	2.866.116	2.915.308	2.953.947	2.990.634	3.095.308	3.195.168	3.247.292	3.304.129	3.189.831
Road (¹)	1.558.293	1.541.624	1.481.652	1.516.364	1.527.435	1.561.988	1.619.748	1.707.314	1.707.495	1.764.787	1.744.986
Maritime (²)	834.101	850.144	838.423	850.983	875.120	870.771	909.320	916.989	976.974	979.076	924.285
Rail (³)	374.951	401.123	385.167	384.286	388.916	398.926	407.970	411.186	419.069	408.799	378.381
Inland waterways (⁴)	155.365	141.826	149.824	152.585	150.708	147.351	146.612	147.234	131.319	139.678	131.740
Air	11.076	11.617	11.051	11.091	11.768	11.599	11.658	12.444	12.435	11.789	10.438



ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

23 Φεβρουαρίου 2022

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αρ. Φύλλου 815

ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ

Αριθμ. Γ5/55376

Τροποποίηση της υπό στοιχεία Γ5/353651/7.12.2021 κοινής απόφασης των Υφυπουργών Οικονομικών και Υποδομών και Μεταφορών «Παραβάσεις της νομοθεσίας για τις οδικές εμπορευματικές μεταφορές και την κυκλοφορία φορτηγών οχημάτων και διοικητικές κυρώσεις» (Β' 6238).

**ΟΙ ΥΦΥΠΟΥΡΓΟΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ - ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

Έχοντας υπόψη:

1. Τις περ. (α) και (ε) της παρ. 1 και τις παρ. 1α και 2 του άρθρου 48 του ν. 3446/2006 «Οργάνωση και λειτουργία αρχών ελέγχου κυκλοφορίας των οχημάτων - Ρυθμίσεις για τις επιβατικές μεταφορές και άλλες διατάξεις» (Α' 49), όπως αυτό αντικαταστάθηκε με την παρ. 3 του άρθρου 30 του ν. 4663/2020 (Α' 30).
2. Τον Κανονισμό (ΕΕ) 2016/403 της Επιτροπής, της 18ης Μαρτίου 2016 για τη συμπλήρωση του Κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1071/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, όσον αφορά την κατάταξη των σοβαρών παραβάσεων των κανόνων της Ένωσης, οι οποίες ενδέχεται να οδηγήσουν στην απώλεια της υπόληψης του οδικού μεταφορέα, και για τροποποίηση του παραρτήματος ΙΙΙ της οδηγίας 2006/22/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (L 74).
3. Την υπό στοιχεία Γ5/353651/7.12.2021 κοινή απόφαση των Υφυπουργών Οικονομικών και Υποδομών και Μεταφορών «Παραβάσεις της νομοθεσίας για τις οδικές εμπορευματικές μεταφορές και την κυκλοφορία φορτηγών οχημάτων και διοικητικές κυρώσεις» (Β' 6238).
4. Το άρθρο 90 του Κώδικα νομοθεσίας για την Κυβέρνηση και τα κυβερνητικά όργανα, ο οποίος κυρώθηκε με το άρθρο πρώτο του π.δ. 63/2005 (Α' 98), σε συνδυασμό με την παρ. 22 του άρθρου 119 του ν. 4622/2019 (Α' 133).
5. Το άρθρο 5 του ν. 3469/2006 «Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίς της Κυβερνήσεως και λοιπές διατάξεις» (Α' 131).
6. Τον ν. 4727/2020 «Ψηφιακή Διακυβέρνηση (Ενσωμάτωση στην Ελληνική Νομοθεσία της Οδηγίας (ΕΕ) 2016/2102 και της Οδηγίας (ΕΕ) 2019/1024) Ηλεκτρονικές Επικοινωνίες (Ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/1972) και άλλες διατάξεις» (Α' 184).

7. Το άρθρο 4 του π.δ. 123/2016 «Ανασύσταση και μετονομασία του Υπουργείου Διοικητικής Μεταρρύθμισης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης, ανασύστασης του Υπουργείου Τουρισμού, σύσταση Υπουργείου Μεταναστευτικής Πολιτικής και Υπουργείου Ψηφιακής Πολιτικής, Τηλεπικοινωνιών και Ενημέρωσης, μετονομασία Υπουργείων Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης, Οικονομίας, Ανάπτυξης και Τουρισμού και Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων» (Α' 208).

8. Το π.δ. 123/2017 «Οργανισμός του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών» (Α' 151).

9. Το π.δ. 142/2017 «Οργανισμός Υπουργείου Οικονομικών» (Α' 181).

10. Το π.δ. 81/2019 «Σύσταση, συγχώνευση, μετονομασία και κατάργηση Υπουργείων και καθορισμός των αρμοδιοτήτων τους - Μεταφορά υπηρεσιών και αρμοδιοτήτων μεταξύ Υπουργείων» (Α' 119).

11. Το π.δ. 83/2019 «Διορισμός Αντιπροέδρου της Κυβέρνησης, Υπουργών, Αναπληρωτών Υπουργών και Υφυπουργών» (Α' 121 και Α' 126 διόρθωση σφάλματος).

12. Την υπ' αρ. 339/18-07-2019 κοινή απόφαση του Πρωθυπουργού και του Υπουργού Οικονομικών «Ανάθεση αρμοδιοτήτων στον Υφυπουργό Οικονομικών, Απόστολο Βεαυρόπουλο» (Β' 3051).

13. Το π.δ. 2/2021 «Διορισμός Υπουργών, Αναπληρωτών Υπουργών και Υφυπουργών» (Α' 2).

14. Την υπ' αρ. 317/22-9-2021 κοινή απόφαση του Πρωθυπουργού και του Υπουργού Υποδομών και Μεταφορών «Ανάθεση αρμοδιοτήτων στον Υφυπουργό Υποδομών και Μεταφορών, Μιχαήλ Παπαδόπουλο» (Β' 4383).

15. Τον ν. 4622/2019 «Επιτελικό Κράτος: οργάνωση, λειτουργία και διαφάνεια της Κυβέρνησης, των κυβερνητικών οργάνων και της κεντρικής δημόσιας διοίκησης» (Α' 133).

16. Την υπ' αρ. 49399/18-2-2022 εισηγητική έκθεση δημοσιονομικών επιπτώσεων του Προϊσταμένου της Γενικής Διεύθυνσης Οικονομικών Υπηρεσιών του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, της περ. ε' της παρ. 5 του άρθρου 24 του ν. 4270/2014 (Α' 143), σύμφωνα με την οποία από τις διατάξεις της παρούσας δεν προκαλούνται δαπάνες για τον κρατικό προϋπολογισμό, δεδομένου ότι αυτή περιέχει θεσμική ρύθμιση (κυρώσεις), αποφασίζουμε:

ΟΔΗΓΙΑ 96/53/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ

της 25ης Ιουλίου 1996

σχετικά με τον καθορισμό, για ορισμένα οδικά οχήματα που κυκλοφορούν στην Κοινότητα, των μέγιστων επιτρεπόμενων διαστάσεων στις εθνικές και διεθνείς μεταφορές και των μέγιστων επιτρεπόμενων βαρών στις διεθνείς μεταφορές

ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ,

Έχοντας υπόψη:

τη συνθήκη για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, και ιδίως το άρθρο 75,

την πρόταση της Επιτροπής⁽¹⁾,τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής⁽²⁾,

Αποφασίζοντας σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 189 Γ της συνθήκης⁽³⁾,

- (1) ότι η οδηγία αριθ. 85/3/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 19ης Δεκεμβρίου 1984, σχετικά με το βάρος, τις διαστάσεις και ορισμένα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά ορισμένων οδικών οχημάτων⁽⁴⁾ θέσπισε, στο πλαίσιο της κοινής πολιτικής μεταφορών, κοινά πρότυπα που επιτρέπουν την καλύτερη χρήση των οδικών οχημάτων στις μεταφορές μεταξύ κρατών μελών
- (2) ότι η οδηγία 85/3/ΕΟΚ τροποποιήθηκε πολλές φορές και σε σημαντική έκταση ότι για λόγους σαφήνειας και εξορθολογισμού, η εν λόγω οδηγία θα πρέπει, με την ευκαιρία της νέας τροποποίησής της, να αναμορφωθεί ενοποιούμενη σε ένα μόνο κείμενο με την οδηγία 86/364/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 24ης Ιουλίου 1986, σχετικά με το αποδεικτικό συμμόρφωσης των οχημάτων προς τις διατάξεις της οδηγίας 85/3/ΕΟΚ⁽⁵⁾
- (3) ότι οι διαφορές μεταξύ προτύπων που ισχύουν στα κράτη μέλη όσον αφορά τα βάρη και τις διαστάσεις των επαγγελματικών οδικών οχημάτων είναι δυνατόν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στις συνθήκες ανταγωνισμού και να αποτελούν εμπόδιο στην κυκλοφορία μεταξύ κρατών μελών

(4) ότι, σύμφωνα με την αρχή της επικουρικότητας, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα σε κοινοτικό επίπεδο, προκειμένου τέτοιου είδους εμπόδια να εξαλειφθούν

(5) ότι τα προαναφερθέντα πρότυπα αντανακλούν μια ισορροπία μεταξύ της ορθολογικής και οικονομικής χρήσεως των εν λόγω επαγγελματικών οδικών οχημάτων και των απαιτήσεων συντήρησης της υποδομής, οδικής ασφάλειας και προστασίας του φυσικού και βιοτικού περιβάλλοντος

(6) ότι θα πρέπει να παραμείνουν για μεγάλη περίοδο σταθερά τα κοινά πρότυπα σχετικά με τις διαστάσεις των οχημάτων μεταφοράς εμπορευμάτων

(7) ότι οι συμπληρωματικές τεχνικές προϋποθέσεις που αφορούν το βάρος και τις διαστάσεις των οχημάτων μπορούν να εφαρμόζονται στα επαγγελματικά οχήματα που έλαβαν άδεια κυκλοφορίας ή τέθηκαν σε κυκλοφορία σε άλλο κράτος μέλος⁽⁶⁾ ότι οι προϋποθέσεις αυτές δεν πρέπει να αποτελούν εμπόδιο στην κυκλοφορία των επαγγελματικών οχημάτων μεταξύ των κρατών μελών

(8) ότι θα πρέπει να διευρυνθεί ο ορισμός των «οχημάτων-ψυγείων με τοιχώματα μεγάλου πάχους» που υπάρχει στο άρθρο 2 της οδηγίας 85/3/ΕΟΚ, όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 89/338/ΕΟΚ⁽⁷⁾, προκειμένου να επαφίεται στα κράτη μέλη η δυνατότητα έγκρισης της κυκλοφορίας στο έδαφός τους των οχημάτων-ψυγείων που δεν θα ανταποκρίνονταν πλέον στις απαιτήσεις μόνωσης που καθορίζονται στο εν λόγω άρθρο

(9) ότι είναι αναγκαίο να διευκρινιστεί η έννοια «αδιαχώριστο φορτίο» προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομοιόμορφη εφαρμογή της παρούσας οδηγίας όσον αφορά τις άδειες που χορηγούνται σε οχήματα ή σύνολα οχημάτων που μεταφέρουν τέτοια φορτία

(10) ότι ο τόνος χρησιμοποιείται και αναγνωρίζεται παγκοσμίως ως μονάδα μέτρησης του βάρους των οχημάτων και ότι συνεπώς εφαρμόζεται και στην παρούσα οδηγία, έστω και αν γίνεται δεκτό ότι η τυπική μονάδα βάρους είναι το newton

(11) ότι, στο πλαίσιο της υλοποίησης της εσωτερικής αγοράς, το πεδίο εφαρμογής της παρούσας οδηγίας θα πρέπει να επεκταθεί στις εθνικές μεταφορές, στο βαθμό που αφορά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τις προϋποθέσεις ανταγωνισμού στον τομέα των μεταφορών, και ιδίως τις τιμές σχετι-

⁽¹⁾ ΕΕ αριθ. C 38 της 8. 2. 1994, σ. 3 και ΕΕ αριθ. C 247 της 23. 9. 1995, σ. 1.

⁽²⁾ ΕΕ αριθ. C 295 της 22. 10. 1994, σ. 72.

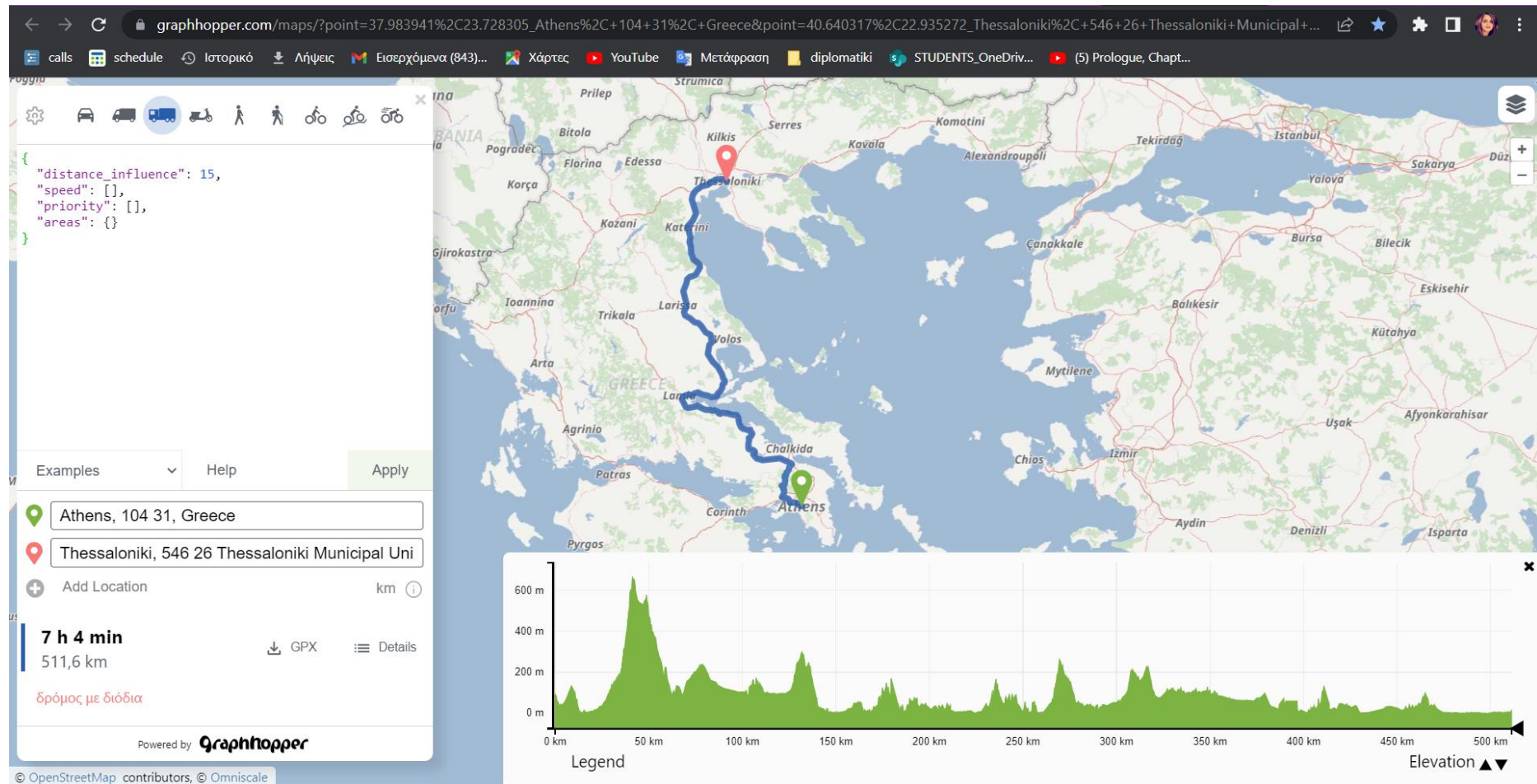
⁽³⁾ Γνώμη του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 15ης Νοεμβρίου 1994 (ΕΕ αριθ. C 341 της 5. 12. 1994, σ. 39), κοινή θέση του Συμβουλίου της 8ης Δεκεμβρίου 1995 (ΕΕ αριθ. C 356 της 30. 12. 1995, σ. 13) και απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 14ης Μαρτίου 1996 (ΕΕ αριθ. C 96 της 1. 4. 1996, σ. 233).

⁽⁴⁾ ΕΕ αριθ. L 2 της 3. 1. 1985, σ. 14. Οδηγία όπως τροποποιήθηκε τελευταία από την οδηγία 92/7/ΕΟΚ (ΕΕ αριθ. L 57 της 2. 3. 1992, σ. 29).

⁽⁵⁾ ΕΕ αριθ. L 221 της 7. 8. 1986, σ. 48.

⁽⁶⁾ ΕΕ αριθ. L 142 της 25. 5. 1989, σ. 3.

4. Υψόμετρα από site graphhopper.com για οδικό δίκτυο Αθήνα Θεσσαλονίκη. (Graphhopper, 2020)



5. Tank-to-Wheel (European Union, 2022)

