



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Το Αποτύπωμα Άνθρακα στις
Σιδηροδρομικές Συνδυασμένες Μεταφορές:
Εφαρμογή στη Γραμμή Αθηνών – Θεσσαλονίκης*



ΕΛΕΝΗ ΤΟΥΡΝΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΑΛΛΗΣ ΑΘ.

Αθήνα, Μάιος 2014

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία δε θα μπορούσα να μην αναφερθώ και να μην ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν και στήριξαν την προσπάθειά μου τον τελευταίο χρόνο.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Α. Μπαλλή για την καθοδήγησή του, την ενθάρρυνση και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αποτέλεσε μέσω της διδασκαλίας των μαθημάτων του αφορμή και κίνητρο για την ενασχόληση μου με το θέμα των μεταφορών και ιδιαίτερα των συνδυασμένων.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον καθηγητή κ. Κ. Λυμπέρη για τη βοήθειά του και το χρόνο που μου διέθεσε τόσο για την επίλυση των αποριών μου που σχετίζονταν με το θεωρητικό υπόβαθρο της θεωρίας της έλξης του σιδηροδρόμου όσο και για την υποστήριξή του στην ανάπτυξη ενός εκ των μοντέλων υπολογισμού της ενέργειας σιδηροδρομικού συρμού που χρησιμοποιήθηκε, ευχόμενη η καινούρια ζωή που ξεκινάει για εκείνον να είναι γεμάτη υγεία και ξέγνοιαστες στιγμές.

Ευχαριστώ, ακόμη, τον καθηγητή κ. Α. Σταθόπουλο για την αξιολόγηση της εργασίας καθώς επίσης και για τις έγκαιρες και εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις του.

Ευχαριστίες οφείλω, επίσης, στον κ. Α. Δαλκαλίτση της ΤΡΑΙΝΟΣΕ, για την πολύτιμη βοήθειά του στα θέματα που σχετίζονται με το σιδηρόδρομο, την ενέργεια και το περιβάλλον καθώς και για τα στοιχεία και τις γνώσεις που μου μετέδωσε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου που με έχει στηρίξει αμέριστα σε ο, τι και αν έχω κάνει έως τώρα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, ακόμη, στους φίλους μου, συναδέλφους και μη, που έχω την τύχη να με συντροφεύουν τα τελευταία χρόνια.

Περίληψη

Τίτλος: Το Αποτύπωμα Άνθρακα στις Σιδηροδρομικές Συνδυασμένες Μεταφορές: Εφαρμογή στη Γραμμή Αθηνών Θεσσαλονίκης

Φοιτήτρια: Τουρνάκη Ελένη

Επιβλέπων: Μπαλλής Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό του αποτυπώματος άνθρακα των σιδηροδρομικών συνδυασμένων εμπορευματικών μεταφορών. Αναπτύχθηκε μία νέα μεθοδολογική προσέγγιση που επιτρέπει τον υπολογισμό του απαιτούμενου αριθμού των μηχανών έλξης καθώς και της κατανάλωσης ενέργειας και των ρύπων σιδηροδρομικού συρμού για διαφορετικούς τύπους μεταφερόμενων μονάδων και φορταμαξών και για διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά της σιδηροδρομικής γραμμής. Επιπλέον, λαμβάνει υπόψη της περιορισμούς που τίθενται στη φόρτωση των φορταμαξών και έχουν ως αποτέλεσμα να μην εξαντλείται η μεταφορική τους ικανότητα.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στη γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης έδειξε ότι με τα σημερινά δεδομένα (μορφολογία γραμμής, τροχαίο υλικό, τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) η συνδυασμένη μεταφορά βαριών εμπορευματοκιβωτίων, με συνολικό ωφέλιμο φορτίο μεγαλύτερο των 300t, παράγει λιγότερους ρύπους σε σχέση με την ισοδύναμη αμιγώς οδική, σε αντίθεση με τη μεταφορά ελαφριών εμπορευματοκιβωτίων και συνήθους μίξης ελαφριών, μεσαίου βάρους και βαριών εμπορευματοκιβωτίων. Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι η επιλογή κατάλληλων φορταμαξών μπορεί να μειώσει τους ρύπους έως και 21%. Αντίθετα, η ύπαρξη μεγάλων κλίσεων αυξάνει σημαντικά τους ρύπους και, τέλος, η αλλαγή της ταχύτητας κίνησης του συρμού μπορεί να επηρεάσει τους ρύπους κατά $\pm 5\%$.

Λέξεις κλειδιά: Αποτύπωμα άνθρακα, σιδηροδρομικές συνδυασμένες εμπορευματικές μεταφορές, ρύποι, τροχαίο υλικό, κατανάλωση ενέργειας.

Abstract

Title: The Carbon Footprint of Rail Intermodal Freight Transport: Case Study on the Athens-Thessaloniki line

Student: Tournaki Eleni

Supervisor: Ballis Athanasios, Associate Professor NTUA

The main goal of this thesis is to develop a methodology for calculating the carbon footprint of rail intermodal freight transport. The developed methodological approach allows the calculation of the total number of locomotives required, as well as the energy consumption and pollutants emitted by train for different types of loading units and wagons and for different rail track technical characteristics. Moreover, it takes into account the restrictions imposed by the wagons' loading, which prevent them from operating at full capacity.

The case study on the Athens -Thessaloniki line showed that, according to current data (gradient profile of track, rolling stock, Greek energy mix), the intermodal transport of heavy containers, with a total payload of more than 300t, emits less pollutants compared to the equivalent pure road transport. On the contrary, the exclusive transport of light containers, as well as the transport of a typical mix of light, medium and heavy containers emit more pollutants than the equivalent pure road transport. Based on the performed computations, it was concluded that the optimal choice of rolling stock can reduce pollutants by up to 21%. Furthermore, the presence of steep gradients on the rail line strongly impacts the amount of generated pollutants, while fluctuations of the train velocity also impact the emitted pollutants by a percentage of $\pm 5\%$.

Keywords: Carbon footprint, rail intermodal freight transport, pollutants, rolling stock, energy consumption.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	15
1.1. Μεταφορές και περιβάλλον	15
1.2. Αντικείμενο και στόχος της εργασίας.....	21
1.3. Διάρθρωση της εργασίας	22
2. Ατμοσφαιρική ρύπανση και αποτύπωμα άνθρακα	23
2.1. Ατμοσφαιρικοί ρύποι	27
2.2. Αποτύπωμα άνθρακα	39
3. Βιβλιογραφική επισκόπηση	41
3.1. Πρότυπα και οδηγίες.....	44
3.2. Υπολογιστικά εργαλεία.....	48
3.3. Βάσεις δεδομένων.....	54
3.4. Σύστημα πιστοποίησης.....	59
4. Ανάπτυξη μεθοδολογίας.....	60
4.1. Γενική παρουσίαση μεθοδολογικής προσέγγισης	60
4.2. Κατηγοριοποίηση εμπορευμάτων που διακινούνται με συνδυασμένες μεταφορές.....	62
4.3. Μεταφερόμενες μονάδες.....	64
4.4. Τύποι και χαρακτηριστικά ελκόμενου τροχαίου υλικού.....	75
4.5. Υπολογισμός απαιτούμενου αριθμού φορταμαξιών.....	81
4.5.1. Αλγόριθμος φόρτωσης.....	81
4.5.2. Περιορισμοί στη σύνθεση του συρμού	83
4.6. Υπολογισμός του απαιτούμενου αριθμού μηχανών έλξης και της συνολικής μάζας συρμού.....	85
4.6.1. Τύποι και τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανών έλξης	85
4.6.2. Θεωρία έλξης.....	87
4.6.3. Συνολική μάζα συρμού και επιπτώσεις νέων τεχνολογιών	90
4.7. Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καυσίμου και ρύπων σιδηροδρομικής μεταφοράς.....	91
4.7.1. Κατανάλωση ενέργειας στις σιδηροδρ. εμπορευματικές μεταφορές	91
4.7.2. Πρότυπα εκπομπής ρύπων σιδηροδρομικών συρμών	93
4.7.3. Επιλογή μοντέλου υπολογισμού της κατανάλωσης και των ρύπων.....	95
4.8. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου και ρύπων οδικής μεταφοράς	104

4.8.1. Κατανάλωση καυσίμου στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές	104
4.8.2. Πρότυπα εκπομπής ρύπων φορητών οχημάτων	110
4.8.3. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου και ρύπων με τη μέθοδο του DSL.V	114
5. Εφαρμογή της μεθόδου στη γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης.....	118
5.1. Περιγραφή σιδηροδρομικής διαδρομής Αθηνών-Θεσσαλονίκης	118
5.2. Προσαρμογή της μεθόδου και υπολογισμοί	119
5.3. Αποτελέσματα διερεύνησης	141
6. Συμπεράσματα	161
7. Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα	164
Βιβλιογραφία	165
Παράρτημα I	
Παράρτημα II	

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Σχέση μεταξύ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και του παραγόμενου μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 27 από το 1995 έως το 2010	16
Εικόνα 2: Εύρος κατάληψης διπλής σιδηροδρομικής γραμμής και αυτοκινητόδρομου	17
Εικόνα 3: Κατανομή των μέσων μεταφοράς αγαθών στην Ευρώπη τα έτη 2000 και 2009.....	18
Εικόνα 4: Παραγόμενοι ρύποι από την καύση ενός λίτρου καυσίμου	19
Εικόνα 5: Γραφικό σύμβολο του αποτυπώματος άνθρακα	20
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου	26
Εικόνα 7: Εκπομπές CO ₂ από καύση ορυκτών καυσίμων ανά τομέα.....	28
Εικόνα 8: Ποσοστά εκπομπών διάφορων ρύπων από τις μεταφορές	30
Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση για την κατανόηση του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων	33
Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση των Well-to-wheels και Tank-to-wheels εκπομπών ρύπων	40
Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας του υπολογιστικού εργαλείου CENEX.....	53
Εικόνα 12: Αποτελέσματα σύγκρισης οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς από το διαδικτυακό λογισμικό του TNO	57
Εικόνα 13: Η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας εργασίας	61
Εικόνα 14: Κατηγοριοποίηση φορτίων που διακινούνται με συνδυασμένες μεταφορές	63
Εικόνα 15: Ποσοστό χρησιμοποίησης στις συνδυασμένες μεταφορές για κάθε τύπο μεταφερόμενων μονάδων	64
Εικόνα 16: Διαμόρφωση των ακμών των εμπορευματοκιβωτίων 45 ποδών	67
Εικόνα 17: Διάταξη παλετών στα ISO εμπορευματοκιβώτια.....	71
Εικόνα 18: Σύγκριση χωρητικότητας (σε ευρωπαϊκές) των ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων και των εμπορευματοκιβωτίων αντίστοιχου μήκους.....	72
Εικόνα 19: Ημιρυμουλκούμενο με δυνατότητα μεταφόρτωσης σε σιδηροδρομική φορτάμαξα	74
Εικόνα 20: Σχηματική απεικόνιση των κατακόρυφων δυνάμεων που ασκούνται στις φορτάμαξες μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	81
Εικόνα 21: Οδηγίες για την κατανομή των φορτίων επί των φορταμαξών κατά μήκος και πλάτος	83
Εικόνα 22: Περιορισμοί διαστάσεων φορτίου λόγω περιτυπώματος και λόγω εμποδίων σε οριζοντιογραφικές καμπύλες	83
Εικόνα 23: Διάγραμμα υπολογισμού αντίστασης εκκίνησης συρμού για δεδομένη κλίση.....	87
Εικόνα 24: Συνολική ποσοστιαία κατανομή της ενέργειας από την παραγωγή έως τη χρήση (για ηλεκτρική ενέργεια και ορυκτά καύσιμα)	98

Εικόνα 25: Σύγκριση εναλλακτικών μοντέλων υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου ντηζελοκίνησης για τυπικό συρμό	102
Εικόνα 26: Σύγκριση μοντέλων εναλλακτικών υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας ηλεκτροκίνησης για τυπικό συρμό	103
Εικόνα 27: Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο για διάφορους τύπους φορητών διανομής.....	107
Εικόνα 28: Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο για φορητά μεταφοράς χύδην φορτίου.....	108
Εικόνα 29: Γραφική απεικόνιση των συνεχώς μειούμενων ορίων NOx και PM των ευρωπαϊκών προτύπων εκπομπής ρύπων	113
Εικόνα 30: Συσχέτιση του προτύπου Euro I με τα μεταγενέστερα πρότυπα.	114
Εικόνα 31: Το σιδηροδρομικό δίκτυο του ΟΣΕ	118
Εικόνα 32: Κατανομές φορτίων για τα τρία σενάρια της εφαρμογής.....	121
Εικόνα 33: Κατασκευαστικά στοιχεία εμπορευματικής φορτάμαξας Rgss 362 του ΟΣΕ.....	125
Εικόνα 34: Προσεγγιστικός υπολογισμός εντατικής κατάστασης πλαισίου έμφορτης σιδηροδρομικής φορτάμαξας	126
Εικόνα 35: Δυνατοί συνδυασμοί φόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων στη φορτάμαξα Rgss 362 λόγω του ωφέλιμου μήκους της.....	126
Εικόνα 36: Ντηζελομηχανή της σειράς 450, Ντηζελομηχανή της σειράς 500 και ηλεκτράμαξα Hellas Sprinter	129
Εικόνα 37: Εκπεμπόμενο CO ₂ για την παραγωγή 1 kWh ηλεκτρικού ρεύματος για κάθε χώρα μέλος της ΕΕ (στοιχεία 2009)	144

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Αέρια του θερμοκηπίου και ο βαθμός συνεισφοράς τους στο φαινόμενο	27
Πίνακας 2: Μεθοδολογίες υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα στις μεταφορές	42
Πίνακας 3: Πεδίο εφαρμογής και υπολογιζόμενα αέρια κάθε μεθοδολογίας.....	43
Πίνακας 4: Συνοπτική παρουσίαση προτύπων και οδηγιών.....	45
Πίνακας 5: Συνοπτική παρουσίαση υπολογιστικών εργαλείων	49
Πίνακας 6: Συνοπτική παρουσίαση βάσεων δεδομένων	55
Πίνακας 7: Παρουσίαση συστήματος πιστοποίησης SmartWay Europe	59
Πίνακας 8: Ελάχιστες εσωτερικές διαστάσεις και όγκος των εμπορευματοκιβωτίων της σειράς ISO1	66
Πίνακας 9: Συγκριτική παρουσίαση διαστάσεων και μεταφορικής ικανότητας διάφορων τύπων εμπορευματοκιβωτίων	69
Πίνακας 10: Διαστάσεις και χωρητικότητα (σε παλέτες) διάφορων τύπων εμπορευματοκιβωτίων.....	70
Πίνακας 11: Τύποι ανταλασσόμενων αμαξωμάτων	72
Πίνακας 12: Κατηγορίες φορταμαξών κατά UIC	76
Πίνακας 13: Κριτήρια επιλογής φορταμαξών.....	77
Πίνακας 14: Τύποι και αριθμός φορταμαξών μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στην Ευρώπη (στοιχεία 2007)	78
Πίνακας 15: Τύποι και αριθμός συμβατικών φορταμαξών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις συνδυασμένες μεταφορές, στην Ευρώπη (στοιχεία 2007).....	79
Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά φορταμαξών κατάλληλων για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων.....	80
Πίνακας 17: Κατηγορίες σιδηροδρομικής γραμμής.....	82
Πίνακας 18: Συστάσεις της UIC για τους εκπεμπόμενους ρύπους από τις ντηζελοκίνητες μηχανές έλξης	94
Πίνακας 19: Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για τις σιδηροδρομικές μηχανές έλξης	95
Πίνακας 20: Παράμετροι που λαμβάνει υπόψη του κάθε μοντέλο υπολογισμού της ειδικής κατανάλωσης σιδηροδρομικού συρμού.....	101
Πίνακας 21: Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για κινητήρες diesel βαρέων οχημάτων, σε g/kWh.....	112
Πίνακας 22: Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για την κατηγορία οχημάτων N3 και κύκλο οδήγησης EDC	112
Πίνακας 23: Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο φορτηγού, μέσες τιμές κατανάλωσης κενού οχήματος και διαφορές κατανάλωσης κενού και πλήρως έμφορτου οχήματος για διαφορετικές κατηγορίες κλίσης εδάφους	116
Πίνακας 24: Συντελεστής διόρθωσης της κατανάλωσης φορτηγού για κυκλοφορία εντός αστικού δικτύου.....	117

Πίνακας 25: Συντελεστές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για καύσιμο diesel	117
Πίνακας 26: Χαρακτηριστικά του τμήματος της σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης.....	119
Πίνακας 27: Ποσοστό ελαφριών, μεσαίου βάρους και βαριών εμπορευμάτων που διακινούνται από τους σταθμούς διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων του Ρότερνταμ και του Αμβούργου	120
Πίνακας 28: Αριθμός εμπορευματοκιβωτίων για κάθε κλάση μικτού βάρους για τα τρία σενάρια.....	120
Πίνακας 29: Χαρακτηριστικά εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή	123
Πίνακας 30: Πίνακας μέγιστου επιτρεπόμενου φορτίου για την φορτάμαξα 362 του ΟΣΕ	124
Πίνακας 31: Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη εμπορευματικής φορτάμαξας Rgss 362 του ΟΣΕ	125
Πίνακας 32: Εναλλακτικοί τρόποι και περιορισμοί στη φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων 20 και 40 ποδών στη φορτάμαξα Rgss του ΟΣΕ.....	127
Πίνακας 33: Φόρτωση εμπορευματοκιβωτίου 45 ποδών στη φορτάμαξα Rgss του ΟΣΕ	128
Πίνακας 34: Χαρακτηριστικά μηχανών έλξης ελληνικών σιδηροδρόμων που χρησιμοποιούνται στις εμπορευματικές μεταφορές.....	130
Πίνακας 35: Υπολογισμός μέγιστου ελκόμενου φορτίου για εκκίνηση σε ανωφέρεια	131
Πίνακας 36: Υπολογισμός μέγιστου ελκόμενου φορτίου βάσει της ωριαίας ισχύος	131
Πίνακας 37: Μέγιστο ελκόμενο φορτίο λόγω ζεύξης.....	131
Πίνακας 38: Μέγιστο ελκόμενο φορτίο ανά μηχανή έλξης	132
Πίνακας 39: Αποτελέσματα ενδεικτικής επίλυσης για το σενάριο φορτίων #1	133
Πίνακας 40: Αποτελέσματα ενδεικτικής επίλυσης για το σενάριο φορτίων #2	134
Πίνακας 41: Αποτελέσματα ενδεικτικής επίλυσης για το σενάριο φορτίων #3	135
Πίνακας 42: Ομαδοποιημένες κλίσεις σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης	136
Πίνακας 43: Τύποι και ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων για τα Σενάρια #1, #2 και #3 αντίστοιχα	138
Πίνακας 44: Ποσοστιαία μεταβολή των συνολικών WTW ρύπων της συνδυασμένης μεταφοράς για τις οριακές τιμές των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τυπικό συρμό της εξεταζόμενης διαδρομής	159

Ευρετήριο διαγραμμάτων (Αποτελέσματα διερεύνησης)

Διάγραμμα 1: Επιρροή του αλγορίθμου φόρτωσης στους συνολικούς WTW ρύπους της συνδυασμένης μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #1 ...	140
Διάγραμμα 2: Επιρροή του αλγορίθμου φόρτωσης στους συνολικούς WTW ρύπους της συνδυασμένης μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #3 ...	140
Διάγραμμα 3: Συνολικοί TTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2 (Μόνο ελαφριά φορτία).....	142
Διάγραμμα 4: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1 (Συνήθης μίξη φορτίων).....	143
Διάγραμμα 5: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2 (Μόνο ελαφριά φορτία).....	145
Διάγραμμα 6: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #3 (Μόνο βαριά και πολύ βαριά φορτία).....	146
Διάγραμμα 7: Σύγκριση συνολικών WTW ρύπων ανά τόνο καθαρού βάρους εμπορευμάτων συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς για τα τρία σενάρια φορτίων	147
Διάγραμμα 8: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων υπολογισμένοι και με το συντελεστή εκπομπής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας για το σενάριο φορτίων #1	148
Διάγραμμα 9: Συνολικοί WTW ρύποι αμιγώς σιδηροδρομικής και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1	149
Διάγραμμα 10: Συνολικοί WTW ρύποι αμιγώς σιδηροδρομικής και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2	150
Διάγραμμα 11: Συνολικοί WTW ρύποι αμιγώς σιδηροδρομικής και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #3	150
Διάγραμμα 12: Επιρροή τροχαίου υλικού στους συνολικούς WTW ρύπους της συνδυασμένης μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #1.....	151
Διάγραμμα 13: Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1	152
Διάγραμμα 14: Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2.....	153

- Διάγραμμα 15:** Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #3 154
- Διάγραμμα 16:** Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων, για το σενάριο φορτίων #1, με θεώρηση κλίσης 15% στα τμήματα της διαδρομής με κλίση άνω του 15% 155
- Διάγραμμα 17:** Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1 με θεώρηση κλίσης 0% στα τμήματα της διαδρομής με κλίση άνω του 15% 156
- Διάγραμμα 18:** Σύγκριση WTW ρύπων σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1 για σταθερή κλίση 0% και 5% σε όλη τη διαδρομή 157
- Διάγραμμα 19:** Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1, με θεώρηση ηλεκτροκίνησης/ ντηζελοκίνησης σε όλο το μήκος της διαδρομής 158
- Διάγραμμα 20:** Σύγκριση συνολικών WTW ρύπων συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #1 για τα ελληνικά και τα ευρωπαϊκά δεδομένα 160

Ακρωνύμια

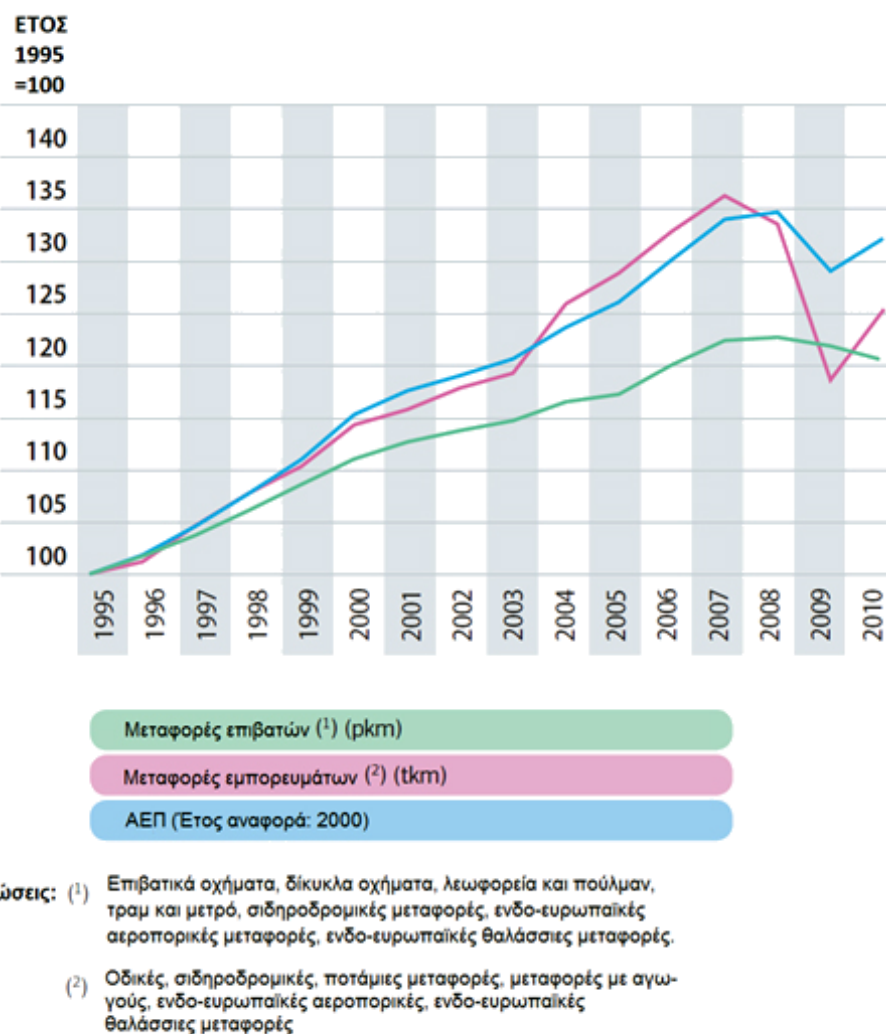
ΑΕΠ	: Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν
Δ.Ε.Η.	: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΕ	: Ευρωπαϊκή Ένωση
ΗΠΑ	: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΟΣΕ	: Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος
ΠΑΥ	: Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
ADEME	: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
CEN	: European Committee for Standardization
CENEX	: centre of excellence for low carbon and fuel cell technologies
CF	: Correction Factor
CFCs	: Chlorofluorocarbon
CLECAT	: European association of freight forwarders and logistics service providers
COFRET	: Carbon Footprint of Freight Transport
CONCAWE	: CONservation of Clean Air and Water in Europe
DEFRA	: Department for Environment, Food and Rural Affairs (UK government)
DIN	: Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardization)
DPF	: Diesel Particulate Filter
DSLVL	: Deutscher Speditions- und Logistikverband
EcoTransIT	: Ecological Transport Information Tool
EEA	: European Environment Agency
EEV	: Enhanced Environmentally friendly Vehicle
EF	: Emission Factor
EUCAR	: European Council for Automotive R & D
FEA	: Federal Environmental Agency
GHG	: Greenhouse gas
GIS	: Geographic Information Systems
GTW	: Gross Tonne Weight
GWP	: Global warming potential
HBEFA	: Handbook of Emission Factors for Road Transport
ICAO	: International Civil Aviation Organization
ICS	: Intermodal Cargo Shuttle
IFEU	: Institut für Energie- und Umweltforschung. Heidelberg (Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg)
IPPC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	: International Organization for Standardization
JEC	: Collaboration between the European Commission's Joint

	Research Centre, EUCAR and CONCAWE.
JRC	: European Commission's Joint Research Centre
MEET	: Methodology for calculating transport emissions and energy consumption
MLW	: Montreal Locomotive Works
MPG	: Miles Per Galon
NTM	: Network for Transport and Environment
PM	: Particulate Matter
RIV	: Regolamento Internazionale Veicoli (International Wagon Regulations)
SEMBA	: SINTEF Emission Module Based on ARTEMIS
SGKV	: Studiengesellschaft für den kombinierten Verkehr e.V. (research association for Intermodal Transport)
TEU	: Twenty-foot equivalent unit
TNO	: Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (ολλανδικός Οργανισμός Εφαρμοσμένης Επιστημονικής Έρευνας)
TREMOD	: TRansport Emission MODel
TTW	: Tank-to-wheels
UIC	: International Union of Railways
UIRR	: International Union for Road-Rail combined transport
USEPA	: US Environmental Protection Agency
VOCs	: Volatile Organic Compounds
WTW	: Well-to-wheels
WTT	: Well-to-tank

1. Εισαγωγή

1.1. Μεταφορές και περιβάλλον

Οι μεταφορές είτε είναι οδικές είτε σιδηροδρομικές, εναέριες ή θαλάσσιες, αποτελούν το μέσο για την εξυπηρέτηση των υπόλοιπων κλάδων της οικονομίας όπως της βιομηχανίας, του εμπορίου, του τουρισμού, της γεωργίας, κτλ. Εντάσσονται στους σημαντικότερους κλάδους της ως τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας εξυπηρετώντας τον **κύριο ρόλο** τους, να συνδέουν τις αγορές. Οι πρώτες ύλες μεταφέρονται στα εργοστάσια για επεξεργασία, τα τελικά προϊόντα μεταφέρονται στα σημεία πώλησής τους, οι εργαζόμενοι στους τόπους εργασίας τους, κτλ. Η ασφαλής και αποδοτική μεταφορά αγαθών, αλλά και επιβατών, είναι ζητήματα ζωτικής σημασίας τόσο για την οικονομία όσο και για την ποιότητα ζωής των πολιτών μίας χώρας και συμβάλουν στην ευημερία της [1]. Είναι, επομένως, προφανές ότι οι μεταφορές και η **οικονομική ανάπτυξη** είναι δύο **έννοιες αλληλένδετες και αλληλοεξαρτώμενες**. Ένα αποδοτικό σύστημα μεταφορών δεν εγγυάται την οικονομική ανάπτυξη, αλλά μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος που ενθαρρύνει την οικονομική ανάπτυξη. Από την άλλη μεριά, η οικονομική ανάπτυξη μπορεί να δημιουργήσει ανάγκη για νέες υποδομές και υπηρεσίες μεταφορών [2]. Η στενή αυτή σχέση αποτυπώνεται στην Εικόνα 1 όπου απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και του παραγόμενου μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 27. Παρατηρείται μία έντονη αύξηση των εμπορευματικών μεταφορών (με εξαίρεση το έτος 2009), στην οποία συντελούν και οι διεθνείς τάσεις της παγκοσμιοποίησης που ορίζουν ότι η παραγωγή προϊόντων πρέπει να γίνεται στις χώρες που έχουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και στην συνέχεια να υπάρχουν ανταλλαγές μέσω του εμπορίου και των μεταφορών. Πολύ θετική, επίσης, συμβολή έχει η ανάπτυξη του κλάδου των logistics μέσω της αποτελεσματικότερης οργάνωσης και διαχείρισης της μεταφορικής αλυσίδας και των υπηρεσιών αποθήκευσης και διανομής [3].



Εικόνα 1: Σχέση μεταξύ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και του παραγόμενου μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 27 από το 1995 έως το 2010 [4]

Αν και η ικανοποίηση των μεταφορικών αναγκών είναι μια μεγάλης σημασίας συνιστώσα της οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης, οι διάφορες **αρνητικές επιπτώσεις** προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία και προσελκύουν ενδιαφέρον στο θέμα του κοινωνικού κόστους των μεταφορών. Η διαρκής αύξηση της κινητικότητας οδηγεί σε ένταση των αρνητικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, τις κλιματολογικές αλλαγές, την υποβάθμιση του τοπίου, το θόρυβο, τον κυκλοφοριακό κορεσμό και τα ατυχήματα που αποτελούν τις βασικές παραμέτρους της.

Η **συγκοινωνιακή υποδομή**, που περιλαμβάνει το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, τα λιμάνια, τα αεροδρόμια, τους χώρους στάθμευσης και τους σταθμούς

μεταφόρτωσης εμπορευμάτων, καταλαμβάνει **σημαντικό μέρος γης** που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί διαφορετικά. Κατά κανόνα η κατασκευή της συγκοινωνιακής υποδομής αλλοιώνει κατά τρόπο μη αναστρέψιμο το φυσικό περιβάλλον και υποβαθμίζει αισθητικά το τοπίο. Ωστόσο, η επίπτωση αυτή δεν είναι ίδια για όλα τα μέσα μεταφοράς. Ο σιδηρόδρομος, παραδείγματος χάριν, έχοντας καταφέρει να μετατρέψει ένα βασικό μειονέκτημα του, που είναι ο ένας βαθμός ελευθερίας κίνησης λόγω της παρουσίας των δύο σιδηροτροχιών, σε πλεονέκτημα αφού έτσι διευκολύνεται η αυτοματοποίηση πολλών λειτουργιών, όπως της σηματοδότησης, της πέδησης, της ηλεκτρικής έλξης, συνδυάζει μικρό εύρος κατάληψης γης και μεγάλη χωρητικότητα [5]. Για το ίδιο μεταφορικό έργο το εύρος κατάληψης μιας σιδηροδρομικής γραμμής είναι τρεις φορές περίπου μικρότερο από ότι μιας οδικής υποδομής με συνέπεια να μη διαταράσσεται, στον ίδιο βαθμό, το φυσικό τοπίο (Εικόνα 2). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για 1 km σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων απαιτείται έκταση γης 3,2 εκταρίων ενώ αντίστοιχα για 1 km αυτοκινητοδρόμου απαιτούνται 9,3 εκτάρια [6].



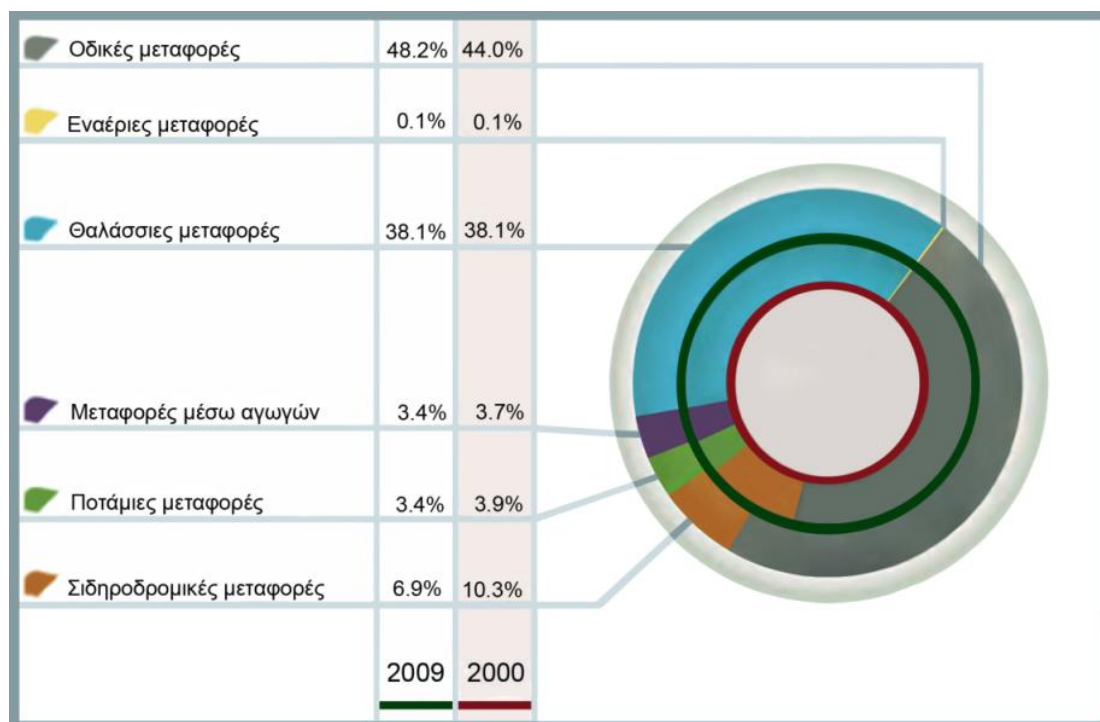
Εικόνα 2: Εύρος κατάληψης διπλής σιδηροδρομικής γραμμής και αυτοκινητόδρομου [6]

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η **ενόχληση** που προκαλείται **από το θόρυβο** ο οποίος οφείλεται στα μέσα μεταφοράς. Οι προσπάθειες εξασφάλισης μιας μέγιστης επιτρεπόμενης στάθμης θορύβου ανάλογα με τη χρήση γης κάθε περιοχής προσκρούουν τόσο στην αδυναμία συμφωνίας για τη στάθμη αυτή όσο και στο απαιτούμενο υψηλό κόστος για την υιοθέτηση τεχνικών που θα διατηρήσουν χαμηλή τη στάθμη του θορύβου.

Στο κοινωνικό κόστος των μεταφορών περιλαμβάνεται, ακόμη, ο **μεγάλος αριθμός νεκρών και τραυματιών** ετησίως από ατυχήματα στα διάφορα μέσα μεταφοράς.

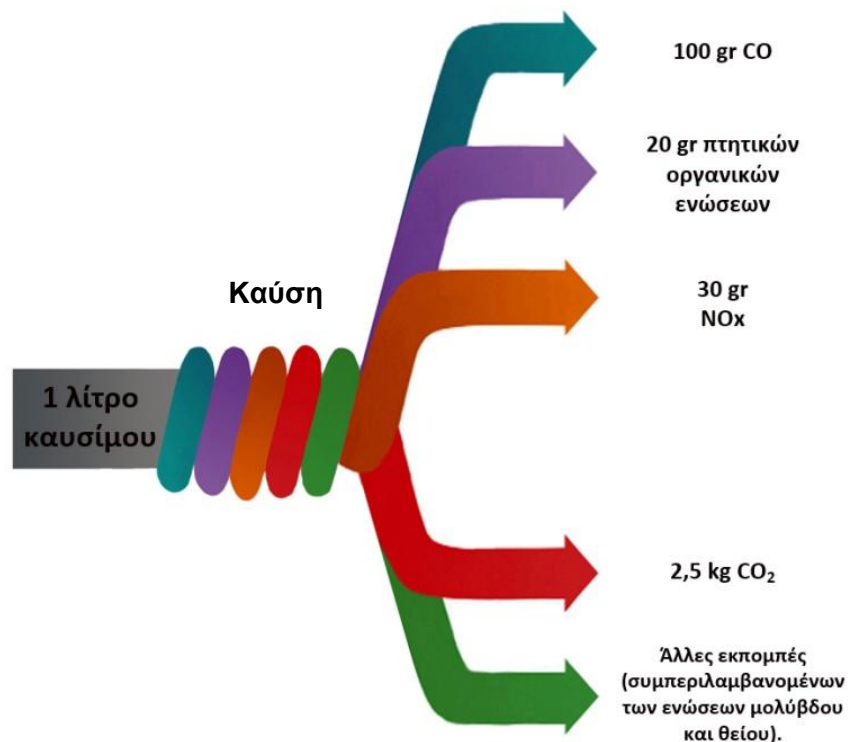
Από την αρχή της δεκαετίας του 1970 οι μεταφορές έχουν γίνει ο **κύριος καταναλωτής μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**, αφού οι σχετικές ανάγκες ικανοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά από τη χρήση πετρελαίου. Οποιαδήποτε προσπάθεια μέχρι σήμερα βελτίωσης της κατανάλωσης ενέργειας υπερφαλαγγίστηκε από την κατακόρυφη αύξηση του αριθμού των κυκλοφορούντων οχημάτων και άλλων μέσων μεταφοράς.

Οι μεταφορές είναι **σημαντικός παράγοντας εκπομπής ρύπων** στο περιβάλλον. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τις οδικές μεταφορές [7], αν και οι αντίστοιχες εκπομπές από τις εναέριες και θαλάσσιες μεταφορές δεν είναι καθόλου ευκαταφρόνητες (βλ. Κεφάλαιο 2, Εικόνα 7 και Εικόνα 8, σελ. 28 και 30 αντίστοιχα). Το γεγονός αυτό δικαιολογείται, εκτός των άλλων, λόγω της επικράτησης των οδικών μεταφορών έναντι των υπολοίπων ειδών μεταφοράς (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Κατανομή των μέσων μεταφοράς αγαθών στην Ευρώπη τα έτη 2000 (εσωτερικός δακτύλιος) και 2009 (εξωτερικός δακτύλιος) [8]

Οι σημαντικότερες εκπομπές ρύπων των μεταφορών, οι οποίες συντελούν στη εμφάνιση διαφόρων περιβαλλοντικών προβλημάτων, είναι τα οξείδια του αζώτου, οι υδρογονάνθρακες, το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα (Εικόνα 4) . Παράλληλα διαρροές πετρελαίου και άλλων χημικών συστατικών στο περιβάλλον τόσο από τα φορτηγά αυτοκίνητα όσο και από τα πλοία, ιδιαίτερα τα δεξαμενόπλοια, συντελούν σημαντικά στη μόλυνση των εδαφών, των ποταμών και των θαλασσών, και μάλιστα όχι μόνο σε περίπτωση ατυχημάτων αλλά και σε καθημερινή βάση από τη λειτουργία τους.



Εικόνα 4: Παραγόμενοι ρύποι από την καύση ενός λίτρου καυσίμου [9]

Τις τελευταίες δεκαετίες γίνονται συνεχείς προσπάθειες για τη μείωση των παραγόμενων από τις μεταφορές ρύπων. Σε αυτά τα πλαίσια, ο όρος «**αποτύπωμα άνθρακα**» γίνεται όλο και πιο δημοφιλής τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της αυξημένης ευαισθητοποίησης στα θέματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής. Ο όρος αυτός αναφέρεται στην ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από μια δραστηριότητα, ένα άτομο, έναν οργανισμό κτλ και αναλύεται διεξοδικότερα στο 2^ο Κεφάλαιο. Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο γραφικό σύμβολο του αποτυπώματος άνθρακα απεικονίζεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Γραφικό σύμβολο του αποτυπώματος άνθρακα [10]

Από τη μέχρι σήμερα εμπειρία έχει γίνει αντιληπτό ότι η περιβαλλοντική πρόκληση στον τομέα των μεταφορών δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί μόνο με προσπάθειες αλλαγής της συμπεριφοράς, με συστηματικές εκστρατείες ενημέρωσης ή με κανονιστικές διατάξεις, αλλά απαιτούνται και **οικονομικά μέτρα** τα οποία θα κατευθύνουν το σύστημα μεταφορών σε μια κατάσταση φιλικότερη για το περιβάλλον [11]. Σε αυτήν την κατεύθυνση η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εισάγει την εσωτερίκευση του εξωτερικού κόστους που επιφέρουν οι μεταφορές στην κοινωνία και στο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο προσπαθεί να μετριάσει το αυξημένο, σε πολλές περιπτώσεις, λειτουργικό κόστος των οικολογικά φιλικότερων συνδυασμένων μεταφορών¹ έναντι των οδικών, καθιστώντας τις μία βιώσιμη εναλλακτική, έχοντας γενικευμένο κόστος μικρότερο ή ίσο με αυτό των αμιγώς οδικών [12] ώστε να αυξηθεί η ανταγωνιστικότητα των δύο αυτών τρόπων μεταφοράς. Η προσπάθεια για την αναγέννηση των σιδηροδρόμων, ο περιορισμός των οδικών μεταφορών μέσω περιορισμών στο βάρος που μπορούν να μεταφέρουν και στην κυκλοφορία των φορτηγών οχημάτων συγκεκριμένες ώρες ή και ημέρες, η μείωση της επιτρεπόμενης ταχύτητάς τους καθώς και η περιορισμένη χωρητικότητα του εναέριου χώρου και ο

¹ Ο όρος **συνδυασμένες μεταφορές** αναφέρεται στις διατροπικές μεταφορές, στις οποίες το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής πραγματοποιείται σιδηροδρομικά ή μέσω ποτάμιας ή θαλάσσιας οδού και το αρχικό ή / και το τελικό σκέλος της μεταφοράς, που πραγματοποιείται οδικώς, είναι όσο το δυνατόν συντομότερο [13]. Ο όρος, ωστόσο, μπορεί να ερμηνευθεί διαφορετικά και να περιλαμβάνει διαφορετικά χαρακτηριστικά σε διαφορετικά μέρη του κόσμου. Οι διαφορές αυτές, σε μεγάλο βαθμό, εξαρτώνται από τη γεωγραφική θέση της κάθε χώρας, τη φύση των υποδομών της καθώς και τις αποστάσεις του μεταφορικού έργου. Τα βασικά στοιχεία τους, όμως, συναντώνται σε παγκόσμιο επίπεδο [14].

περιορισμός των πτήσεων κατά τις νυκτερινές ώρες είναι άλλα μέτρα που προωθούνται με στόχο την επανάκτηση της ισορροπίας όσον αφορά τη χρήση των διάφορων μέσων μεταφοράς και την ανάπτυξη της διατροφικότητας επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα μεγαλύτερη ασφάλεια, καλύτερη ποιότητα των μεταφορικών υπηρεσιών αλλά και αποτελεσματικότερη προστασία του περιβάλλοντος [15].

Παρόλο που στην Ευρώπη οι συνδυασμένες μεταφορές θεωρήθηκαν ως ένας **πιθανός δυνατός ανταγωνιστής των οδικών μεταφορών**, όντας και οικολογικά φιλικότερες από πολλές απόψεις, η εξέλιξή τους μέχρι σήμερα δεν έχει επιβεβαιώσει τις προσδοκίες αυτές αφού οι οδικές μεταφορές αποτελούν τον κύριο τρόπο διεξαγωγής των εμπορευματικών μεταφορών στην Ευρώπη με τις θαλάσσιες να ακολουθούν [16]. Κατά τη δεκαετία του 1990 οι ευρωπαϊκές εμπορευματικές συνδυασμένες μεταφορές παρουσίασαν σταθερή αύξηση του ετήσιου διακινούμενου όγκου τους από 119 σε περίπου 250 δισεκατομμύρια τονο-χιλιόμετρα και με αντίστοιχη αύξηση του μεριδίου αγοράς τους από 5% σε 9%. Αυτό οφειλόταν κυρίως στην ανάπτυξη των μεταφορών μέσω των δια-ευρωπαϊκών διαδρόμων (Trans-European corridors) των 900-1000 χιλιομέτρων που μετέφεραν το 10% του τονάζ (tonnage). Την ίδια περίοδο, σε διαδρόμους μικρότερου μήκους, 200-600 χιλιομέτρων, το μερίδιο αγοράς των συνδυασμένων μεταφορών ήταν μόλις 2% και 2-3% σε όρους όγκων εκφρασμένων σε τονο-χιλιόμετρα και τόνους αντίστοιχα. Πάρα τις προσπάθειες της ευρωπαϊκής κοινότητας, από το 1999 και έπειτα, το μερίδιο αγοράς δεν έχει αυξηθεί, κυρίως λόγω του μικρού βαθμού μοναδοποίησης στις χερσαίες συνδυασμένες μεταφορές, της υποβάθμισης της ποιότητας των υπηρεσιών των συνδυασμένων μεταφορών, της βελτίωσης της απόδοσης και της ποιότητας των οδικών μεταφορών [17], της έλλειψης των απαραίτητων υποδομών (τερματικών σταθμών μεταφόρτωσης, αναγκαίου μηχανολογικού εξοπλισμού, κτλ), της ανεπάρκειας του υπάρχοντος μεταφορικού δικτύου, κ.α..

1.2. Αντικείμενο και στόχος της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό του αποτυπώματος άνθρακα των σιδηροδρομικών συνδυασμένων μεταφορών και η σύγκρισή του με το αντίστοιχο των ισοδύναμων αμιγώς οδικών μεταφορών. Συγκεκριμένα, η εργασία στοχεύει στον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα των σιδηροδρομικών συνδυασμένων και

των οδικών μεταφορών, λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά της μεταφοράς και παραμέτρους που δεν συμπεριλαμβάνονται σε αντίστοιχες μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Τα στοιχεία αυτά αφορούν κυρίως το σιδηροδρομικό τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς στο οποίο λαμβάνονται υπόψη, εκτός των άλλων, περιορισμοί που τίθενται στη φόρτωση των φορταμαξών (οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα να μην εξαντλείται η μεταφορική τους ικανότητα) και ο απαιτούμενος αριθμός μηχανών έλξης ενώ οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν για διαφορετικά είδη μεταφερόμενων μονάδων και φορταμαξών καθώς και για διαφορετικά προφίλ κλίσεων και ταχύτητες του σιδηροδρομικού συρμού, βάσει του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπεμπόμενων ρύπων σιδηροδρομικού συρμού που αναπτύχθηκε για την εργασία αυτή.

Ακόμη, μέσω των αναλύσεων, που πραγματοποιήθηκαν, επιχειρείται να προσδιοριστεί η επιρροή των διαφόρων παραμέτρων του σιδηροδρομικού τμήματος της συνδυασμένης μεταφοράς στους συνολικούς εκπεμπόμενους ρύπους.

1.3. Διάρθρωση της εργασίας

Η ανάπτυξη του θέματος της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει, εκτός από το κεφάλαιο της Εισαγωγής, έξι ακόμη κεφάλαια. Το 2^ο Κεφάλαιο εισάγει τον αναγνώστη στις βασικές έννοιες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αναφέρεται συνοπτικά στα σημαντικότερα σημερινά περιβαλλοντικά προβλήματα, στους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους, τις πηγές και τις επιπτώσεις τους καθώς και στην έννοια του αποτυπώματος άνθρακα. Στο 3^ο Κεφάλαιο (Βιβλιογραφική επισκόπηση) παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μεθοδολογίες υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα από τις μεταφορές (πρότυπα και οδηγίες, υπολογιστικά εργαλεία, βάσεις δεδομένων). Στο 4^ο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία με την οποία προσεγγίστηκε το θέμα. Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται η εφαρμογή της μεθοδολογίας στη γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις. Στην συνέχεια, ακολουθεί μία σύνοψη των εξαχθέντων συμπερασμάτων (6^ο Κεφάλαιο) και στο τελευταίο κεφάλαιο προτείνονται αντικείμενα για περαιτέρω έρευνα.

2. Ατμοσφαιρική ρύπανση και αποτύπωμα άνθρακα

Ως **ατμοσφαιρική ρύπανση** ορίζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, σε συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα [18].

Γενικά, οι ρύποι που υπάρχουν στο περιβάλλον διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. **Πρωτογενείς** θεωρούνται οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας στο περιβάλλον από τις πηγές ρύπανσης, όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξειδία του αζώτου (NO_x), τα διάφορα σωματίδια (PM), ο μόλυβδος (Pb) και άλλα μέταλλα υπό μορφή χημικών ενώσεων και οι υδρογονάνθρακες. **Δευτερογενείς** θεωρούνται οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα με χημική αλληλεπίδραση των πρωτογενών ρύπων. Οι πιο γνωστοί δευτερογενείς ρύποι είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το όζον (O_3). Η συγκέντρωση των ρύπων στη ατμόσφαιρα συνήθως εκφράζεται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή σε ppm.

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Ο όρος φυσικές πηγές αναφέρεται στις πηγές εκπομπών αέριων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι κυριότερες από αυτές είναι η χλωρίδα της γης, οι ωκεανοί, τα ηφαίστεια καθώς και η καύση της βιομάζας-πυρκαγιές που προκαλούνται από φυσικά αίτια. Παρ' όλα αυτά, οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν εμφανιστεί. Τρεις είναι οι κυριότερες κατηγορίες ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης: η βιομηχανική δραστηριότητα (συμπεριλαμβανομένου και του τομέα παραγωγής ενέργειας), οι μεταφορές και οι κεντρικές θερμάνσεις [19].

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι η αιθαλομίχλη-χημικό νέφος των αστικών περιοχών (που αφορά περιοχές κοντά στις πηγές ρύπανσης), η όξινη βροχή, η αραίωση της στοιβάδας του όζοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου (που αφορούν περιοχές χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά των πηγών) [19].

✓ Αιθαλομίχλη –Χημικό νέφος

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στις σύγχρονες πόλεις προκαλείται από εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων τα οποία με την παρουσία του ηλιακού φωτός αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας την

φωτοχημική αιθαλομίχλη που συνδέεται κυρίως με εκπομπές από τροχοφόρα. Η φωτοχημική αιθαλομίχλη δεν σχετίζεται με την ατμοσφαιρική υγρασία και εμφανίζεται στις μεγαλουπόλεις σε περιόδους με αίθριο καιρό.

Αντίθετα, η βιομηχανική αιθαλομίχλη, που προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανάλωση καυσίμων υλών σε στάσιμες πηγές (σταθμοί παραγωγής ενέργειας, χυτήρια, κτλ.), συνδυάζεται συνήθως με υψηλή σχετική υγρασία (**Νέφος Αιθαλομίχλης**) και τα βασικά συστατικά της είναι τα οξειδία του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια [19].

✓ **Όξινη βροχή**

Η όξινη βροχή δημιουργείται εξαιτίας αερίων, όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξειδία του αζώτου, τα οποία μετατρέπονται σε οξέα με την παρουσία υδρατμών και επιστρέφουν στο έδαφος με την μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (χιόνι, βροχή, χαλάζι).

Υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν φυτά και υδάτινους πόρους (τα υδάτινα οικοσυστήματα δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας). Επίσης, η όξινη απόθεση διαβρώνει τα υλικά και καταστρέφει ιστορικά αλλά και σύγχρονα κτίρια και μνημεία σε πολλές πόλεις στον κόσμο.

Ο έλεγχος της όξινης απόθεσης είναι ένα δύσκολο πολιτικό πρόβλημα επειδή αυτοί που επηρεάζονται από τη βροχή είναι πολλές φορές πολύ μακριά από αυτούς που την προκαλούν. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας μπορούν να ελέγχονται οι εκπομπές θείου (χρήση φίλτρων στις καμινάδες, καύσεις ρευστοποιημένων καυσίμων με μικρή περιεκτικότητα σε θείο, κ.α.) και οι εκπομπές αζώτου (χρήση καταλυτικών μετατροπών στα αυτοκίνητα, κ.α.), αλλά υπάρχουν αντιδράσεις λόγω του υψηλού κόστους [19].

✓ **Αραίωση της στοιβάδας του όζοντος**

Το 90% του στρώματος του όζοντος βρίσκεται σε ύψος μεταξύ 19 και 23 km από την επιφάνεια του εδάφους και περιβάλλει την γη εδώ και τρία περίπου δισεκατομμύρια χρόνια. Η διατήρησή του οφείλεται στην εξισορρόπηση των μηχανισμών παραγωγής με τους μηχανισμούς καταστροφής του.

Οι αλλαγές στα επίπεδα του στρατοσφαιρικού όζοντος οφείλονται τόσο σε φυσικούς όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Παραδείγματα φυσικών παραγόντων που επηρεάζουν τα επίπεδα όζοντος είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις

καθώς και οι περιοδικές αλλαγές της διεύθυνσης του ανέμου στην περιοχή του Ισημερινού. Το σημαντικότερο ρόλο, όμως, παίζουν κάποιες αδρανείς χημικές ενώσεις όπως τα CFCs (χλωροφθοράνθρακες), τα halons, ο τετραχλωράνθρακας και το μεθυλικό χλωροφόρμιο. Οι ενώσεις αυτές αιωρούνται στον αέρα για μεγάλο χρονικό διάστημα και σιγά σιγά μεταφέρονται στην στρατόσφαιρα όπου και καταστρέφουν τον προστατευτικό μανδύα του όζοντος. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές των ενώσεων αυτών είναι η βιομηχανική και η οικιακή ψύξη, τα καθαριστήρια, οι συσκευές κλιματισμού στα κτήρια και τα οχήματα, μερικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατάσβεση πυρκαγιών και προϊόντα από αφρώδες πλαστικό.

Ο μεγάλος χρόνος παραμονής αυτών των ενώσεων στην ατμόσφαιρα τους δίνει την δυνατότητα να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις όχι μόνο οριζόντια αλλά και κατακόρυφα, και να διεισδύσουν τελικά μέσα στη στρατόσφαιρα. Εκεί, λόγω της έκθεσής τους στην έντονη υπεριώδη ακτινοβολία, απελευθερώνουν άτομα βρωμίου και χλωρίου τα οποία αντιδρούν με το όζον και το διασπούν.

Το όζον απορροφά έντονα την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς της γης από την έκθεσή τους στην καταστρεπτική αυτή ακτινοβολία. Αυξημένη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές βλάβες στα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο όπως διαταραχές στο γενετικό υπόβαθρο, καρκίνο του δέρματος, καταρράκτη στους οφθαλμούς και εξασθένηση του ανθρώπινου ανοσοποιητικού συστήματος [19].

✓ Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα γεωφυσικό φαινόμενο με ευεργετικά αποτελέσματα στο κλίμα της γης. Είναι ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν περίπου κατά 35⁰C χαμηλότερη, δηλαδή περίπου -20⁰C αντί για +15⁰C που είναι σήμερα και η ύπαρξη ζωής θα ήταν αδύνατη, τουλάχιστον με τη σημερινή της μορφή.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, επομένως, στις φυσικές του διαστάσεις, δεν είναι επιβλαβές, αντίθετα είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών του πλανήτη. Η απειλή προέρχεται από την υπερβολή του φαινομένου, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων. Έχει εξακριβωθεί ότι ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας (γνωστά και ως *αέρια του θερμοκηπίου*), επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στη γη, ενώ

αντίθετα απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (η οποία διαφορετικά θα χανόταν στο διάστημα) από τα συγκεκριμένα αέρια, ονομάζεται *φαινόμενο του θερμοκηπίου* (Εικόνα 6). Το φυσικό επακόλουθο της αύξησης των εκπομπών των αερίων αυτών από τον άνθρωπο είναι η ενίσχυση του φαινομένου και συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη [20].



Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου [20]

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Kyoto (1997), σε μία προσπάθεια περιορισμού του φαινομένου, τα ανεπτυγμένα κράτη δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις συνολικές εκπομπές ρύπων. Ο στόχος αυτός αναφέρεται σε έξι αέρια (διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μεθάνιο (CH_4), υποξείδιο του αζώτου (N_2O), υδροφθοράνθρακες (HFC), υπερφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (PFC), εξαφθοριούχο θείο (SF_6)) [21].

Οι υδρατμοί έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παρ' όλα αυτά, η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για το λόγο αυτό, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται μόνο στα αέρια εκείνα των οποίων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυξάνονται σημαντικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης. Τα κυριότερα

αέρια που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου **από ανθρωπογενείς πηγές**, καθώς και ο βαθμός συνεισφοράς τους φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 1), ενώ το κάθε αέριο ξεχωριστά αναλύεται στη συνέχεια.

Πίνακας 1: Αέρια του θερμοκηπίου και ο βαθμός συνεισφοράς τους στο φαινόμενο [20]

Αέριο	Συνεισφορά (%)
Διοξείδιο του άνθρακα	50-60
Χλωροφθοράνθρακες	15-25
Μεθάνιο	12-20
Υποξείδιο του αζώτου	5
Όζον και άλλα αέρια	11

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, εκτός από τις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη του φαινομένου παίζει και η συνεχής εκτεταμένη καταστροφή των τροπικών δασών τα οποία έχουν σημαντική συμβολή στην ισορροπία των κυριοτέρων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα μέσω της δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα κατά τη φωτοσύνθεση και της ρύθμισης της ποσότητας των υδρατμών στην ατμόσφαιρα [20].

2.1. Ατμοσφαιρικοί ρύποι

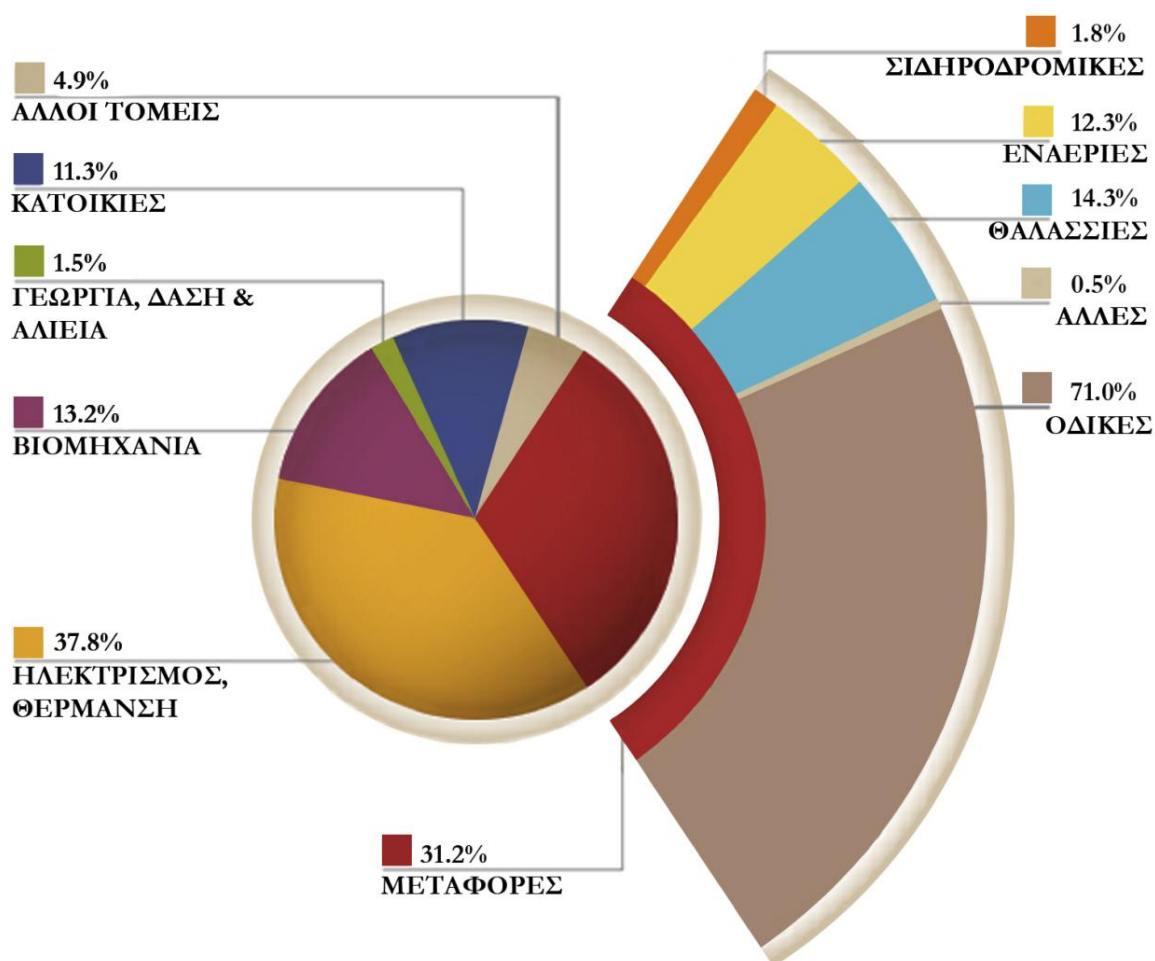
Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, τα βασικά χαρακτηριστικά τους και οι κυριότερες πηγές εκπομπής τους.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο και μη τοξικό. Δεν θεωρείται ρύπος. Όμως, η έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να επηρεάσει την αναπνευστική λειτουργία [22].

Η συνεισφορά του διοξειδίου του άνθρακα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι καταλυτική. Εκλύεται άμεσα στην ατμόσφαιρα από τη χρήση ορυκτών καυσίμων (Εικόνα 7) και έμμεσα από την εκχέρωση δασικών εκτάσεων. Τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εκτιμάται ότι αυξάνονται κατά 0,4 – 0,5% ανά έτος. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, αν συνεχιστεί ο ίδιος ρυθμός αύξησης των καύσεων στον πλανήτη, η συγκέντρωση του CO₂ το έτος 2030 θα έχει διπλασιαστεί.

Μία τέτοια αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ πιθανολογείται ότι θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 – 5 °C. Όμως, ακόμη και αν σταματήσει η αυξανόμενη εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, η αποκατάστασή του στα επιθυμητά επίπεδα θα καθυστερήσει πολύ. Σημειώνεται ότι το διοξείδιο του άνθρακα έχει χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα 5 - 7 χρόνια.



Εικόνα 7: Εκπομπές CO₂ από καύση ορυκτών καυσίμων ανά τομέα [8]

Η **πρόβλεψη** της εξέλιξης των συγκεντρώσεων του CO₂ στο μέλλον είναι **δύσκολη** και εξαρτάται από την ικανότητα εκτίμησης της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που θα καταναλωθούν κατά τα επόμενα έτη και του ποσοστού του εκπεμπόμενου CO₂ που θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα. Αν η παγκόσμια κατανάλωση καυσίμων συνεχιστεί με τον ίδιο ρυθμό, εκτιμάται ότι θα παρατηρείται αύξηση του CO₂ κατά περίπου 4% ανά δεκαετία. Συγχρόνως, όμως, αναμένεται μία ελάττωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων σαν συνέπεια της αυξανόμενης

χρήσης των ήπιων μορφών ενέργειας. Σημαντική, επίσης, είναι και η επίδραση των ωκεανών στα επίπεδα του CO₂. Οι ωκεανοί λειτουργούν σαν μια τεράστια αποθήκη CO₂, το οποίο δεσμεύεται από το φυτοπλαγκτόν κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Μια αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας (λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου) ενδέχεται να οδηγήσει σε αύξηση του φυτοπλαγκτού και κατά συνέπεια σε αύξηση της δέσμευσης του ατμοσφαιρικού CO₂. Παρόλα αυτά, δεν αναμένεται ο ρυθμός αύξησης του CO₂ στην ατμόσφαιρα να γίνει μικρότερος από 2% ανά δεκαετία, για τις πρώτες δεκαετίες του 21^{ου} αιώνα [20].

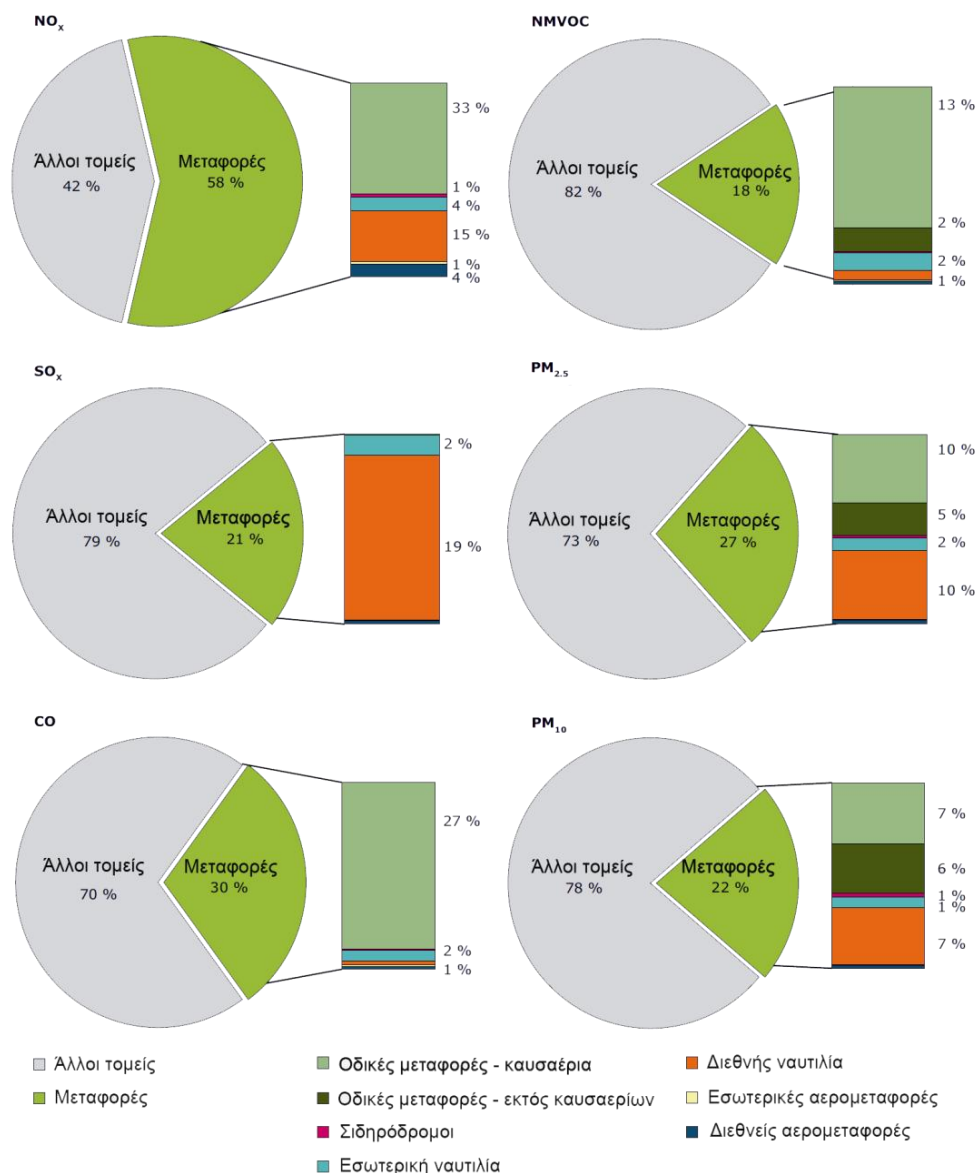
Όζον (O₃)

Το όζον είναι αέριο, άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή. Συμμετέχει στα πλέον γνωστά προβλήματα ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα, όπως στο φωτοχημικό νέφος, στην αραιώση της στοιβάδας του όζοντος και στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το όζον είναι, επίσης, ισχυρότατο οξειδωτικό μέσο (π.χ. για το σχηματισμό της όξινης βροχής οξειδώνει το SO₂ σε H₂SO₄) [23].

Το όζον κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι ένας ρύπος που συνδέεται με το φωτοχημικό νέφος σε αστικά κέντρα και γύρω από αυτά, όπου μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα στον άνθρωπο και την φύση, όταν ξεπεραστούν κάποιες οριακές τιμές.

Στην τροπόσφαιρα το όζον είναι δευτερογενής ρύπος ο οποίος παράγεται με διάφορες χημικές αντιδράσεις μεταξύ του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών. Μεταξύ των ανθρωπογενών πηγών εκπομπής πρόδρομων ουσιών του όζοντος (VOCs και NO_x) είναι και τα οχήματα.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος παγκοσμίως ευθύνεται για το 1/3 περίπου της αύξησης του CO₂ το οποίο είναι το βασικό αέριο που εντείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου από τα προβιομηχανικά χρόνια έως σήμερα [24].



Εικόνα 8: Ποσοστά εκπομπών διάφορων ρύπων από τις μεταφορές [25]

Οξειδία του αζώτου (NO_x)

Είναι ενώσεις του αζώτου με οξυγόνο. Υπάρχουν επτά οξειδία του αζώτου από τα οποία τα τρία N₂O, NO και NO₂ συναντώνται στην ατμόσφαιρα σε μεγάλες συγκεντρώσεις και από αυτά μόνο τα NO, NO₂ είναι τοξικά.

Το **υποξείδιο του αζώτου (N₂O)** είναι ένα αέριο άχρωμο και σχετικά αδρανές. Χρησιμοποιείται ως προωθητικό αέριο στις φιάλες αεροζόλ σπρέι [22]. Ακόμη, παράγεται από βακτηριακή δράση στο νερό και το χώμα, από τη διάσπαση αζωτούχων λιπασμάτων και από την καύση των ορυκτών καυσίμων ως υποπροϊόν. Κάθε χρόνο τα επίπεδά του αυξάνονται κατά 0,25 – 0,4%, ενώ μπορεί να παραμείνει

στην ατμόσφαιρα μέχρι 170 χρόνια. Είναι μη τοξικό αέριο αλλά η συνεισφορά του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι περίπου 4 – 6% [20].

Το **μονοξείδιο του αζώτου (NO)** είναι άχρωμο και παράγεται με καύση των ορυκτών καυσίμων σε αυτοκίνητα, σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε κεντρικές θερμάνσεις (πρωτογενής ρύπος). Σε υψηλές θερμοκρασίες, μεγαλύτερες των 1000°C, μετατρέπεται σε NO₂. Τα αυτοκίνητα αποτελούν το 50% των ανθρωπογενών πηγών του NO. Με διάφορες χημικές αντιδράσεις που ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας και του όζοντος, μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου (NO₂) [19].

Το **διοξείδιο του αζώτου (NO₂)** είναι αέριο διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή και χρώμα κόκκινο-κίτρινο-καστανό. Σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα του στην όψη του ουρανού στις αστικές περιοχές. Σχηματίζεται με καύση ορυκτών καυσίμων σε υψηλές θερμοκρασίες και με φωτοχημική οξείδωση του NO (δευτερογενής ρύπος) [22].

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Στην ατμόσφαιρα το SO₂ αντιδρά για να σχηματίσει SO₃ το οποίο εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη θειικού οξέος, φαινόμενο που απαντάται στην όξινη βροχή η οποία αποτελεί παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, τη βλάστηση και τα οικοσυστήματα.

Κυριότερες **ανθρωπογενείς πηγές προέλευσης** του διοξειδίου του θείου είναι οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, οι χημικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι κεντρικές θερμάνσεις και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο συνήθως σε ποσότητες 0-6% κ.β., υπό μορφή οργανικών μορίων που όταν καίγονται παράγουν SO₂. Στο ντήζελ κίνησης και θέρμανσης λαμβάνεται πρόνοια, για περιβαλλοντικούς λόγους, ώστε ύστερα από κατάλληλη αποθείωση, να περιέχεται θείο λιγότερο από 0,3% ενώ στη βενζίνη λιγότερο από 0,05% [19].

Μονοξειδίο του άνθρακα (CO)

Το μονοξειδίο του άνθρακα είναι αέριο άοσμο, άχρωμο, άγευστο, ελαφρύτερο του αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Οξειδώνεται από την ελεύθερη ρίζα του OH σε CO₂, έχοντας χρόνος ζωής 2-4 μήνες, και παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία του τροποσφαιρικού όζοντος. Είναι πολύ τοξικό για τους ανθρώπους και τα ζώα σε υψηλές συγκεντρώσεις, παρ' όλο που παράγεται σε μικρές ποσότητες από τον κανονικό ζωικό μεταβολισμό και θεωρείται ότι συμμετέχει σε κάποιες φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες.

Κυριότερες πηγές προέλευσής του είναι οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση και ιδιαίτερα οι εξατμίσεις αυτοκινήτων σε κλειστούς χώρους στάθμευσης και σε οδούς κατά τις ώρες κυκλοφοριακής αιχμής. Τα αυτοκίνητα αποτελούν περίπου το 75% των ανθρωπογενών πηγών \ του μονοξειδίου του άνθρακα ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία το υπόλοιπο 25%. Η σημαντικότερη φυσική πηγή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η οξειδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου [19].

Εξαφθοριούχο Θείο (SF₆)

Αν και είναι αέριο μη τοξικό, ακίνδυνο και βρίσκεται ακόμη σε πολύ χαμηλά επίπεδα στην ατμόσφαιρα (στο σύνολό του θεωρείται ανθρωπογενούς προέλευσης), λόγω της μεγάλης δυναμικότητάς του ως «αέριο θερμοκηπίου» καταβάλλονται προσπάθειες να μειωθούν οι χρησιμοποιούμενες ποσότητές του.

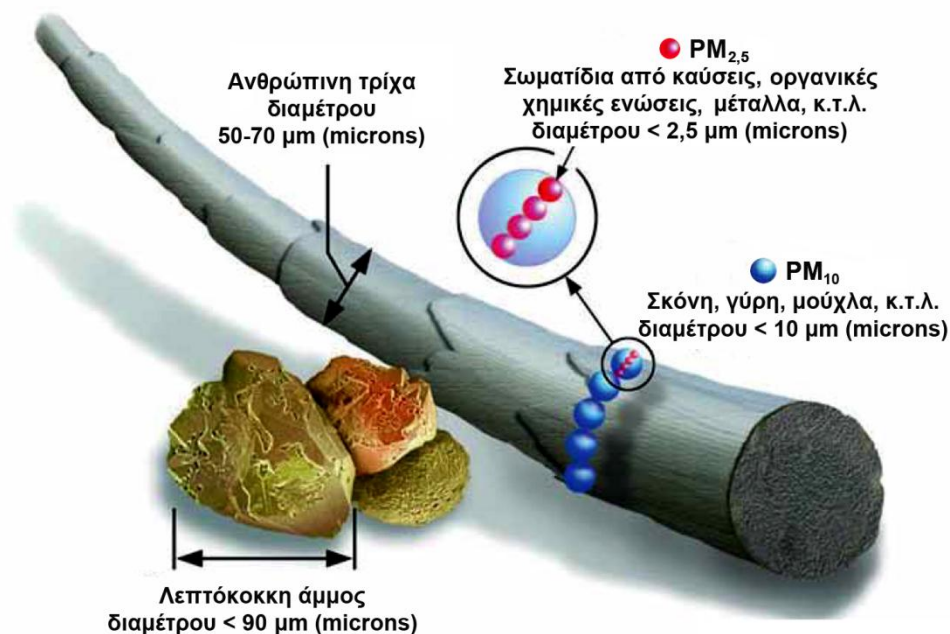
Σχεδόν το 80% της παραγωγής του χρησιμοποιείται για διάφορες ηλεκτρικές εφαρμογές. Το SF₆ ως αέριο υπό πίεση χρησιμοποιείται ως μονωτικό στους υποσταθμούς με μόνωση αερίου (gas insulated switchgear), επειδή έχει πολύ πιο μεγάλη διηλεκτρική σταθερά από τον αέρα, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη διάσπασή του υπό την επίδραση ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου. Με το SF₆ καθίσταται δυνατή η κατασκευή ηλεκτρικών συσκευών ελέγχου υψηλών τάσεων (διακοπών, μετασχηματιστών, κλπ) μικρού σχετικά μεγέθους, κατάλληλων για κλειστούς χώρους, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα συστήματα εξωτερικών χώρων που μονώνονται με αέρα και επομένως καταλαμβάνουν πολύ μεγαλύτερο χώρο. Μια άλλη πρακτική εφαρμογή του είναι η χρησιμοποίησή του ως ουσία αντίθεσης (contrast agent) κατά τη λήψη υπερηχογραφημάτων. Χρησιμοποιείται, επίσης, ευρύτατα στους διπλούς θερμομονωτικούς υαλοπίνακες κατοικιών και άλλων κτηρίων. Λόγω της μικρής θερμικής αγωγιμότητάς του, παρεμβάλλεται στο κενό

ανάμεσα στους δύο υαλοπίνακες με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλότερης θερμομόνωσης [26].

Αιωρούμενα Σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Εικόνα 9). Ανάλογα με την προέλευση τους μπορούν να παρουσιάζουν ανομοιογένεια στη μορφή, στο μέγεθος και στη χημική τους σύσταση. Τα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση τους χαρακτηρίζονται ως:

- Σκόνη (από 1 μm μέχρι μερικές εκατοντάδες μm)
- Καπνός (<1 μm)
- Αεροζόλ οργανικά και ανόργανα σταγονίδια (<2,5 μm)



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση για την κατανόηση του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων [27]

Ο χρόνος ζωής των σωματιδίων είναι αντιστρόφως ανάλογος με το μέγεθός τους. Συνεπώς, τα μεγάλα σωματίδια έχουν χρόνο ζωής μερικές ώρες ενώ τα μικρά σωματίδια μερικές ημέρες.

Η χημική τους σύσταση εξαρτάται από τη προέλευσή τους και μπορεί να αποτελούνται από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), οξείδια πυριτίου, σιδήρου και αργιλίου (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3), θειικά, νιτρικά, φωσφορικά άλατα, μέταλλα, άνθρακα

(αιθάλη) και μεγάλου μοριακού βάρους χημικές ενώσεις. Στην ατμόσφαιρα αιωρούνται σωματίδια μικρότερα από 10 μm και μεταφέρονται με τον άνεμο σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο εκπομπής, ενώ τα μεγαλύτερα καθιζάνουν κοντά στα σημεία εκπομπής.

Οι **κυριότερες πηγές** εκπομπής αιωρουμένων σωματιδίων είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, τα οχήματα, οι πυρκαγιές, διάφορες γεωργικές δραστηριότητες, οι κατασκευές, η επαναιώρηση σκόνης λόγω ισχυρών ανέμων κλπ. Η συμμετοχή των οχημάτων οφείλεται στην καύση του καυσίμου, στη φθορά των ελαστικών και στην επαναιώρηση [22].

Υδρογονάνθρακες (HCs ή VOCs)

Αναφέρονται και ως Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs). Έχουν γενικό χημικό τύπο C_xH_y . Στην ατμόσφαιρα έχουν ανιχνευτεί πάνω από 60 είδη υδρογονανθράκων. Πολλοί από αυτούς σχηματίζονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα. Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν βασικό συντελεστή δημιουργίας του φωτοχημικού νέφους [22].

Διακρίνονται σε μη μεθανιούχους υδρογονάνθρακες (NMVOCs) και στο μεθάνιο (CH_4).

Μεθάνιο (CH_4)

Εκτιμάται ότι το μεθάνιο αυξάνεται κάθε χρόνο κατά 1 – 2%, ως αποτέλεσμα της ολοένα αυξανόμενης κατανάλωσης τροφίμων από τους κατοίκους των ανεπτυγμένων περιοχών του πλανήτη. Έχει χρόνο ζωής 10 χρόνια και το ποσοστό συνεισφοράς του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εκτιμάται ότι είναι 12 – 20% [20].

Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται οι εκπομπές από τους χώρους απόθεσης απορριμμάτων κατά τη βακτηριακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης (συμμετοχή: 24%), από τις απώλειες φυσικού αερίου (23%), από την εντερική ζύμωση τροφών ζώων (21%), από ανθρακωρυχεία (10%), από την παραγωγή – επεξεργασία του πετρελαίου (7%), από τη διαχείριση ζωικών λιπασμάτων (7%), από την επεξεργασία λυμάτων (7%) και από άλλες πηγές. Όσον αφορά τις φυσικές πηγές, οι κυριότερες από αυτές είναι οι υδρότοποι (76%), οι ωκεανοί (8%), οι τερμίτες (11%) και άλλες (5%) [28].

Από τους μη μεθανιούχους υδρογονάνθρακες, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στους Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) επειδή έχουν σημαντική συμβολή στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες

Οι ΠΑΥ είναι μια τάξη ενώσεων ανθρωπογενούς και φυσικής προέλευσης. Γενικά, αναμένεται παραγωγή ΠΑΥ σε κάθε περίπτωση ατελούς καύσης οργανικής ύλης. Οι κυριότερες φυσικές πηγές εκπομπών ΠΑΥ είναι οι δασικές πυρκαγιές και η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Ωστόσο, οι ανθρωπογενείς πηγές ΠΑΥ είναι πολύ περισσότερες και σ' αυτές περιλαμβάνονται η, για κάθε σκοπό, καύση πετρελαίου και των προϊόντων του, διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες (διύλιση πετρελαίου, παραγωγή κωκ, χαλυβουργία, παραγωγή αλουμινίου) και η αποτέφρωση απορριμμάτων. ΠΑΥ παράγονται, ακόμη, εκεί όπου γίνεται χρήση προϊόντων πίσσας (πεζοδρομίων, χώρων στάθμευσης, κ.α.).

Όταν οι ΠΑΥ απελευθερωθούν στο περιβάλλον προσκολλώνται στα αιωρούμενα σωματίδια και μεταφέρονται σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Λόγω της πορώδους φύσης των σωματιδίων, σε αυτά προσροφώνται και εγκλωβίζονται και άλλες τοξικές χημικές ουσίες (π.χ. ενώσεις τοξικών μετάλλων, νιτροζαμίνες, διοξίνες, κ.λπ.). Οι ΠΑΥ μπορούν εξατμισθούν σχετικά εύκολα από το νερό και τα εδάφη.

Μπορούν, ακόμη, να διασπαστούν με τη συνδυασμένη επίδραση του ηλιακού φωτός και του οξυγόνου ή άλλων οξειδωτικών παραγόντων, όπως το όζον, το διοξείδιο του αζώτου και οι ρίζες OH σε περίοδο λίγων ημερών [29].

Το βενζόλιο (C_6H_6) είναι ένας από τους πιο σημαντικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες και είναι φυσικό συστατικό του αργού πετρελαίου (1-5%). Είναι ένα εξαιρετικά εύφλεκτο υγρό με χαρακτηριστική οσμή "βενζίνης" και αρκετά πτητικό. Η καρκινογόνος και μεταλλαξιογόνος δράση του βενζολίου, γνωστή εδώ και πολλές δεκαετίες, καθιστά επικίνδυνη τη μακροχρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις ατμών του σε εργασιακούς χώρους. Ωστόσο, χρησιμοποιείται ευρύτατα ως βιομηχανικός διαλύτης καθώς και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πλήθους ενώσεων (πλαστικών, ελαστικών, χρωμάτων, φαρμάκων). Προστίθεται σε μικρές αναλογίες στα καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης για να βελτιώσει την ποιότητά τους (αύξηση του αριθμού οκτανίων), ιδιαίτερα μετά την κατάργηση του αντικροτικού τετρααιθυλιούχου μολύβδου, που δεν ήταν πλέον συμβατός με τους τριοδικούς καταλύτες καθαρισμού των καυσαερίων [30].

Μόλυβδος, Αρσενικό, Κάδμιο και Νικέλιο

Είναι μέταλλα τα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, κυρίως στα σωματίδια, είτε υπό στοιχειακή μορφή είτε υπό μορφή ενώσεων (οξειδίων, θειικών ή θειούχων αλάτων) [18].

Ο Μόλυβδος (Pb) είναι πολύ τοξικός ρύπος. Η κύρια πηγή του στη ατμόσφαιρα ήταν η χρήση της βενζίνης Super. Χρησιμοποιούταν στη βενζίνη ως πρόσθετο υπό μορφή $Pb(CH_3)_4$, $Pb(C_2H_5)_4$ για τη βελτίωση του αριθμού των οκτανίων (αντικροτικό). Στην ατμόσφαιρα εκλυόταν υπό μορφή ενώσεων $PbCl_2$, $PbBr_2$, Pb, PbO κλπ. Λόγω τοξικότητας η χρήση του είναι περιορισμένη [22]. Με τη αλλαγή της σύστασης του στόλου των αυτοκινήτων και με τη χρήση της αμόλυβδης βενζίνης παρουσιάζεται σημαντική μείωση στις συγκεντρώσεις του [19].

Η αμόλυβδη σαν αντικροτικό πρόσθετο χρησιμοποιεί σε αντικατάσταση του μολύβδου κυρίως κυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, όπως το βενζόλιο, οι οποίες είναι οι περισσότερες επιβλαβείς για την υγεία. Ωστόσο, οι νέοι κινητήρες με αισθητήρες και ειδικούς καταλύτες ουσιαστικά εξομοιώνουν τα καυσαέρια μιας τέλει καύσης και τους διασπούν σε απλούστερες ενώσεις όπως το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα [31].

Το αρσενικό εκπέμπεται κυρίως υπό μορφή οξειδίων από χυτήρια και εργοστάσια παραγωγής παρασιτοκτόνων αρσενικού και από την καύση καυσίμων.

Το κάδμιο εκπέμπεται από τις διαδικασίες παραγωγής μολύβδου, ψευδαργύρου, χαλκού, σιδήρου ή χάλυβα με τη μορφή θειούχων ή θειικών αλάτων. Επίσης, παράγεται από την καύση καυσίμων, υπό τη μορφή οξειδίων ή στοιχειακή μορφή, αλλά και από την καύση απορριμμάτων υπό τη μορφή χλωριούχων αλάτων.

Το νικέλιο, παράγεται από την καύση καυσίμων και από μεταλλουργικές εργασίες παραγωγής χάλυβα. Χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία ως καταλύτης.

Επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων στον άνθρωπο

Οι βλαβερές επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στους ανθρώπους είναι ο βασικότερος λόγος των προσπαθειών που καταβάλλονται για την πλήρη κατανόηση και τον έλεγχο των πηγών εκπομπής των διαφόρων αερομεταφερόμενων ρύπων.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το 2012, 8 εκατομμύρια θάνατοι οφείλονταν στη ρύπανση του αέρα (εκ των οποίων 3,7 εκατομμύρια αποδίδονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση και οι υπόλοιποι (4,3 εκατομμύρια) στην ρύπανση εσωτερικών χώρων) [32].

Αναλυτικά για τους σημαντικότερους ρύπους και τις επιπτώσεις τους στην υγεία και την ευεξία του ανθρώπου είναι γνωστά τα εξής:

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Είναι γενικά αέριο αποπνικτικό. Επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και υγρασία. Εισπνεόμενο προκαλεί ερεθισμό του βλεννογόνου, του ρινοφάρυγγα, του λάρυγγα και των βρόγχων. Σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να προκληθεί σπασμός του λάρυγγα και πνευμονικό οίδημα [19].

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Εμφανίζει μεγάλη τάση να ενωθεί με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και να σχηματίσει ανθρακοξυ-αιμοσφαιρίνη. Η ένωση αιμοσφαιρίνη –CO είναι 245 φορές πιο σταθερή από την αντίστοιχη με οξυγόνο ελαττώνοντας έτσι την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει ικανή ποσότητα οξυγόνου στους ιστούς με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συμπτώματα ανοξίας. Επίσης, επηρεάζεται το κεντρικό νευρικό σύστημα, αρχίζοντας από κεφαλαλγίες και αναπνευστικές δυσκολίες και μπορεί να φτάσει μέχρι το θάνατο. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, απώλεια προσανατολισμού και σε ακραίες περιπτώσεις σε απώλεια των αισθήσεων και θάνατο [19].

Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Φαίνεται να ασκεί παράλληλη δράση με το διοξείδιο του θείου αλλά εντονότερη. Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου προκαλούν έντονο ερεθισμό του τραχειοβρογχικού βλεννογόνου και του αναπνευστικού επιθηλίου. Χαρακτηριστικό για τους νιτρώδεις ατμούς είναι ότι αν η συγκέντρωσή τους δεν είναι πολύ μεγάλη τα συμπτώματα από την εισπνοή δεν είναι άμεσα αλλά εμφανίζονται μετά από μερικές ώρες [19].

Όζον (O₃)

Είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο. Η παρουσία του στην στρατόσφαιρα, όπως ήδη αναφέρθηκε, συμβάλει αποφασιστικά στην προστασία των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών από την υπεριώδη ακτινοβολία. Αντίθετα, στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας το όζον αποτελεί ένα ισχυρό και ερεθιστικό ρύπο ο οποίος βλάπτει την ανθρώπινη υγεία, τις αγροτικές καλλιέργειες και το φυσικό περιβάλλον. Προκαλεί ελάττωση των πνευμονικών λειτουργιών, βήχα, δύσπνοια και άσθμα. Έκθεση του ατόμου σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις (>9 ppm) μπορεί να προκαλέσει ζάλη, εμετούς κ. ά. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το όζον είναι η δεύτερη μεγαλύτερη αιτία των πνευμονικών νοσημάτων μετά από τα μικρά σωματίδια από το κάπνισμα (ενεργητικό και παθητικό), τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων και την καύση του ξύλου [19].

Αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀)

Οι επιδράσεις στην υγεία εξαρτώνται πολύ από το μέγεθος των σωματιδίων και τη σύστασή τους. Όσο μικρότερα σε μέγεθος είναι τα σωματίδια τόσο βαθύτερα εισχωρούν στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Γενικά, σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10μm δεν εισχωρούν στο αναπνευστικό σύστημα. Τα μικρότερα από 10μm σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό [18]. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν βρογχίτιδες, ερεθισμό των ματιών, δερματικές παθήσεις ακόμη και θάνατο, ιδιαίτερα όταν οι αιωρούμενες ουσίες είναι τοξικές [19].

Πολυκυκλικόι Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες

Ορισμένοι από τους Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες και κυρίως το βενζο(α)πυρένιο και το βενζόλιο έχουν χαρακτηριστεί ως καρκινογόνες ενώσεις [18].

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs)

Τα VOCs προκαλούν ερεθισμούς στο δέρμα και στα μάτια, χρόνια κόπωση, πονοκεφάλους κ.λ.π. όταν γίνει χρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις τους. Ένας μεγάλος αριθμός περιπτώσεων λευχαιμίας αποδίδεται στο βενζόλιο. Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες έχουν επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα, προκαλούν ερεθισμούς

των ματιών, της μύτης και των πνευμόνων καθώς και βλάβες στο δέρμα, στο ήπαρ και στα νεφρά. Η δράση τους είναι συνδυαστική με αποτέλεσμα οι βλάβες να είναι αθροιστικές και σοβαρότερες [19].

Μόλυβδος (Pb), Αρσενικό (As), Κάδμιο (Cd) και Νικέλιο (Ni)

Τα μέταλλα αυτά επιδρούν στην υγεία κυρίως μέσω της τροφικής αλυσίδας, εάν έχει μολυνθεί, και λιγότερο με την εισπνοή.

Ο μόλυβδος προκαλεί κυρίως αναιμία. Το αρσενικό επιδρά κυρίως στο ανώτερο αναπνευστικό και στο καρδιαγγειακό σύστημα. Είναι, επίσης, πιθανόν να προκαλεί καρκίνο στους πνεύμονες. Το κάδμιο επιδρά κυρίως στα νεφρά ενώ έχει χαρακτηριστεί και ως καρκινογόνος ουσία. Το νικέλιο δεν θεωρείται καρκινογόνο αλλά είναι πιθανόν να προκαλεί δερματικές παθήσεις.

2.2. Αποτύπωμα άνθρακα

Ο όρος «**αποτύπωμα άνθρακα**» αναφέρεται στη συνολική ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο από ένα άτομο, μια οικογένεια, ένα κτήριο, έναν οργανισμό, μία δραστηριότητα ή μία εταιρεία. Περιλαμβάνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται τόσο από τα καύσιμα που καίγονται άμεσα π.χ. για τη θέρμανση ενός σπιτιού ή για την κίνηση ενός οχήματος, κτλ, όσο και τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά την παραγωγή των προϊόντων ή των υπηρεσιών που το άτομο, η οικογένεια, ο οργανισμός κτλ χρησιμοποιεί, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από τα εργοστάσια που παράγουν προϊόντα, καθώς και από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων [33].

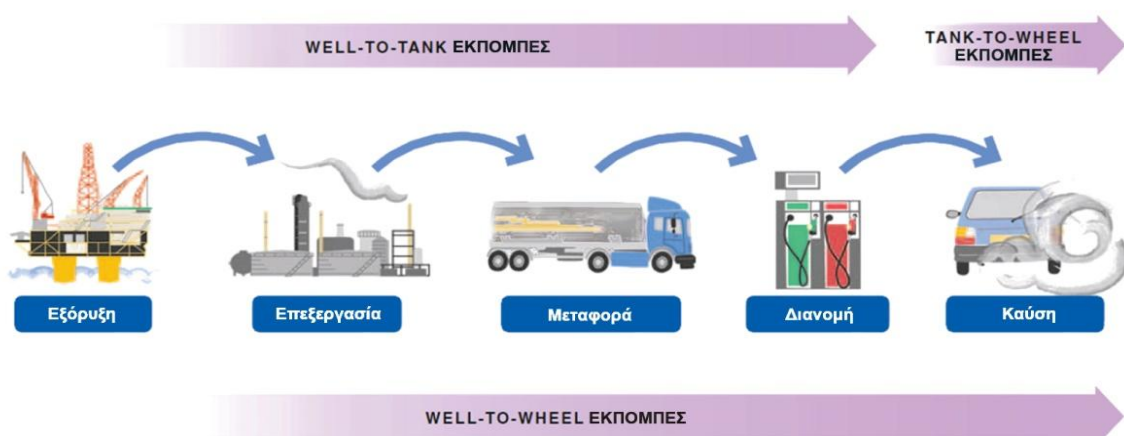
Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλά διαφορετικά αέρια του θερμοκηπίου, το κάθε αέριο μετατρέπεται σε τόνους ή χιλιόγραμμα **ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα** (CO_{2e}) [34], το οποίο είναι ένα μετρικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για να συγκρίνει τις εκπομπές από διάφορα αέρια του θερμοκηπίου με βάση το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη²(GWP). Το ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα για ένα αέριο προκύπτει

² Το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη είναι ένα μέτρο της συνολικής ενέργειας που ένα αέριο απορροφά κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος (συνήθως 100 έτη), σε σύγκριση με το διοξείδιο του άνθρακα [33].

πολλαπλασιάζοντας τους τόνους του αερίου με το αντίστοιχο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP).

Πολύ συχνά, ο όρος «**αποτύπωμα άνθρακα**» (**Carbon footprint**) συγχέεται με τον όρο «**οικολογικό αποτύπωμα**» (**Ecological footprint**). Το «οικολογικό αποτύπωμα» είναι πολύ πιο περιεκτικός όρος αφού προκύπτει από τον υπολογισμό της παραγωγικής γης και του νερού που απαιτούνται από ένα άτομο, μια οικογένεια, ένα κτήριο, έναν οργανισμό, μία δραστηριότητα ή μία εταιρεία τόσο από άποψη χρήσης όσο και από άποψη απορρόφησης των αποβλήτων, που αυτοί παράγουν. Εκφράζεται σε εκτάρια γης. Οι επιστήμονες έχουν υπολογίσει ότι το μέσο κατά κεφαλήν οικολογικό αποτύπωμα είναι περίπου 23,5 εκτάρια γης. Σε ανανεώσιμη βάση υπάρχουν μόνο 15,7 εκτάρια διαθέσιμα παγκοσμίως που σημαίνει ότι συλλογικά υπερβαίνουμε την οικολογική φέρουσα ικανότητα της Γης κατά σχεδόν 50 % [34].

Στην περίπτωση των μεταφορών, το αποτύπωμα άνθρακα μπορεί να αναφέρεται είτε στις TTW εκπομπές ρύπων είτε στις WTW εκπομπές ρύπων. Οι πρώτες (TTW) αφορούν τις άμεσες εκπομπές ρύπων που παράγονται από τη λειτουργία των οχημάτων ενώ οι δεύτερες (WTW) αφορούν τις συνολικές εκπομπές ρύπων, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που παράγονται κατά τη διαδικασία της εξόρυξης, της επεξεργασίας, της μεταφοράς και της διανομής των καυσίμων (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση των Well-to-wheels και Tank-to-wheels εκπομπών ρύπων [35]

3. Βιβλιογραφική επισκόπηση

Οι μεταφορές, όπως έχει ήδη ειπωθεί, ευθύνονται για ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, καθώς το πλήθος των μεταφορών ολοένα και αυξάνεται, η ανάγκη ποσοτικοποίησης των ρύπων που εκπέμπονται από αυτές γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και άλλοι διεθνείς οργανισμοί για την προστασία του περιβάλλοντος πραγματοποιούν συνεχώς προσπάθειες για τον ακριβέστερο υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα των μεταφορών.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξετάστηκαν 17 μεθοδολογίες (πολλές εκ των οποίων περιλαμβάνουν υπολογιστικά εργαλεία και βάσεις δεδομένων συντελεστών εκπομπών). Εξετάστηκε, ακόμη, το σύστημα πιστοποίησης SmartWay Europe. Οι μεθοδολογίες αυτές, αποτελούν τις πιο σημαντικές, όπως αυτές προέκυψαν από τη βιβλιογραφική επισκόπηση του συγχρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση προγράμματος COFRET (Carbon Footprint of Freight Transport), που κατέληξε σε αυτές μετά από επισκόπηση 102 βιβλιογραφικών πηγών [36]. Οι σημαντικότερες μεθοδολογίες συνοψίζονται στον Πίνακα 2. Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3) φαίνονται τα είδη των μεταφορών που καλύπτει κάθε μεθοδολογία, η δυνατότητά της να συμπεριλαμβάνει υπολογισμούς για ειδικό εξοπλισμό (μηχανήματα «εκτός δρόμου», κτλ) και για τους σταθμούς μεταφόρτωσης, στην περίπτωση των συνδυασμένων μεταφορών, καθώς και τα αέρια που αυτή υπολογίζει.

Στη συνέχεια της ενότητας, ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση για καθεμία από τις προαναφερθείσες μεθοδολογίες καθώς και πίνακες που παρουσιάζουν συνοπτικά τα βασικότερα χαρακτηριστικά κάθε μεθοδολογίας.

Πίνακας 2: Μεθοδολογίες υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα στις μεταφορές

Μεθοδολογία	Στοιχεία που περιλαμβάνει			
	Πρότυπο ή οδηγία	Υπολογιστικό εργαλείο	Βάση δεδομένων	Σύστημα πιστοποίησης
Bilan Carbone	√	√	(√)	
CENEX		√		
DEFRA guidance	√	(√)		
DSLVL guideline	√			
EcoTransit World		√		
EN 16258	√			
GHG Protocol	√	√		
Grønn godstransport (Green Freight Transport (GFT))	√	√		
HBEFA			√	
IPCC	√		(√)	
JEC			√	
LIPASTO			√	
NTM	√	(√)	√	
TREMOD			√	
Versit+			√	
Vestlandsforskning			√	
ZichtopCO2	√	√	(√)	
SmartWay Europe				√

Πίνακας 3: Πεδίο εφαρμογής και υπολογιζόμενα αέρια κάθε μεθοδολογίας

Μεθοδολογία	Οδικές μεταφορές	Σιδηροδρομικές μεταφορές	Αεροπορικές μεταφορές	Θαλάσσιες μεταφορές	Ποτάμιες μεταφορές	Ειδικός εξοπλισμός	Σταθμοί μεταφόρτωσης	Αέρια που υπολογίζουν														
								CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO	NO ₂	NO _x	SO ₂	PM	HC	NH ₃	NMHC	Τουλούλιο, Ξυλόλιο, Βενζόλιο	Φθοριούχα αέρια	Αιθάλη
Bilan Carbone	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										✓		
CENEX	✓									✓												
DEFRA guidance	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓												
DSLVL guideline	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓											
EcoTransit World	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓				✓				
EN 16258	✓	✓	✓	✓	✓					✓												
GHG Protocol	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓												
Grønn godstransport	✓	✓		✓				✓			✓	✓	✓	✓								
HBEFA	✓							✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
IPCC	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓										✓	
JEC	✓							✓	✓	✓	✓											
LIPASTO	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
NTM	✓	✓	✓	✓				✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓						
TREMODO	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓		✓			✓	✓			✓			
Versit+	✓							✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓							✓
Vestlandsforskning	✓	✓		✓							✓											
ZichtopCO2	✓	✓	✓	✓	✓		✓				✓	✓	✓	✓								
SmartWay Europe	✓							✓														

3.1. Πρότυπα και οδηγίες

EN 16258

Αυτό το πρότυπο καθιερώνει μία μεθοδολογία για τον υπολογισμό και τη δήλωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με οποιαδήποτε μεταφορά (επιβατική ή εμπορευματική). Περιλαμβάνει γενικές αρχές, ορισμούς, μεθόδους υπολογισμού, κανόνες επιμερισμού και προτεινόμενα δεδομένα με σκοπό να προωθήσει τυποποιημένους, ακριβείς, αξιόπιστους και επαληθεύσιμους υπολογισμούς καταναλώσεων και εκπομπών. Μέχρι τη δημοσίευσή του στα τέλη του 2012, δεν υπήρχε κανένα αντίστοιχο πρότυπο, γεγονός που περιέπλεκε σημαντικά την διαδικασία υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα των μεταφορών. Ωστόσο, το πρότυπο περιλαμβάνοντας σχετικά απλές, τυποποιημένες διαδικασίες επιτρέπει τον υπολογισμό των WTW και TTW εκπομπών με μόνο δεδομένο την κατανάλωση καυσίμων, χωρίς να υστερεί από άποψη πολυπλοκότητας και θεωρητικού υποβάθρου. Όσον αφορά τους συντελεστές εκπομπών, αυτοί μπορούν να ληφθούν από πίνακες του προτύπου, οι τιμές των οποίων στηρίζονται κυρίως στην WTW ανάλυση του JEC. Στοιχεία του συγκεκριμένου προτύπου περιγράφονται αναλυτικότερα στη συνέχεια αφού αποτελεί τμήμα της μεθοδολογίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας [37].

Κατευθυντήριες γραμμές της IPCC

Πρόκειται για κατευθυντήριες γραμμές, από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), με λεπτομερείς οδηγίες για τον τρόπο υπολογισμού και αναφοράς των εθνικών ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από οδικές, σιδηροδρομικές, αεροπορικές, θαλάσσιες και ποτάμιες μεταφορές εμπορευμάτων, καθώς και από άλλα μηχανήματα. Οδηγίες, συμπεριλαμβανομένων και προκαθορισμένων τιμών για τα δεδομένα, είναι προσβάσιμες δωρεάν στο διαδίκτυο. Οι συμμετέχουσες χώρες μπορούν να υπολογίζουν τις ετήσιες εκπομπές των αερίων CO₂, CH₄, N₂O καθώς και των φθοριούχων αερίων (F-gases) και του CO₂e, συμπεριλαμβανομένων και των αντίστοιχων καταναλώσεων ενέργειας, με βάση τις ετήσιες εθνικές μεταφορές τους. Εκτός από τις TTW εκπομπές της μεταφοράς αυτής καθεαυτής, λαμβάνονται

Πίνακας 4: Συνοπτική παρουσίαση προτύπων και οδηγιών

Πρότυπο ή οδηγία	Σύντομη περιγραφή	Πηγή συντελεστών εκπομπών	Ιστοσελίδα
EN 16258	Ευρωπαϊκό πρότυπο που αφορά τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό και τη δήλωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών (επιβατικών και εμπορευματικών)	IPCC, JEC Well-to-wheels analysis	http://www.cen.eu/cen/Services/EHD/Sectors/Pages/ServiceSector.aspx
Κατευθυντήριες γραμμές της IPCC	Κατευθυντήριες γραμμές της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) για τις εθνικές απογραφές των αερίων του θερμοκηπίου από τις εμπορευματικές μεταφορές.	Προκαθορισμένες τιμές παρατίθενται από ένα σύνολο αξιόπιστων πηγών (EEA, USEPA, ICAO, κτλ)	http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html
DSLV	Ένα εγχειρίδιο για τον υπολογισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, βασισμένο στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16258.	HBEFA 3.1, TREMOD, REMOVE, Ecotransit, IPCC και άλλες	http://www.spediteure.de/de/site/1575//n64/page/n64/index.xml
DEFRA	Οδηγίες του Ηνωμένου Βασιλείου για τη μέτρηση και την αναφορά των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από τις δραστηριότητες των εμπορευματικών μεταφορών.	DEFRA	http://archive.defra.gov.uk/environment/business/reporting/co2version-factors.htm
Grønn godstransport (Green Freight Transport)	Νορβηγικό ερευνητικό έργο για την ανάπτυξη υπολογιστικών εργαλείων για το περιβάλλον σε εταιρείες εμπορευματικών μεταφορών που βασίζεται στο ARTEMIS.	ARTEMIS	http://www.gronngodstransport.no/prosjektet/

υπόψη και τα WTT αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά την παραγωγή της χρησιμοποιούμενης ενέργειας (και όχι άμεσα από τον τομέα των μεταφορών).

Οι πιο πρόσφατες κατευθυντήριες γραμμές της IPCC (2006) περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τους συντελεστές εκπομπών ή άλλες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τις εκτιμήσεις, καθώς και τις πηγές των δεδομένων. Παρέχουν, γενικά, συμβουλές σχετικά με τις μεθόδους εκτίμησης σε τρία επίπεδα λεπτομέρειας. Αν εφαρμοστούν σωστά, όλα τα επίπεδα προορίζονται να παρέχουν αμερόληπτες εκτιμήσεις και η ακρίβεια τους θα πρέπει, γενικά, να βελτιώνεται από το ένα επίπεδο στο επόμενο. Έτσι, συνιστάται να χρησιμοποιούνται πιο ακριβή στοιχεία, που αφορούν την εκάστοτε μεταφορά, αντί για προκαθορισμένους συντελεστές εκπομπών [38].

DSL

Το εγχειρίδιο του DSLV περιέχει οδηγίες σχετικά με την εφαρμογή του ευρωπαϊκού προτύπου EN 16258 αποτελώντας ένα πρακτικό εργαλείο για τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των logistics και επιθυμούν να υπολογίσουν το αποτύπωμα άνθρακά τους αλλά και να βρουν τρόπους για να το μειώσουν. Όπου το πρότυπο περιέχει σαφείς διατάξεις, αυτές χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς. Ωστόσο, όπου το πρότυπο αφήνει επιλογές, το εγχειρίδιο τις περιγράφει και προτείνει την καταλληλότερη. Οι προδιαγραφές, οι συντελεστές μετατροπής και οι υπολογισμοί του εγχειριδίου, ισχύουν για όλα τα μέσα μεταφοράς για την Ευρώπη. Ωστόσο, και οι διηπειρωτικές εναέριες και θαλάσσιες μεταφορές μπορούν να υπολογιστούν βάσει αυτού.

Η κατανάλωση ενέργειας και τα εκπεμπόμενα αέρια από τις μεταφορές προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας δύο βασικές προσεγγίσεις: είτε με βάση την κατανάλωση είτε με βάση την απόσταση. Στη δεύτερη προσέγγιση απαραίτητες είναι και πληροφορίες σχετικά με το βάρος των μεταφερόμενων εμπορευμάτων ώστε τελικά να προκύψουν μονάδες t·km. Γι' αυτό το λόγο δίνονται από το εγχειρίδιο μέσες τιμές κατανάλωσης καυσίμου ανά t·km ανάλογα με το μέσο μεταφοράς, την κατηγορία του και το φορτίο του. Ιδιαίτερα για τις οδικές μεταφορές δίνεται προτεινόμενος πίνακας με τις μέσες καταναλώσεις ανά 100 km για διάφορες κατηγορίες βάρους οχημάτων για κενό και πλήρες φορτίο και για δύο διαφορετικές περιπτώσεις κλίσης καθώς και ένας συντελεστής διόρθωσης της κατανάλωσης για

κυκλοφορία του οχήματος εντός αστικού δικτύου. Όπως αναφέρεται, καμία διάκριση δε γίνεται για διαφορετικές τεχνολογίες οχημάτων αφού η επίδρασή τους στην κατανάλωση καυσίμου μετά την εισαγωγή των προδιαγραφών EURO III είναι πολύ μικρή.

Το εγχειρίδιο προτείνει, ακόμη, τρόπους επιμερισμού των αποτελεσμάτων ανάλογα με το μεταφορικό έργο και τρόπους υπολογισμούς της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπεμπόμενων αερίων για κτήρια, αποθήκες αλλά και για τον χειρισμό των εμπορευμάτων στα σημεία μεταφόρτωσης [39].

DEFRA

Είναι η μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών του Ηνωμένου Βασιλείου για οχήματα διαφόρων κατηγοριών βάρους για όλα τα μέσα μεταφοράς, εκτός των ποτάμιων. Οι συντελεστές εκπομπών βασίζονται σε πραγματικές τιμές κατανάλωσης καυσίμων. Όλες οι παραδοχές έχουν γίνει με βάση τα δεδομένα του Ηνωμένου Βασιλείου και τα δεδομένα είναι διαθέσιμα δωρεάν. Οι εκπομπές που περιλαμβάνει είναι εκπομπές CO₂, CH₄, N₂O και CO₂e. Επιτρέπει τον υπολογισμό των προαναφερθέντων εκπομπών σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας, από το επίπεδο μίας εταιρείας μέχρι και το επίπεδο ενός μεμονωμένου οχήματος ή εμπορεύματος

Και αυτή η μεθοδολογία, όπως και οι περισσότερες, μετατρέπει δεδομένα παραγόμενου μεταφορικού έργου (t·km) σε άμεσες και έμμεσες εκπομπές CO₂, CH₄, N₂O και CO₂e μέσω των κατάλληλων συντελεστών για τις οδικές, τις σιδηροδρομικές, τις θαλάσσιες και τις αεροπορικές μεταφορές. Μόνο στην περίπτωση των οδικών μεταφορών υπάρχει η δυνατότητα τα δεδομένα να είναι δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου (λίτρα καυσίμου). Ο συντελεστής φόρτωσης λαμβάνεται υπόψη στην περίπτωση των οδικών και των θαλάσσιων μεταφορών και υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων για όλα τα μέσα εκτός του σιδηροδρόμου, για τον οποίο δε γίνεται καν διαχωρισμός ανάλογα με το είδος του συστήματος έλξης.

Τέλος, στην περίπτωση αμιγώς οδικών μεταφορικών επιχειρήσεων η μεθοδολογία επιχειρεί έναν αρχικό επιμερισμό των εκπομπών ανά πελάτη ανάλογα με τον αριθμό των στάσεων και τις μεταφερόμενες μονάδες που αναλογούν σε κάθε πελάτη [40], [41], [42].

Grønn godstransport/ Smartrans /SEMBA

Πρόκειται για ένα νορβηγικό ερευνητικό έργο που πραγματοποιήθηκε από το 2008 έως το 2011 υπό την αιγίδα του προγράμματος “SMARTRANS – Intelligent Freight Transport” του Νορβηγικού Συμβουλίου Έρευνας. Κύριος στόχος του έργου ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών προκλήσεων που προκύπτουν από τις εμπορευματικές μεταφορές. Στο πρόγραμμα συμμετείχαν μεταφορικές εταιρείες όπως η Tollpost Globe και η Cargo Net καθώς και θεσμικά όργανα όπως το υπουργείο μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής και η ένωση ιδιοκτητών φορτηγών της Νορβηγίας. Την επιστημονική έρευνα ανέλαβε μία νορβηγική ερευνητική ομάδα, η SINTEF. Ως τμήμα της μελέτης, ελέγχθηκαν ορισμένα από τα υπάρχοντα εργαλεία υπολογισμού των εκπομπών από τον τομέα των μεταφορών (όπως το Ecotransit, το NTM, το Vestlandsforskning, κ.α.) σε πραγματικές συνθήκες, εντός της Νορβηγίας. Σε δεύτερη φάση στόχος του έργου ήταν η ανάπτυξη μίας δικιάς του μεθοδολογίας υπολογισμού των εκπομπών βάσει των δεδομένων του ευρωπαϊκού προγράμματος ARTEMIS. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν σε μια βάση δεδομένων που ονομάζεται SEMBA που διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο [43].

3.2. Υπολογιστικά εργαλεία

EcoTransIT World

Είναι ένα προηγμένο εργαλείο υπολογισμού, εναρμονισμένο με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16258, που διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο. Αναπτύχθηκε αρχικά από πέντε ευρωπαϊκές σιδηροδρομικές εταιρείες και περιοριζόταν στον ευρωπαϊκό χώρο αλλά η τελευταία έκδοσή του, το 2010, επιτρέπει τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεταφορών σε παγκόσμιο επίπεδο. Πραγματοποιεί υπολογισμούς πρόβλεψης για μια επερχόμενη μεταφορά, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να συγκρίνει διάφορα μέσα μεταφοράς από άποψη κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών.

Το εργαλείο διαθέτει δύο εκδόσεις που διαφέρουν ως προς τα δεδομένα που ζητούν από το χρήστη να εισάγει. Στην πιο απλή έκδοση, που χρησιμοποιείται για χονδρικές εκτιμήσεις, ο χρήστης καλείται να εισάγει την ποσότητα του

Πίνακας 5: Συνοπτική παρουσίαση υπολογιστικών εργαλείων

Υπολογιστικό εργαλείο	Σύντομη περιγραφή	Πεδίο εφαρμογής	Μεταβλητές εισόδου	Πηγή συντελεστών εκπομπών	Πρόσβαση	Ιστοσελίδα
EcoTransIT World	Εργαλείο που υπολογίζει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές.	Αποκλειστικά μεταφορές	Δεδομένα μεταφορικού έργου	GHG Protocol και HBEFA	Ελεύθερη	http://www.ecotransit.org
GHG Protocol	Εργαλείο που χρησιμοποιείται από κυβερνήσεις και επικεφαλής επιχειρήσεων για την κατανόηση, την ποσοτικοποίηση και τη διαχείριση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, χρησιμοποιώντας λογιστικά φύλλα του Excel.	Μεταφορές και άλλοι τομείς (π.χ. παραγωγή τσιμέντου, σιδήρου κτλ)	Δεδομένα μεταφορικού έργου ή δεδομένα κατανάλωσης	Defra, IPCC και US EPA Climate Leaders	Ελεύθερη	http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools
Zicht op CO2	Προσέγγιση με βήματα για τον υπολογισμό των εκπομπών σε εταιρικό επίπεδο. (Θα μπορούσε να περιλαμβάνεται και στην κατηγορία με τις μεθοδολογίες)	Μεταφορές και άλλες δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας, (όχι, όμως, και υποστηρικτικές)	Δεδομένα κατανάλωσης	Εξωτερικές πηγές, κυρίως STREAM - CE Delft (έκδοση του 2011).	Ελεύθερη	http://www.emissieberekennen.nl/
CENEX	Εργαλείο που απευθύνεται σε διαχειριστές στόλου και φορείς εκμετάλλευσης και παρέχει συμβουλές για τη μείωση των εκπομπών από το στόλο.	Αποκλειστικά μεταφορές	Λειτουργικές παράμετροι και παράμετροι του οχήματος και του κινητήρα	Concawe	Ελεύθερη	http://www.cenex.co.uk/consultancy/fleet-carbon-reduction
Bilan Carbone	Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος στη Γαλλία για τον υπολογισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.	Μεταφορές και άλλοι τομείς (γεωργία, βιομηχανία, κτλ)	Δεδομένα μεταφορικού έργου	ADEME	Ελεύθερη	http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=23674&m=3&catid=23678

μεταφερόμενου φορτίου (σε τόνους ή TEUs), το είδος του (ελαφρύ, μεσαίου βάρους ή βαρύ- επιλογές που αντιστοιχούν σε προεπιλεγμένες τιμές βάρους/TEU), την αφετηρία και τον προορισμό της μεταφοράς και το είδος της περιοχής που βρίσκονται και το μέσο με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η μεταφορά. Στην πιο λεπτομερή έκδοση, ο χρήστης, πέρα από τα προηγούμενα, καλείται να αποφασίσει αν η μεταφορά θα περιλαμβάνει πλοίο, τον τρόπο χειρισμού του φορτίου, αν επιθυμεί οι μεταφορτώσεις να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς, καθώς επίσης και να καθορίσει τον τύπο του οχήματος (π.χ. την κατηγορία βάρους του φορτηγού ή του τρένου -βάσει συγκεκριμένων προεπιλογών), τις προδιαγραφές εκπομπών του μέσου (π.χ. EURO I,II,κτλ για τα φορτηγά, χρήση ηλεκτροκίνησης ή νηζελοκίνησης για τα τρένα), το συντελεστή φόρτωσης του μέσου και το συντελεστή κενών δρομολογίων. Στη συνέχεια, το εργαλείο χρησιμοποιεί το σύστημα GIS για το σχεδιασμό της διαδρομής υπολογίζοντας την καλύτερη διαδρομή για κάθε μέσο μεταφοράς που επιλέγεται. Στην περίπτωση των οδικών μεταφορών, με βάση την διαδρομή, το εργαλείο επιλέγει αυτόματα το είδος της οδού (αυτοκινητόδρομος ή άλλος δρόμος) ενώ πραγματοποιεί και μία διόρθωση της τάξεως του $\pm 5\%$ στην κατανάλωση ανάλογα με την κλίση, χαρακτηρίζοντας τη χώρα που πραγματοποιείται το κύριο μέρος της μεταφοράς ως επίπεδη, λοφώδη ή ορεινή. Αντίστοιχη διόρθωση για την κλίση γίνεται και στις σιδηροδρομικές μεταφορές. Οι συντελεστές εκπομπών που χρησιμοποιεί προέρχονται κυρίως από τη βάση δεδομένων HBEFA και από το πρωτόκολλο GHG.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι οι εκπομπές των αερίων CO_2 , CO_2e , NO_x , NMHC, SO_2 και PM καθώς και η κατανάλωση ενέργειας σε MJ και η διανυθείσα απόσταση [44].

Πρωτόκολλο GHG

Υπολογίζει τις εκπομπές των αερίων CO_2 , CH_4 και N_2O που εκπέμπονται από διάφορες δραστηριότητες, μία κατηγορία των οποίων είναι και οι μεταφορές. Για τους υπολογισμούς διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο λογιστικά φύλλα που επιτρέπουν στο χρήστη να προσαρμόσει τα δεδομένα στις απαιτήσεις του προβλήματος που εξετάζει [45].

Τα προαναφερθέντα λογιστικά φύλλα περιλαμβάνουν ορισμένα προεπιλεγμένα δεδομένα για τις εκπομπές που προκύπτουν από διάφορες

δραστηριότητες και τομείς (παραγωγή τσιμέντου, σιδήρου, αλουμινίου, αμμωνίας, ηλεκτρικής ενέργειας, κτλ). Αυτά τα δεδομένα προέρχονται από τις βάσεις δεδομένων των DEFRA, EPA και IPCC και περιέχουν δεδομένα για το Ηνωμένο Βασίλειο και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Ωστόσο, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν τους δικούς τους συντελεστές εκπομπών. Τα εργαλεία αυτά, πέρα των υπόλοιπων δραστηριοτήτων, μπορούν, επίσης, να πραγματοποιούν υπολογισμούς για αγροτικά και κατασκευαστικά μηχανήματα [46].

Τον Ιούνιο του 2013, δημοσιεύτηκε μία **έκδοση** του εργαλείου που **εξειδικεύεται στις μεταφορές**. Χρησιμοποιεί προεπιλεγμένους συντελεστές εκπομπών, οι οποίοι διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα. Ξεχωριστοί συντελεστές εκπομπών είναι διαθέσιμοι και σε αυτήν την έκδοση μόνο για το Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ. Για τις υπόλοιπες χώρες, εάν οι συγκεκριμένοι συντελεστές εκπομπών δεν είναι διαθέσιμοι, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μία κατηγορία συντελεστών που χρησιμοποιεί είτε παγκόσμιες προκαθορισμένες τιμές ή τιμές του Ηνωμένου Βασιλείου, με αποτέλεσμα, βέβαια, να προκύπτουν λιγότερο ακριβείς υπολογισμοί. Τα δεδομένα που καλείται να εισάγει ο χρήστης είναι δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου ή δεδομένα μεταφορικού έργου (βάρους και διανυθείσας απόστασης). Τα πρώτα δίνουν καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τις εκπομπές CO₂ ενώ τα δεύτερα πιο ακριβή αποτελέσματα για τις εκπομπές CH₄ και N₂O [47],[48].

Zicht op CO₂

Πρόκειται για μια πρωτοβουλία στο πλαίσιο του προγράμματος 'Duurzame Logistiek' (Sustainable Logistics) του Connekt³. Είναι ένας οδηγός βήμα προς βήμα για τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον τομέα των logistics για τον υπολογισμό των εκπομπών τους. Παρόλο που η αρχική προσέγγιση αποσκοπεί στον προσδιορισμό των συνολικών ετήσιων εκπομπών μίας εταιρείας, περιλαμβάνει και ορισμένες προτάσεις για την κατανομή τους σε επιμέρους φορτία. Η μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα μέσα μεταφοράς και να λάβει υπόψη τις μεταφορτώσεις. Το υπολογιστικό εργαλείο του Connekt, «CO₂.meetlat», βασίζεται στο Zicht op CO₂. Τα βήματα της μεθοδολογίας είναι, συνοπτικά, τα εξής:

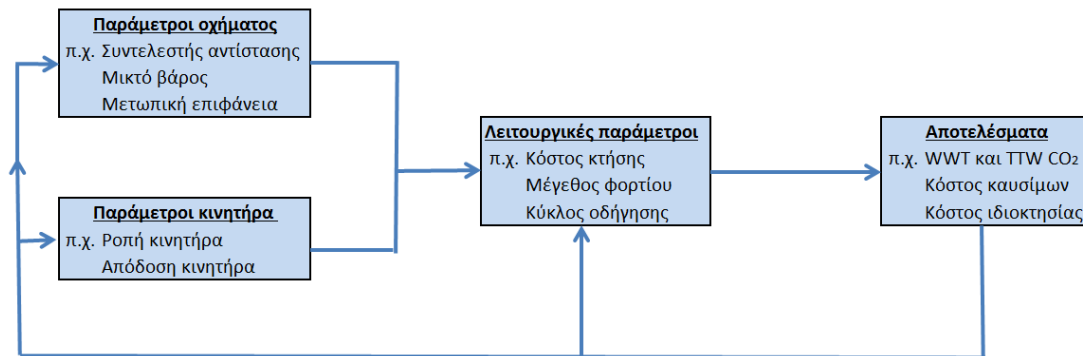
³ Το Connekt είναι ένα ανεξάρτητο δίκτυο εταιρειών και αρχών που έχουν ενωθεί με σκοπό τη βελτίωση της κινητικότητας στην Ολλανδία με βιώσιμο τρόπο.

- 1) Καθορισμός των στόχων. Μέσω του καθορισμού των στόχων καθορίζεται και η προσέγγιση και το επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτείται.
- 2) Καθορισμός δραστηριοτήτων. Οι μεταφορικές εταιρείες, συχνά, αναθέτουν κάποιες δραστηριότητες τους σε άλλες εταιρείες. Σε αυτό το βήμα, λοιπόν, πρέπει να αποφασιστεί αν πέρα από τις δικές της δραστηριότητες, η μεταφορική εταιρεία θα λάβει υπόψη στους υπολογισμούς τις εκπομπές ολόκληρης της εφοδιαστικής της αλυσίδας.
- 3) Προσδιορισμός των δραστηριοτήτων. Σε αυτό το βήμα αποφασίζεται ποιες δραστηριότητες θα ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό: όλες ή απλά εκείνες που αποτελούν τις κύριες πηγές των εκπομπών. Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα εξαρτάται από τους στόχους του υπολογισμού. Ζητήματα όπως τα κενά ταξίδια, οι παρακάμψεις και ταξίδια μετ' επιστροφής πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς.
- 4) Επιλογή των εκπομπών που θα υπολογιστούν. Η επιλογή γίνεται ανάμεσα στα αέρια του θερμοκηπίου (GHGs) και/ή σε άλλους ρύπους (NO_x, SO₂, PM₁₀).
- 5) Προσδιορισμός των εκπομπών που θα υπολογιστούν. Αποφασίζεται αν θα υπολογιστούν μόνο οι άμεσες εκπομπές ή και οι έμμεσες, που εκπέμπονται κατά την εξόρυξη, την παραγωγή και τη μεταφορά των καυσίμων.
- 6) Υπολογισμός των εκπομπών. Αυτό είναι και το πιο ουσιαστικό βήμα όπου πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί, λαμβάνοντας υπόψη τις αποφάσεις που έχουν ληφθεί στα προηγούμενα βήματα.
- 7) Εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των εκπομπών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς διαφορετικούς σκοπούς. Μπορούν π.χ. να είναι κομμάτι της πολιτικής μίας εταιρείας για τον ετήσιο απολογισμό της ή να την βοηθούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων [49].

CENEX

Αναπτύχθηκε για να ποσοτικοποιηθεί η μείωση των εκπομπών άνθρακα και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας οχημάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικά καύσιμα και τεχνολογίες σε εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο [50]. Αυτό το εργαλείο απευθύνεται κυρίως σε διαχειριστές οδικών στόλων και παρέχει συμβουλές σε δύο συναφείς τομείς: στη μείωση των εκπομπών από ένα στόλο για λόγους προστασίας

του περιβάλλοντος και στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων για λόγους οικονομίας [36].



Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας του υπολογιστικού εργαλείου CENEX [50]

Ουσιαστικά, είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης που μπορεί να υπολογίσει την κατανάλωση καυσίμου, τις παραγόμενες εκπομπές CO₂ και τα λειτουργικά έξοδα από τη λειτουργία ενός στόλου οχημάτων που εκτελούν αντιπροσωπευτικούς κύκλους οδήγησης. Το εργαλείο έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ευέλικτο σε λειτουργία και να επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει πολλούς στόλους οχημάτων και να αξιολογήσει το δυνητικό κόστος και τη μείωση των εκπομπών CO₂ από μια ποικιλία διαφορετικών τεχνολογιών κινητήρων εντός του στόλου. Είναι σε θέση να υποστηρίξει ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών τεχνολογιών κινητήρων και διάφορες κατηγορίες οχημάτων, που κυμαίνονται από αυτοκίνητα βαν μέχρι και εμπορικά οχήματα μεγάλου μεγέθους, και επιτρέπει την προσαρμογή των παραμέτρων, για μεγαλύτερη ακρίβεια, ώστε να αντικατοπτρίζεται η πραγματική σύνθεση των οχημάτων που χρησιμοποιούνται σε κάθε στόλο. Η λειτουργία του εργαλείου απεικονίζεται στην Εικόνα 11 όπου, όπως φαίνεται, λαμβάνει υπόψη παραμέτρους τόσο του οχήματος όσο και του κινητήρα καθώς και λειτουργικές παραμέτρους [50].

Bilan Carbone

Είναι ένα εργαλείο για τον υπολογισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, χρησιμοποιώντας εύκολα διαθέσιμα δεδομένα για την εκτίμηση τόσο των άμεσων όσο και των έμμεσων εκπομπών. Είναι συμβατό με το πρότυπο ISO 14064, την πρωτοβουλία του πρωτοκόλλου GHG και την οδηγία με αριθ. 2003/87/EC σχετικά με το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ και χρησιμοποιείται τόσο από εταιρείες όσο και από φορείς χάραξης πολιτικής, ιδιαίτερα στη Γαλλία.

Μετατρέπει δεδομένα όπως ο αριθμός των φορτηγών και οι αποστάσεις που διήνυσαν, οι τόνοι εμπορεύματος, κτλ σε εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, εκφρασμένες σε ισοδύναμο άνθρακα⁴, λαμβάνοντας υπόψη τους σταθμούς μεταφόρτωσης και πραγματοποιώντας υπολογισμούς και για άλλα μηχανήματα. Στόχος του είναι να είναι απολύτως διαφανές και ανοικτό όσον αφορά τη μεθοδολογία και τους συντελεστές εκπομπών που χρησιμοποιεί. Ωστόσο, άλλα στοιχεία που συνιστούν τη μεθοδολογία (π.χ. τα λογιστικά φύλλα και τα εγχειρίδια χρήσης τους) είναι διαθέσιμα μόνο σε όσους έχουν παρακολουθήσει εκπαιδευτικά σεμινάρια διοργανωμένα από τον οργανισμό ADEME, που το έχει αναπτύξει [51].

3.3. Βάσεις δεδομένων

LIPASTO

Είναι μία βάση δεδομένων που βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία εκπομπών, που ανανεώνονται κάθε χρόνο, και υπολογίζει τις TTW εκπομπές και την κατανάλωση ενέργειας για όλα τα μέσα μεταφοράς, πλην των ποτάμιων. Υπολογίζει τις εκπομπές των CO₂, CO_{2e}, CH₄, N₂O, CO, HC, NO_x, PM και SO₂. Όλα τα δεδομένα είναι διαθέσιμα δωρεάν και παρόλο που οι συντελεστές εκπομπών απευθύνονται κυρίως στο φινλανδικό σύστημα μεταφορών, οι περισσότεροι μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στην Ευρώπη όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Το LIPASTO ακολουθεί το ευρωπαϊκό πρότυπο 16258. Όσον αφορά τις οδικές μεταφορές, οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν για έξι διαφορετικούς τύπους οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη τις κυκλοφοριακές συνθήκες (κυκλοφορία σε αυτοκινητόδρομο ή σε αστικό περιβάλλον), το φορτίο (μέσω συντελεστών φόρτωσης) και την τεχνολογία του οχήματος (EURO I, II, κτλ). Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη βάση δεδομένων περιλαμβάνει συντελεστές εκπομπών και κατανάλωσης καυσίμων για κενά και πλήρη φορτία, διευκρινίζοντας ότι ανάμεσα σε

⁴ Το ισοδύναμο άνθρακα είναι η «επίσημη» μονάδα μέτρησης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, συνηθίζεται ο όρος ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα, που δίνει τιμές μεγαλύτερες κατά 3,67 φορές (για την ακρίβεια: 44/12), συντελεστής που αντιστοιχεί στο λόγο (μοριακή μάζα CO₂) / (ατομική μάζα άνθρακα). Η μέθοδος Bilan Carbone παρέχει τα αποτελέσματα και στις δύο μονάδες αλλά οι συντελεστές εκπομπών δίνονται αποκλειστικά σε ισοδύναμο άνθρακα [51].

Πίνακας 6: Συνοπτική παρουσίαση βάσεων δεδομένων

Βάση δεδομένων	Σύντομη περιγραφή	Είδη συντελεστών που περιλαμβάνει	Συχνότητα επικαιροποίησης	Πρόσβαση	Ιστοσελίδα
LIPASTO	Βάση δεδομένων συντελεστών κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών που βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία	TTW εκπομπών και κατανάλωσης ενέργειας	Κάθε χρόνο	Ελεύθερη	http://lipasto.vtt.fi/indexe.htm
NTM	Μεθοδολογία, βάση δεδομένων συντελεστών εκπομπών και εργαλείο για τον υπολογισμό των εκπομπών από τις μεταφορές	TTW εκπομπών και κατανάλωσης ενέργειας (στην έκδοση που είναι διαθέσιμη μετά από αγορά)	-	Μερική	http://www.ntmcalc.se/index.html
HBEFA	Εγχειρίδιο Συντελεστών Εκπομπών για τις Οδικές Μεταφορές	TTW εκπομπών	Περίπου κάθε πενταετία	Διαθέσιμη μετά από αγορά	http://www.hbefa.net/e/index.html
WTW ανάλυση των JEC	Βάση δεδομένων που επιδιώκει να εκτιμήσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από όλα τα καύσιμα και τους κινητήρες της Ευρώπης	WTT και TTW εκπομπών	Περιοδικά	Ελεύθερη	http://ies.jrc.ec.europa.eu/jec-research-collaboration/downloads-jec.html
Vestlandsforskning	Βάση δεδομένων που περιλαμβάνει, εκτός των άλλων, συντελεστές σχετικούς με την ενέργεια που καταναλώνεται και τα αέρια που εκπέμπονται κατά την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση των μεταφορικών υποδομών και των μέσων μεταφοράς	WTT και TTW εκπομπών και κατανάλωσης ενέργειας	-	Ελεύθερη	http://transport.vestforsk.no/Default.aspx
TREMOD	Μοντέλο εκπομπών από τις μεταφορές, εναρμονισμένο με το (HBEFA)	WTT και TTW εκπομπών	Συνεχώς	Περιορισμένη	http://www.ifeu.org/english/index.php?bereich=ver&seite=projekt_tremod
Versit+	Στατιστικό μοντέλο, που αναπτύχθηκε από το TNO, για τον υπολογισμό των εκπομπών των οδικών μεταφορών	TTW εκπομπών	Σε τακτά χρονικά διαστήματα	Διαθέσιμη μετά από αγορά	www.tno.nl/enviver

αυτές τις δύο ακραίες τιμές του φορτίου οι συντελεστές συμπεριφέρονται γραμμικά, οπότε οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν για οποιοδήποτε φορτίο. Στις σιδηροδρομικές μεταφορές οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν και για τα δύο συστήματα έλξης για διαφορετικά είδη συρμών. Στην περίπτωση των συρμών που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια οι υπολογισμοί εκτός από g αερίου/τόνο-χλμ ή τρενό-χλμ μπορούν να γίνουν και ανά container-χλμ. Οι υπολογισμοί στις θαλάσσιες μεταφορές γίνονται για είκοσι τύπους πλοίων ενώ στις αεροπορικές μεταφορές για τρία είδη πτήσεων (εγχώριων, μικρών και μεγάλων αποστάσεων) βάσει της μεθόδου του DEFRA. Τέλος, αυτή η βάση δεδομένων περιλαμβάνει, επίσης, στοιχεία για 50 διαφορετικά είδη μηχανημάτων και οχημάτων «εκτός δρόμου» (off-road vehicles) [52].

NTM

Το NTM είναι μία σουηδική, μη κερδοσκοπική οργάνωση με μεγάλη εμπειρία (από το 1993) στην ανάπτυξη μεθοδολογιών και βάσεων δεδομένων για τον υπολογισμό εκπομπών από τις μεταφορές. Έχει αναπτύξει μοντέλα για όλα τα είδη μεταφορών, πλην των ποτάμιων. Η βάση δεδομένων του περιλαμβάνει στοιχεία για τις εκπομπές των αερίων CO₂, NO_x, HC, CH₄, CO, PM και SO₂, καθώς επίσης και για την κατανάλωση ενέργειας. Το NTM ακολουθεί το πρότυπο ISO 14048 και συμμετείχε στη διαμόρφωση του προτύπου EN 16258. Η γενική μεθοδολογία του και τα βασικά δεδομένα διατίθενται στην ιστοσελίδα του (Εικόνα 12), αλλά η πρόσβαση στην πιο λεπτομερή έκδοση της είναι περιορισμένη.

Στις οδικές μεταφορές, οι εκπομπές υπολογίζονται ανάλογα με το φορτίο βάσει προκαθορισμένων συντελεστών φόρτωσης και κενών δρομολογίων. Για τις θαλάσσιες μεταφορές, υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι πλοίων. Στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη μόνο οι κύριες μηχανές ενώ στη βασική έκδοση μεταβλητές εισόδου είναι, όπως και στις οδικές μεταφορές, εκτός από τον τύπο του πλοίου, το φορτίο και η απόσταση. Όσο αφορά τα δεδομένα των σιδηροδρομικών μεταφορών (ηλεκτροκίνητων ή ντίζελοκίνητων), αυτά έχουν αναπτυχθεί σε συνεργασία με το EcoTransIT. Στην κατηγορία των αεροπορικών εμπορευματικών μεταφορών συμπεριλαμβάνονται τρεις τύποι πτήσεων (ηπειρωτικές, διηπειρωτικές και εγχώριες), διαχωρίζοντας τις περιπτώσεις όπου τα εμπορεύματα μεταφέρονται στο κύτος επιβατικών αεροσκαφών ή αεροσκαφών που πραγματοποιούν αποκλειστικά εμπορευματικές μεταφορές [53].

Basic Freight Calculator

Choose means of transport and state the travelled distance, emissions are then calculated per vehicle and route.

Click on the category to get more information.

Shipment weight [ton]: 35		Distance [km]: 500									
Group	Vehicle										
Rail	Electric train, average size, EU	Add									
Vehicle type	Shipment weight [ton]	Distance [km]	Transport work [tkm]	CO ₂ [kg]	NO _x [g]	HC [g]	CO [g]	PM [g]			
Heavy truck	10.0	500,00	5000,00	620,00	4850,00	200,00	900,00	100,00	Delete		
Heavy truck	15.0	500,00	7500,00	930,00	7275,00	300,00	1350,00	150,00	Delete		
Electric train, average size, EU	35.0	500,00	17500,00	<0.01	525,00	<0.01	<0.01	175,00	Delete		
SUM		1500,00	30000,00	1550,00	12650,00	500,00	2250,00	425,00	Delete all		

Εικόνα 12: Αποτελέσματα σύγκρισης οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς από το διαδικτυακό λογισμικό του TNO [53]

HBEFA

Πρόκειται για μία βάση δεδομένων TTW συντελεστών εκπομπών των οδικών μεταφορών. Οι συντελεστές εκπομπών έχουν προκύψει από στοιχεία της Γερμανίας, της Αυστρίας, της Ελβετίας, της Νορβηγίας, της Γαλλίας και της Σουηδίας και περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία από φορτηγά, τα οποία διακρίνονται κυρίως ανάλογα με την κατηγορία βάρους τους. Λαμβάνει υπόψη φαινόμενα όπως οι ψυχρές εκκινήσεις καθώς και διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες και διαφορετικές τεχνολογίες οχημάτων. Υπολογίζει τις εκπομπές CO₂, CH₄, N₂O, CO, HC (CH₄, NMHC, βενζόλιο, τουλουόλιο, ξυλόλιο), NO_x, PM, NH₃ και NO₂. Είναι ιδιαίτερα ακριβής για τα όλα τα αέρια πλην του CO₂, γι' αυτό και χρησιμοποιείται από αρκετά υπολογιστικά εργαλεία [54].

WTW ανάλυση των JEC

Πρόκειται για μία έρευνα των JRC, CONCAWE και EUCAR για τα καύσιμα (τόσο τα συμβατικά όσο και τα εναλλακτικά) και τους κινητήρες, καλύπτοντας τις WTW εκπομπές CO₂, CH₄, N₂O και CO_{2e}, διακρίνοντάς τις σε WTT και TTW. Παρόλο που η συγκεκριμένη βάση δεδομένων περιλαμβάνει κινητήρες μόνο οδικών οχημάτων, οι τιμές των WTT εκπομπών εξαρτώνται μόνο από τον τύπο του καυσίμου και ως εκ τούτου μπορούν να εφαρμοστούν για όλα τα μέσα, με την εξαίρεση κάποιων καυσίμων για κάποια μέσα που μπορεί να μην υπάρχουν. Οι εκθέσεις των δεδομένων είναι διαθέσιμες στο διαδίκτυο δωρεάν και ανανεώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα ενώ το ευρωπαϊκό πρότυπο 16258 λαμβάνει τους

συντελεστές εκπομπών, που χρησιμοποιεί, ως επί το πλείστον, από αυτήν τη βάση δεδομένων [55], [56], [57].

Vestlandsforskning

Πρόκειται για μία νορβηγική βάση δεδομένων που δίνει WTT και TTW συντελεστές ενέργειας και εκπομπών και για εμπορευματικές αλλά και για επιβατικές μεταφορές. Στην περίπτωση των εμπορευματικών μεταφορών υπάρχουν συντελεστές για οδικές, σιδηροδρομικές και θαλάσσιες μεταφορές και δίνονται σε MJ/t·km και gCO₂e/t·km. Εκτός των συνηθισμένων συντελεστών, η συγκεκριμένη βάση δεδομένων περιέχει συντελεστές σχετικούς με την ενέργεια που καταναλώνεται και τα αέρια που εκπέμπονται κατά την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση των μεταφορικών υποδομών και των μέσων μεταφοράς [58].

TREMOD

Το TREMOD είναι μία βάση δεδομένων και ένα μοντέλο πρόβλεψης των εκπομπών των μεταφορών. Εφαρμόζεται στους τομείς των οδικών, των σιδηροδρομικών, των εσωτερικών πλωτών και των αεροπορικών μεταφορών. Οι εκπομπές που υπολογίζει είναι οι WTT και TTW εκπομπές των εξής αερίων: CO₂, CH₄, N₂O, C₆H₆, HC, CO, NO_x, ξυλόλιο, NH₃, τολουόλιο. Οι συντελεστές εκπομπών για τις οδικές μεταφορές βασίζονται στη βάση δεδομένων HBEFA και δίνονται για διάφορους τύπους οχημάτων. Συντελεστές φόρτωσης των οχημάτων ή διαδρομές με κενό φορτίο δεν λαμβάνονται υπόψη. Όσον αφορά τις σιδηροδρομικές και τις ποτάμιες μεταφορές, οι συντελεστές εκπομπών δίνονται ως μέσες εκπομπές ανά τονο-χλμ, που στην περίπτωση των σιδηροδρόμων, έχουν προκύψει από στατιστικά στοιχεία από τους γερμανικούς σιδηροδρόμους. Στις αεροπορικές μεταφορές, χρησιμοποιούνται παραδοχές του Ομοσπονδιακού Οργανισμού Περιβάλλοντος (Federal Environmental Agency). Λόγω του όγκου του και της πολυπλοκότητάς του, το TREMOD δεν είναι διαθέσιμο στο κοινό [59], [60].

Versit +

Το Versit + είναι ένα εμπορικό, στατιστικό μοντέλο εκπομπών, που αναπτύχθηκε από τον ολλανδικό Οργανισμό για την Εφαρμοσμένη Επιστημονική Έρευνα (TNO), το οποίο υπολογίζει τις στιγμιαίες TTW εκπομπές των CO₂, CH₄, N₂O, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, HC και της αιθάλης από τις οδικές μεταφορές.

Είναι βασισμένο σε πάνω από 20.000 μετρήσεις σε ζεστούς και κρύους κινητήρες πάνω από 3.200 διαφορετικών οχημάτων κατά τη διάρκεια μίας περιόδου μεγαλύτερης των είκοσι ετών. Ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες, το μοντέλο Versit + μπορεί να υπολογίζει συγκεκριμένους συντελεστές εκπομπών λαμβάνοντας υπόψη τη σύνθεση στόλου, το φορτίο των οχημάτων, τις επιπτώσεις της νέας τεχνολογίας των οχημάτων, τις συνθήκες οδήγησης, κτλ. Είναι εφαρμόσιμο στην Ευρώπη και με ορισμένες τροποποιήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι συντελεστές εκπομπών του ενημερώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα [61].

3.4. Σύστημα πιστοποίησης

SmartWay Europe

Είναι μία πρωτοβουλία που υποστηρίζεται από 50 πολυεθνικούς ναυλωτές, μεταφορείς, παρόχους υπηρεσιών εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και από ενώσεις του κλάδου με στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και τη δημιουργία ενός συστήματος πιστοποίησης για την επιβράβευση των ναυλωτών και των μεταφορέων που συμμετέχουν στο πρόγραμμα. Το όνομα «SmartWayEurope» χρησιμοποιείται για να παραπέμπει στο αντίστοιχο αμερικανικό πρόγραμμα «SmartWay» του USEPA, που είναι ένα υπολογιστικό εργαλείο που υπολογίζει τις εκπομπές CO₂, NO_x, PM_{2.5} και PM₁₀ ανά χιλιόμετρο και ανά τόνο-χιλιόμετρο βάσει στοιχείων του USEPA και του αμερικανικού τομέα μεταφοράς εμπορευμάτων. Το πρόγραμμα βρίσκεται υπό ανάπτυξη και σε πρώτη φάση θα υπολογίζει μόνο τις εκπομπές CO₂ από τις οδικές εμπορευματικές μεταφορές ενώ στο μέλλον θα συμπεριληφθούν και άλλα μέσα μεταφοράς, αέρια του θερμοκηπίου και ρύποι [62], [63].

Πίνακας 7: Παρουσίαση συστήματος πιστοποίησης SmartWay Europe

Σύστημα πιστοποίησης	Σύντομη περιγραφή	Ιστοσελίδα
SmartWay Europe	Πρωτοβουλία με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO ₂ και τη δημιουργία ενός συστήματος πιστοποίησης για την επιβράβευση των συμμετεχόντων ναυλωτών και μεταφορέων	http://cleanairinitiative.org/portal/sites/default/files/presentations/Bjoern_Hanna_ppel_-_DPDHL_-_SmartWay_Europe_Initiative_-_May2011.pdf

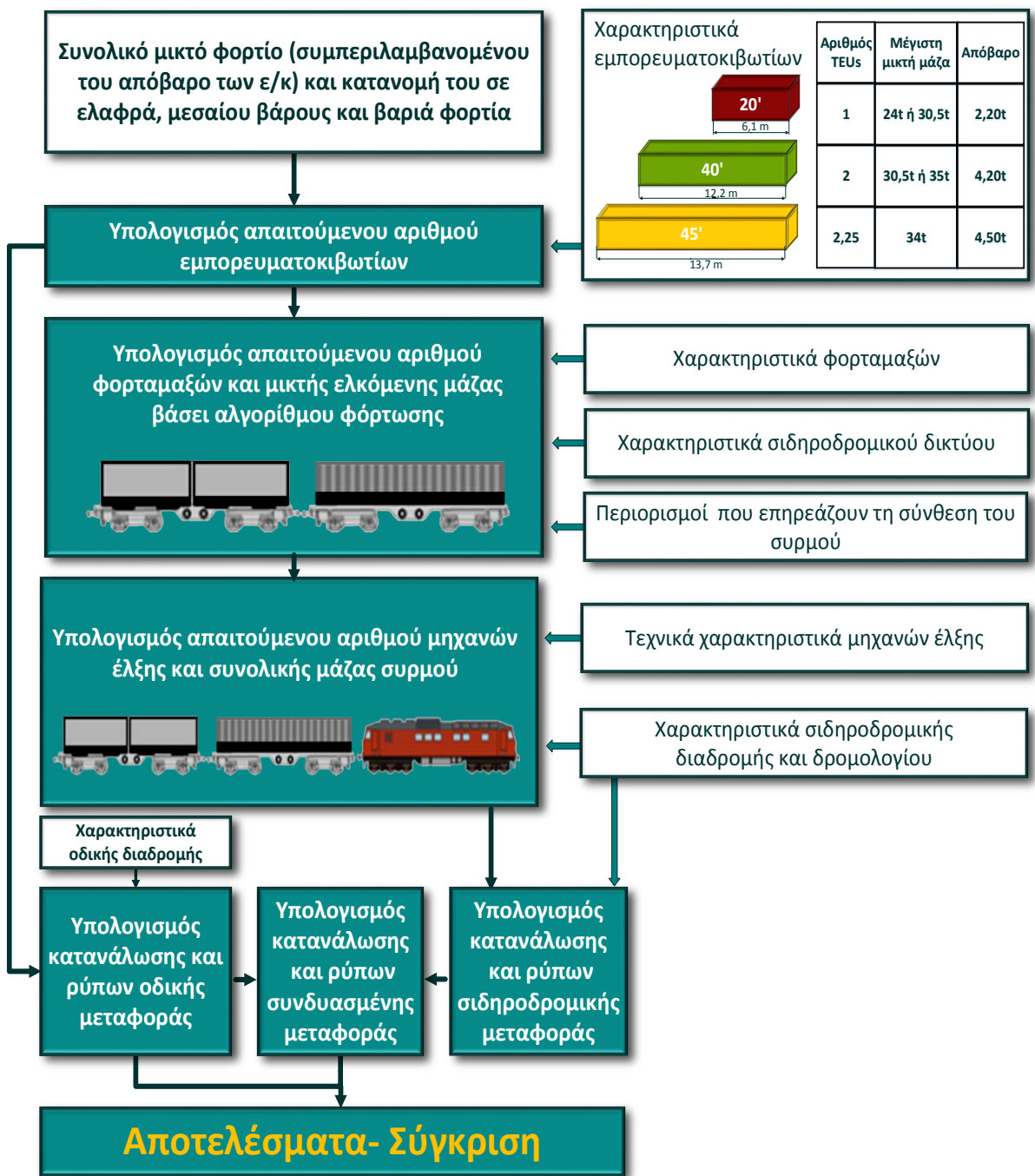
4. Ανάπτυξη μεθοδολογίας

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται η μεθοδολογία με την οποία προσεγγίστηκε το θέμα. Στην 1^η ενότητα παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε και το διάγραμμα ροής της για την καλύτερη δυνατή κατανόηση της. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, αναλύονται τα επιμέρους στοιχεία και βήματα υπολογισμού της μεθοδολογίας.

4.1. Γενική παρουσίαση μεθοδολογικής προσέγγισης

Η μεθοδολογική προσέγγιση που θα αναπτυχθεί στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου έχει ως στόχο τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας και βάσει αυτής του αποτυπώματος άνθρακα μίας σιδηροδρομικής συνδυασμένης μεταφοράς και της ισοδύναμής της αμιγώς οδικής μεταφοράς. Αυτό επιτυγχάνεται εισάγοντας ως δεδομένα το συνολικό ωφέλιμο φορτίο της εξεταζόμενης μεταφοράς και την κατανομή του σε ελαφριά, μεσαίου βάρους και βαριά εμπορεύματα καθώς και τα χαρακτηριστικά των εμπορευματοκιβωτίων που θα χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη μεταφορά ώστε να υπολογιστεί ο απαιτούμενος αριθμός εμπορευματοκιβωτίων. Βάσει αυτού και εισάγοντας τα χαρακτηριστικά της οδικής διαδρομής (απόσταση διαδρομής, ποσοστό διαδρομής εντός αστικού δικτύου, χαρακτηρισμός κλίσης διαδρομής) υπολογίζονται η κατανάλωση και οι ρύποι της οδικής μεταφοράς. Όσον αφορά τη σιδηροδρομική μεταφορά, τα προκύπτοντα εμπορευματοκιβώτια φορτώνονται σε εμπορευματικές φορτάμαξες χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο φόρτωσης που έχει προκύψει από τους περιορισμούς που τίθενται από τον κανονισμό φόρτωσης του ΟΣΕ, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των φορταμαξών και του δικτύου. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο απαιτούμενος αριθμός μηχανών έλξης βάσει των τύπων και των χαρακτηριστικών τους αλλά και παραμέτρων της διαδρομής και του δρομολογίου. Έχοντας καταλήξει στην τελική σύνθεση του συρμού, υπολογίζεται η συνολική του μάζα και τελικά η κατανάλωση και οι ρύποι της σιδηροδρομικής μεταφοράς.

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μεθοδολογικής προσέγγισης.



Εικόνα 13: Η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας εργασίας

4.2. Κατηγοριοποίηση εμπορευμάτων που διακινούνται με συνδυασμένες μεταφορές

Τα φορτία που διακινούνται με συνδυασμένες μεταφορές διακρίνονται σε **τρεις μεγάλες κατηγορίες** (Εικόνα 14), ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά τους και τις ιδιότητές τους:

- Τα επικίνδυνα φορτία
- Τα υγρά φορτία
- Τα ξηρά φορτία

Τα πρώτα είναι φορτία που λόγω των ιδιοτήτων τους έχουν χαρακτηριστεί ως **επικίνδυνα** (εύφλεκτα στερεά, ουσίες που υπόκεινται σε αυτόματη καύση, οξειδωτικές ουσίες, ραδιενεργά υλικά, κτλ) και των οποίων η μεταφορά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

Τα **υγρά φορτία** διακρίνονται σε πέντε υποκατηγορίες (αργό πετρέλαιο, παράγωγα διύλισης, υγροποιημένα αέρια, υγρά χημικά φορτία και λοιπά υγρά).

Τα **ξηρά φορτία** διακρίνονται στα χύδην, στα γενικά φορτία, στα μοναδοποιημένα φορτία και στα φορτία που χρήζουν ειδικής μεταχείρισης.

Ο όρος **χύδην ξηρά φορτία** αναφέρεται σε πρώτες και σε ενεργειακές ύλες που δεν έχουν υποστεί καμία επεξεργασία. Ο σιδηρόδρομος αναλαμβάνει συνήθως τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων χύδην φορτίων, όπως είναι το κάρβουνο, ο λιγνίτης, τα μεταλλεύματα, τα χημικά προϊόντα (π.χ. πετρέλαιο) και τα δημητριακά. Η μεταφορά αυτών των προϊόντων γίνεται πολύ πιο ανταγωνιστική, όταν οι αφηρητές ή οι προορισμοί των εμπορευμάτων (π.χ. κάποιο εργοστάσιο ή κάποιο κέντρο διανομής) περιλαμβάνει ιδιωτικές γραμμές που επιτρέπει στο σιδηρόδρομο να πραγματοποιήσει όλη τη διαδρομή χωρίς ενδιάμεσες μεταφορτώσεις [64].

Στην κατηγορία των **γενικών φορτίων** ανήκουν τα βιομηχανικά και τα ημικατεργασμένα προϊόντα που αφενός μεταφέρονται συσκευασμένα, αλλά όχι σε οποιαδήποτε μορφή μοναδοποιημένου φορτίου. Τα φορτία αυτά σε σχέση με τα φορτία που μεταφέρονται σε χύδην μορφή έχουν, συνήθως, υψηλότερη αξία ανά τόνο φορτίου.

Στην κατηγορία των **φορτίων ειδικής μεταχείρισης** περιλαμβάνονται τα φορτία που λόγω των φυσικών τους ιδιοτήτων χρειάζονται ιδιαίτερη μεταχείριση κατά

τη μεταφορά τους. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και τα φορτία που μεταφέρονται σε κατάσταση ελεγχόμενης θερμοκρασίας, σε κατάσταση ψύξεως καθώς και σε κατάσταση καταψύξεως [65].

Η αυξημένη ανάγκη χειρισμού των φορτίων με την παραδοσιακή έννοια, οδήγησε σε αύξηση του εργατικού κόστους και του κόστους φορτοεκφόρτωσης, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση της τιμής του τελικού προϊόντος. Δημιουργήθηκε, λοιπόν, η ανάγκη για ορθολογικότερη οργάνωση του συστήματος μεταφορών, με την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας και την ταξινόμηση των φορτίων σε ομοιόμορφες μονάδες σχετικά μεγάλου βάρους που να μπορούν να φορτοεκφορτωθούν με ένα χειρισμό, συνθήκες που οδήγησαν στη **μοναδοποίηση των φορτίων**. Η εμφάνιση των θαλάσσιων εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικούς λόγους κατά τη διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου, αποτέλεσε τη βάση για την εξέλιξη του συστήματος των συνδυασμένων μεταφορών. Η πρώτη εμπορική τους εφαρμογή στο οδικό-σιδηροδρομικό-οδικό δίκτυο πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 1950 και υιοθετήθηκε πρώτα από τις Η.Π.Α και αργότερα από την Ευρώπη [66].

Οι μορφές της μοναδοποίησης είναι πολλές, ανάλογα με τη φύση του μεταφερόμενου φορτίου. Τα κυριότερα είδη των μοναδοποιημένων φορτίων που χρησιμοποιούνται στις συνδυασμένες μεταφορές αναλύονται στη συνέχεια (Ενότητα 4.3).



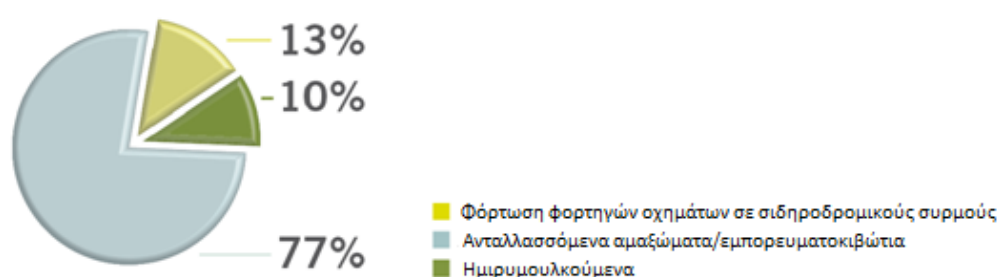
Εικόνα 14: Κατηγοριοποίηση φορτίων που διακινούνται με συνδυασμένες μεταφορές [65]

4.3. Μεταφερόμενες μονάδες

Τα μοναδοποιημένα φορτία χρησιμοποιούνται ώστε να απλοποιηθεί η διαδικασία μεταφοράς (συσκευασία, μετακίνηση, φορτοεκφόρτωση) αλλά και να επιτευχθεί ελάττωση του κόστους μεταφοράς ιδιαίτερα στους σταθμούς μεταφόρτωσης [67]. Τα κυριότερα είδη μοναδοποιημένων φορτίων που χρησιμοποιούνται στις συνδυασμένες μεταφορές, οι οποίες περιλαμβάνουν σιδηροδρομικές συνδέσεις, είναι:

- Οι παλέτες
- Τα εμπορευματοκιβώτια (containers)
- Τα ανταλλασσόμενα αμαξώματα⁵ (swap bodies) και
- Τα ημιρυμουλκούμενα (semi – trailers)

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 15), στις συνδυασμένες μεταφορές χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι από τυποποιημένα και μη εμπορευματοκιβώτια καθώς και ανταλλασσόμενα αμαξώματα σε ποσοστό 77% ενώ τα ημιρυμουλκούμενα σε ποσοστό 10%. Η μειωμένη συμμετοχή των τελευταίων στο σύνολο των συνδυασμένων μεταφορών οφείλεται τόσο στην ασυμβατότητά τους, σε πολλές περιπτώσεις, με τα περιτυπώματα του σιδηροδρομικού δικτύου όσο και στο αυξημένο απόβάρό τους. Τέλος, παρατηρείται ότι ένα ποσοστό της τάξης του 13% των μεταφορών πραγματοποιείται με φόρτωση φορτηγών οχημάτων σε σιδηροδρομικούς συρμούς (Rolling Motorway).



Εικόνα 15: Ποσοστό χρησιμοποίησης στις συνδυασμένες μεταφορές για κάθε τύπο μεταφερόμενων μονάδων [68]

⁵Αντί του όρου «ανταλλασσόμενα αμαξώματα» χρησιμοποιείται ευρέως και ο όρος «κινητά αμαξώματα». Στην παρούσα διπλωματική εργασία υιοθετείται ο όρος «ανταλλασσόμενο αμάξωμα» ως καταλληλότερος, λόγω της λεκτικής του αντιστοιχίας με τον αγγλικό όρο swap-body.

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι ορισμοί, οι διαστάσεις, οι τύποι και τα βασικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των πιο διαδεδομένων τύπων μεταφερόμενων μονάδων στις σιδηροδρομικές συνδυασμένες μεταφορές.

Παλέτες

Οι παλέτες είναι συνήθως κατασκευασμένες από ξύλο, με **τυποποιημένες διαστάσεις** 1000mm X 1200mm (ISO) και 800mm X 1200mm (CEN). Μεταφέρονται μέσω σιδηροδρόμου σε **κλειστές φορτάμαξες** (κατηγορίες G,H) και **πλεονεκτούν μόνο στην περίπτωση ιδιωτικών γραμμών** στην αφετηρία και τον προορισμό της μεταφοράς, καθώς η μεταφόρτωση τους απαιτεί αρκετό χρόνο και γίνεται με χρήση περονοφόρων οχημάτων [64]. Συνήθως, φορτώνονται εντός των υπόλοιπων μεταφορικών μονάδων. Γι' αυτό το λόγο δε κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω ανάλυσή τους στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Εμπορευματοκιβώτια

Το εμπορευματοκιβώτιο είναι κατά βάση ένα κανονικό κιβώτιο που προορίζεται για μεταφορά εμπορευμάτων. **Τεχνικά ορίζεται** ως το είδος του μεταφορικού εξοπλισμού το οποίο:

- α) είναι μόνιμου χαρακτήρα και κατά συνέπεια επαρκώς ανθεκτικό για επανειλημμένη χρήση
- β) είναι ειδικά σχεδιασμένο για διευκόλυνση της μεταφοράς εμπορευμάτων, με έναν ή περισσότερους τρόπους μεταφοράς, χωρίς ενδιάμεση μεταφόρτωση
- γ) είναι εξοπλισμένο με εξαρτήματα που επιτρέπουν τον εύκολο χειρισμό του, ιδίως τη μεταφορά του από ένα μέσο μεταφοράς σε άλλο
- δ) είναι σχεδιασμένο ώστε να φορτώνεται και να ξεφορτώνεται εύκολα
- ε) έχει εσωτερικό όγκο 1 m³ ή περισσότερο [69]

Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO (DIN/ISO 668 και DIN 1590) σχετικά με τις **διαστάσεις** των εμπορευματοκιβωτίων, το πλάτος τους καθορίστηκε στα 8 πόδια (2,44m) και το ύψος τους στα 8 πόδια και 6 ίντσες (2,59m). Τα μήκη τους ποικίλουν σε 10, 20, 30 και 40 πόδια (3,05m, 6,1m, 9,05m και 12,2m αντίστοιχα). Η πλειοψηφία των εμπορευματοκιβωτίων σήμερα συμμορφώνεται με τα διεθνή

πρότυπα κατά ISO με κυρίως χρησιμοποιούμενα αυτά με μήκος 20' και 40'. Βέβαια, σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα χρησιμοποιούνται και εμπορευματοκιβώτια των 10' και των 30', λόγω των εκάστοτε απαιτήσεων της αγοράς.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) παρουσιάζονται οι ελάχιστες εσωτερικές διαστάσεις και ο εσωτερικός όγκος των εμπορευματοκιβωτίων της 1^{ης} σειράς του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης ISO:

Πίνακας 8: Ελάχιστες εσωτερικές διαστάσεις και όγκος των εμπορευματοκιβωτίων της σειράς ISO1 [67]

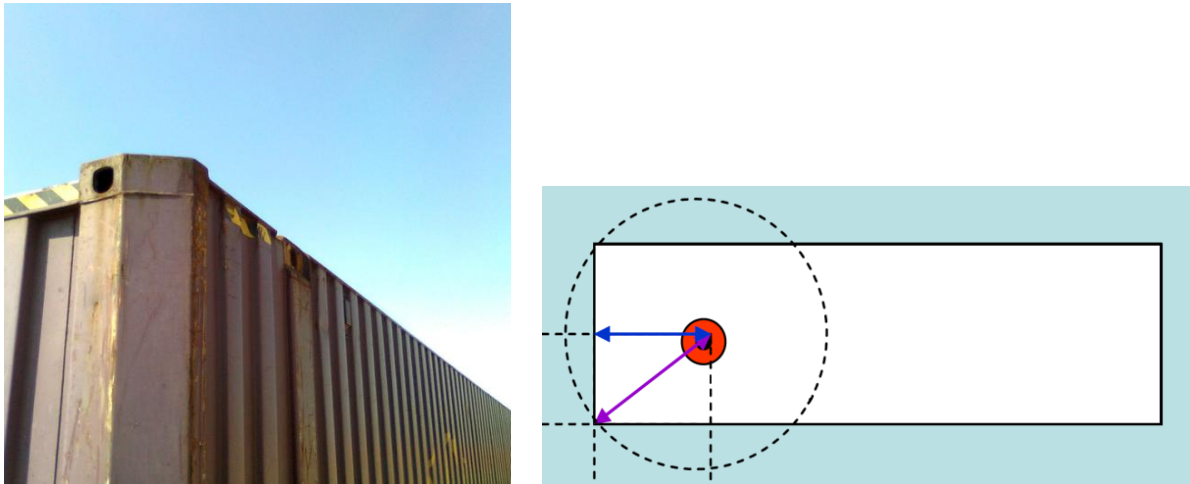
Χαρακτηρ. Συμβολισμός	Ελάχιστο ύψος (mm)	Ελάχιστο πλάτος (mm)	Ελάχιστο μήκος(mm)	Ελάχιστος όγκος (m ³)
IA	2.197	2.299	11.898	60,5
IAA	2.350	2.299	11.998	64,8
IB	2.197	2.299	8.931	45
IC	2.197	2.299	5.867	29
ID	2.197	2.299	2.802	14,1
IE	2.197	2.299	1.780	9
IF	2.197	2.299	1.273	6,4

Η ανάγκη, όμως, για μεταφορά όλο και περισσότερων προϊόντων καθώς και η αύξηση της αξίας της συσκευασίας και της στοιβασίας οδήγησαν σε μεγαλύτερα, πλατύτερα και υψηλότερα εμπορευματοκιβώτια που αποκλίνουν από τις διαστάσεις των αρχικών προτύπων. Έτσι, αναπτύχθηκαν τα λεγόμενα **jumbo εμπορευματοκιβώτια**.

Παραδείγματα των παραπάνω είναι τα «**εμπορευματοκιβώτια μεγάλου ύψους**» (high cube containers) που παρουσιάζουν αυξημένη τη διάσταση του ύψους, λαμβάνοντας την τιμή των 9 ποδών και 6 ιντσών (2,90m). Ως προς την κατασκευή τους είναι παρόμοια με τα τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια και συνήθως κατασκευάζονται με μήκος 40 ποδών, αλλά και με μήκος 45 ποδών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις συνδυασμένες σιδηροδρομικές μεταφορές παρουσιάζουν τα **εμπορευματοκιβώτια των 45 ποδών**. Έχοντας μήκος μεγαλύτερο κατά 10% σε σχέση με τα εμπορευματοκιβώτια των 40 ποδών, μπορούν να μεταφέρουν την ίδια ποσότητα παλετών (ευρωπαϊκών ή 100*120cm παλετών)

με τα ημιρυμουλκούμενα. Ακόμη, λόγω διαστάσεων, έχουν δυνατότητα μεταφοράς με φορτηγά οχήματα (αυτά με τις μέγιστες διαστάσεις), ακολουθώντας, βέβαια κάποιους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις οδικές μεταφορές. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 16) παρουσιάζεται η ειδική διαμόρφωση των ακμών τους ώστε να πληρούν τους προαναφερθέντες κανονισμούς.



Εικόνα 16: Διαμόρφωση των ακμών των εμπορευματοκιβωτίων 45 ποδών

Στον πίνακα που παρουσιάζεται στη συνέχεια (Πίνακας 9) δίνονται οι συνήθεις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά των ευρέως χρησιμοποιούμενων εμπορευματοκιβωτίων στις συνδυασμένες σιδηροδρομικές μεταφορές καθώς και των εμπορευματοκιβωτίων μεγάλου ύψους.

Μονάδα μέτρησής τους είναι το 1 TEU, το οποίο ισοδυναμεί με ένα εμπορευματοκιβώτιο των 20 ποδών κατά ISO, οπότε όλα τα εμπορευματοκιβώτια ανάγονται σε εκείνα των 20' (π.χ. το εμπορευματοκιβώτιο των 40' ισούται με 2 TEUs).

Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (DIN ISO 4346), οι **βασικότεροι τύποι** εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιούνται είναι [70]:

- εμπορευματοκιβώτια γενικού φορτίου (general purpose containers)
- εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς υγρού χύδην φορτίου (tank containers)
- εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk containers)
- εμπορευματοκιβώτια τύπου πλατφόρμας βάσης (platform containers)
- κλιματιζόμενα εμπορευματοκιβώτια (reefer containers)
- εμπορευματοκιβώτια ανοικτής οροφής (open-top containers), και

- εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς ειδικού φορτίου (named cargo containers)

Όλα τα τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια είναι κατασκευασμένα ώστε ο **χειρισμός** τους να γίνεται, μέσω των κατάλληλων γωνιακών σημείων που διαθέτουν, χωρίς να προκαλείται δυσμενής επίδραση στη στατική τους επάρκεια, με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

α) Ανύψωση έμφορτου εμπορευματοκιβωτίου από τα πάνω γωνιακά με τη βοήθεια κεφαλών που κλειδώνουν σε αυτά

β) Ανύψωση έμφορτου εμπορευματοκιβωτίου από τα κάτω γωνιακά, σχηματίζοντας γωνία 45 μοιρών

γ) Ανύψωση έμφορτου ή κενού εμπορευματοκιβωτίου με τη βοήθεια ανυψωτικών μηχανημάτων και των κατάλληλων υποδοχών του

Σχετικά με την **τοποθέτηση παλετών** στα τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια, έχει εντοπιστεί ένα **σημαντικό μειονέκτημα** που συντάται κυρίως στην Ευρώπη, λόγω της χρήσης των τυποποιημένων ευρωπαϊκών (800mm*1200mm). Πιο συγκεκριμένα, στο τυποποιημένο εμπορευματοκιβώτιο μήκους 40 ποδών (40'), στη μικρότερη διάσταση του, μήκους 2,35m, μπορούν να τοποθετηθούν δύο ευρωπαϊκές με διαστάσεις 0,8m x 1,2m. Αυτό έχει ως επακόλουθο την υποχρησιμοποίηση του διαθέσιμου χώρου (παραμένουν 0,35m ανεκμετάλλευτα), ενώ σε αυτή την περίπτωση προκύπτουν και θέματα ασφάλειας του εμπορεύματος. Το συγκεκριμένο ζήτημα είναι και ένας από τους λόγους που τα τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια δεν έχουν γενικευτεί στις χερσαίες/οδικές μεταφορές στην Ευρώπη, αφού τα συμβατικά φορητά λόγω των διαστάσεων του ρυμουλκούμενού τους μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερο αριθμό ευρωπαϊκών. Παράλληλα, αυτό το μειονέκτημα τους οδήγησε και στην ανάπτυξη των **εμπορευματοκιβωτίων μεγαλύτερου πλάτους (pallet-wide containers)** καθώς και των **ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων**.

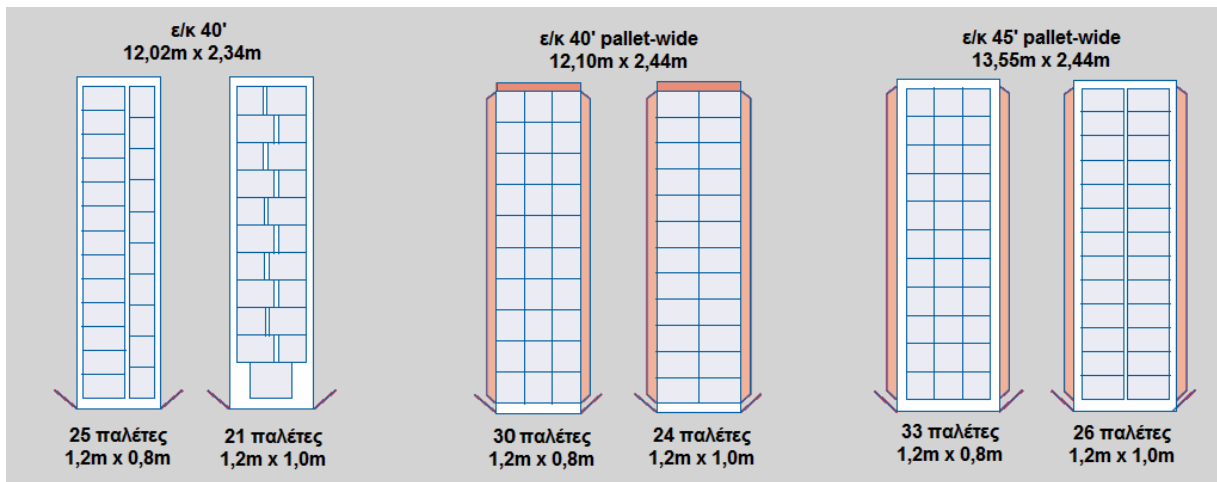
Πίνακας 9: Συγκριτική παρουσίαση διαστάσεων και μεταφορικής ικανότητας διάφορων τύπων εμπορευματοκιβωτίων [71]

		Εμπορευματοκιβώτιο 20'		Εμπορευματοκιβώτιο 40'		Εμπορευματοκιβώτια μεγάλου ύψους 40'		Εμπορευματοκιβώτια μεγάλου ύψους 45'	
		Αγγλοσαξονικό	Μετρικό	Αγγλοσαξονικό	Μετρικό	Αγγλοσαξονικό	Μετρικό	Αγγλοσαξονικό	Μετρικό
Σύστημα μονάδων									
Εξωτερικές διαστάσεις	Μήκος	19' 10 1/2"	6.058 m	40' 0"	12.192 m	40' 0"	12.192 m	45' 0"	13.716 m
	Πλάτος	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m
	Ύψος	8' 6"	2.591 m	8' 6"	2.591 m	9' 6"	2.896 m	9' 6"	2.896 m
Εσωτερικές διαστάσεις	Μήκος	18' 8 13/16"	5.710 m	39' 5 45/64"	12.032 m	39' 4"	12.000 m	44' 4"	13.556 m
	Πλάτος	7' 8 19/32"	2.352 m	7' 8 19/32"	2.352 m	7' 7"	2.311 m	7' 8 19/32"	2.352 m
	Ύψος	7' 9 57/64"	2.385 m	7' 9 57/64"	2.385 m	8' 9"	2.650 m	8' 9 15/16"	2.698 m
Διαστάσεις ανοίγματος	Πλάτος	7' 8 1/8"	2.343 m	7' 8 1/8"	2.343 m	7' 6"	2.280 m	7' 8 1/8"	2.343 m
	Ύψος	7' 5 3/4"	2.280 m	7' 5 3/4"	2.280 m	8' 5"	2.560 m	8' 5 49/64"	2.585 m
Όγκος		1,169 ft ³	33.1 m ³	2,385 ft ³	67.5 m ³	2,660 ft ³	75.3 m ³	3,040 ft ³	86.1 m ³
Μέγιστο μικτό βάρος		66,139 lb	30,400 kg	66,139 lb	30,400 kg	68,008 lb	30,500 kg	66,139 lb	30,400 kg
Απόβαρο		4,850 lb	2,200 kg	8,380 lb	3,800 kg	8,598 lb	3,900 kg	10,580 lb	4,800 kg
Ωφέλιμο βάρος		61,289 lb	28,200 kg	57,759 lb	26,600 kg	58,598 lb	26,800 kg	55,559 lb	25,600 kg

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 10) παρουσιάζονται οι διαστάσεις διαφόρων τύπων εμπορευματοκιβωτίων καθώς και ο αριθμός των παλετών που είναι δυνατό να τοποθετηθούν σε κάθε τύπο. Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται μία σχηματική απεικόνιση του τρόπου διάταξης των παλετών εντός των τριών πιο συχνά χρησιμοποιούμενων εμπορευματοκιβωτίων στις συνδυασμένες σιδηροδρομικές μεταφορές και για τους δύο τύπους παλετών.

Πίνακας 10: Διαστάσεις και χωρητικότητα (σε παλέτες) διάφορων τύπων εμπορευματοκιβωτίων [72]

Αριθμός παλετών/Διαστάσεις	Τύπος ε/κ	Εσωτερικές διαστάσεις ε/κ				Απόβαρο [Kg]
		Μήκος [mm]	Πλάτος [mm]	Ύψος [mm]	Όγκος [m ³]	
9 παλέτες - 1.2 x 1.0m 11 παλέτες - 1.2 x 0.8m	20' Standard	5900	2352	2393	33,2	2230
9 παλέτες - 1.2 x 1.0m 11 παλέτες - 1.2 x 0.8m	20' Open Top	5910	2337	2345	32	2750
9 παλέτες - 1.2 x 1.0m 11 παλέτες - 1.2 x 0.8m	20' x 9'6" Open Top	5890	2335	2605	36	2850
21 παλέτες - 1.2x1.0m 25 παλέτες - 1.2 x 0.8m	40' Standard	12034	2352	2395	67,8	3740
21 παλέτες - 1.2x1.0m 25 παλέτες - 1.2 x 0.8m	40' High Cube	12034	2352	2700	76,4	3900
24 παλέτες - 1.2 x 1.0m 30 παλέτες - 1.2 x 0.8m	40' Palletwide	12090	2437	2371	70	4350
24 παλέτες - 1.2 x 1.0m 30 παλέτες - 1.2 x 0.8m	40' High Cube Palletwide	12095	2444	2692	79,6	4260
21 παλέτες - 1.2 x 1.0m 25 παλέτες - 1.2 x 0.8m	40' Refrigerated	11565	2260	2225	58	4650
21 παλέτες - 1.2 x 1.0m 25 παλέτες - 1.2 x 0.8m	40' Refrigerated High Cube	11584	2294	2557	58	4140/4170
24 παλέτες - 1.2 x 1.0m 27 παλέτες - 1.2 x 0.8m	45' High Cube	13556	2352	2700	86	4700
26 παλέτες - 1.2 x 1.0m 33 παλέτες - 1.2 x 0.8m	45' High Cube Palletwide	13624	2420	2687	88,59	4980
26 παλέτες - 1.2 x 1.0m 33 παλέτες - 1.2 x 0.8m	45' Palletwide Reefer container	13280	2440	2582	83,7	4980



Εικόνα 17: Διάταξη παλετών στα ISO εμπορευματοκιβώτια [73]

Ανταλλασσόμενα αμαξώματα (swap bodies)

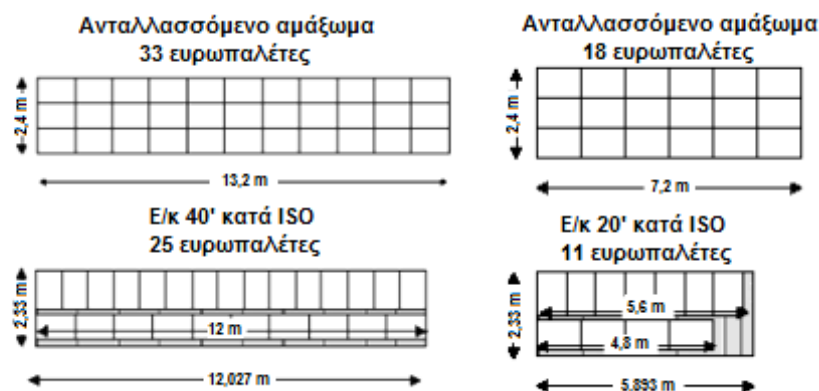
Το ανταλλασσόμενο αμάξωμα είναι μία μονάδα μεταφοράς φορτίου, **βελτιστοποιημένη σε διαστάσεις οδικού οχήματος**, η οποία διαθέτει διατάξεις χειρισμού για διατροφικές μεταφορές, συνήθως οδικές/σιδηροδρομικές [69]. Η τυποποίηση των ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων καθορίστηκε με τους κανονισμούς EN 283,284 και 452 όσον αφορά την κατασκευή και το σχεδιασμό τους, όπως επίσης και από τον κανονισμό EN 13044 όσον αφορά την κωδικοποίησή τους. Ακολουθούν, όμως, τις αρχές σχεδιασμού των τυποποιημένων κατά ISO εμπορευματοκιβωτίων και μπορούν να φορτοεκφορτωθούν από τον αντίστοιχο εξοπλισμό.

Όσον αφορά τις **διαστάσεις** τους, τα ανταλλασσόμενα αμαξώματα παρουσιάζουν μεγαλύτερα πλάτη και μήκη σε σχέση με τα αντίστοιχα τυποποιημένα κατά ISO εμπορευματοκιβώτια. Συνήθως το πλάτος τους (εξωτερικό) κυμαίνεται περίπου στα 2,5m (ή 2,55m), ενώ το μήκος τους ποικίλει με συνήθεις τιμές: 7,15m, 7,45m, 7,82m και 13,6m. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11) παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι τους, όπως αυτοί ορίζονται στο δελτίο 592-4 της Διεθνούς Ένωσης Σιδηροδρόμων (UIC).

Πίνακας 11: Τύποι ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων [74]

Μήκους 7,15 m, στοιβάσιμο, με συρόμενη θύρα	Εξωτερικό πλάτος 2,500 mm Εξωτερικό ύψος 2,700 mm
Μήκους 7,15 m, στοιβάσιμο box end door loading	Εξωτερικό πλάτος 2,440 mm Εξωτερικό ύψος 2,361 mm
Μήκους 13,6m, στοιβάσιμο	Εξωτερικό πλάτος 2,500 mm Εξωτερικό ύψος 2,703 mm
Μήκους 13,6m, Euro box	Εξωτερικό πλάτος 2,500 mm Εξωτερικό ύψος 2,770 mm
Μήκους 12,2m, Euro liner	Εξωτερικό πλάτος 2,500 mm Εξωτερικό ύψος 2,770 mm
Μήκους 7,15m, με συρόμενη θύρα	Εξωτερικό πλάτος 2,500 mm Εξωτερικό ύψος 2,670 mm (Type A)
Μήκους 7,15m, Euro liner (full side access unit, for combined traffic)	Εξωτερικό πλάτος 2,500 mm Εξωτερικό ύψος 2,670 mm (Type B)

Λόγω του πλάτους τους υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης τριών ευρωπαϊκών με τη μικρότερη τους πλευρά ($3 \cdot 0,80 = 2,4 < 2,5$) ή δύο ευρωπαϊκών με τη διάσταση των 1,2m. Θεωρώντας ως μέγιστο μήκος του αμαξώματος τα 13,6m, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης 33 ευρωπαϊκών κατά πλάτος σε αντίθεση με το τυποποιημένο 40' εμπορευματοκιβώτιο που έχει δυνατότητα τοποθέτησης 25 ευρωπαϊκών κατά στρώση. Παρατηρείται, λοιπόν, μια **αυξημένη χωρητικότητα** της τάξης του 30%, που στην περίπτωση των ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων μικρότερης διάστασης (7,2m μήκος) αγγίζει το 63%.



Εικόνα 18: Σύγκριση χωρητικότητας (σε ευρωπαϊκές) των ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων και των εμπορευματοκιβωτίων αντίστοιχου μήκους [74]

Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα τους είναι η ύπαρξη πολλών διαφορετικών τύπων, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη προσαρμογή τους στις ανάγκες μεταφοράς προϊόντων διαφορετικής φύσης. Πιο συγκεκριμένα, η πλαισιωτή τους βάση σε συνδυασμό με τις ανταγωνιστικές τους διαστάσεις στις χερσαίες μεταφορές συνέβαλε στην κατασκευαστική τους ευελιξία και στη δημιουργία ενός μεγάλου εύρους υπερκατασκευών. Παρακάτω περιγράφονται **ορισμένοι τύποι** τους:

- i) ανταλλασσόμενα αμαξώματα με κουρτίνα και συρόμενη οροφή
- ii) ανταλλασσόμενα αμαξώματα με πλευρικά τοιχώματα από μουςαμά
- iii) ανταλλασσόμενα αμαξώματα-Δεξαμενές κ.α.

Η **φορτοεκφόρτωσή** τους γίνεται με τη βοήθεια αρπάγης με κινητούς βραχίονες που εισέρχονται σε κατάλληλα διαμορφωμένες εσοχές στα πλευρά της βάσης. Υπό προϋποθέσεις (ύπαρξη κατάλληλων γωνιακών τεμαχίων) είναι δυνατός και ο χειρισμός από την οροφή. Αν και το μικρό απόβαρο αποτελεί ένα από τα πλεονεκτήματα των ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων, με την έννοια του χαμηλού αρχικού κόστους και του χαμηλού κόστους καυσίμων για τη μεταφορά τους, παράλληλα συνιστά εμπόδιο για την καθ' ύψος στοιβασία τους. Δεν διαθέτουν τη στιβαρή κατασκευή των εμπορευματοκιβωτίων, με αποτέλεσμα συνήθως να μη στοιβάζονται καθ' ύψος, εκτός από μερικούς τύπους που επιτρέπουν στοιβασία μέχρι 3 καθ' ύψος [75]. Ακόμη, σε ορισμένους τύπους ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων, είναι δυνατή η προσαρμογή ειδικών πρόσθετων στηριγμάτων (ποδιών), τα οποία επιτρέπουν την απόθεση τους από το φορτηγό όχημα στο χώρο στοιβασίας ή τη μεταφορά τους μεταξύ των φορτηγών **χωρίς τη χρήση γερανού μεταφόρτωσης**, εξασφαλίζοντάς τα, όμως, έναντι ολίσθησης.

Συνοψίζοντας, από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι τα ανταλλασσόμενα αμαξώματα **πλεονεκτούν σε σχέση με τα εμπορευματοκιβώτια** και έχουν επικρατήσει στις χερσαίες μεταφορές στην Ευρώπη επειδή:

- έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα για τις ευρωπαϊκές και τα υγρά φορτία, λόγω της βελτιστοποίησης των διαστάσεών τους
- λόγω του σχεδιασμού τους παρουσιάζουν μικρό απόβαρο, ώστε να επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση του έμφορτου περιεχομένου τους.

- αρκετά είναι εφοδιασμένα με «πτυσσόμενα πόδια» κάτω από το πλαίσιο τους ώστε να διευκολύνεται η μεταφορά από το ένα φορτηγό στο άλλο όπως επίσης και η εναπόθεσή τους στους τερματικούς σταθμούς, χωρίς τη χρήση γερανού.
- η κατασκευαστική τους πολυμορφία τους προσδίδει ευελιξία

Ημιρυμουλκούμενα με δυνατότητα μεταφόρτωσης σε σιδηροδρομικό συρμό

Τα συγκεκριμένα ημιρυμουλκούμενα **εναρμονίζονται με τις προδιαγραφές των συμβατικών οδικών οχημάτων**, που έχουν μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος 13,6m, και έχουν τη δυνατότητα φόρτωσης σε βαγόνια με τη βοήθεια είτε γερανογεφυρών είτε ανυψωτικών μηχανημάτων εξοπλισμένων με βραχίονες, μιας και διαθέτουν κατάλληλους υποδοχείς στις τέσσερις θέσεις ανύψωσης στο εξωτερικό πλαίσιο τους. Τα συνήθη ημιρυμουλκικά έχουν μήκος 13,6m, πλάτος 2,55m ή 2,6m και ύψος 4m.

Ορισμένα **τεχνικά χαρακτηριστικά** τους είναι τα εξής:

- Έχουν **μεγαλύτερο απόβαρο** λόγω του ρυμουλκούμενου μηχανισμού
- Επιτρέπουν **γρήγορη και εύκολη επαναφόρτωση**
- Απαιτούν το **ίδιο περίπου κόστος** τόσο για τους οδικούς όσο και για τους σιδηροδρομικούς μεταφορείς
- Προϋποθέτουν **συγκεκριμένου τύπου βαγόνια και εξοπλισμό** για το χειρισμό τους, λόγω των διαστάσεών τους [76]



Εικόνα 19: Ημιρυμουλκούμενο με δυνατότητα μεταφόρτωσης σε σιδηροδρομική φορτάμαξα [77]

Το βασικό μειονέκτημα των ημιρυμουλκούμενων με δυνατότητα μεταφόρτωσης σχετίζεται με την **ασυμβατότητα των διαστάσεών τους με τα**

περιτυπώματα των σιδηροδρομικών γραμμών. Οι διαστάσεις των σηράγγων και των γεφυρών δεν επαρκούν ώστε να διέλθουν τα ημιρυμουλκούμενα, οπότε απαιτείται είτε τροποποίηση της υποδομής, η οποία είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, είτε χρήση βαγονιών με χαμηλό δάπεδο. Αυτός είναι και ο λόγος που οι συγκεκριμένες μεταφερόμενες μονάδες **δεν χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα.**

4.4. Τύποι και χαρακτηριστικά ελκόμενου τροχαίου υλικού

Η **επιλογή** του κατάλληλου τροχαίου υλικού για την πραγματοποίηση μιας σιδηροδρομικής μεταφοράς αποτελεί σημαντικό παράγοντα τόσο για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της μεταφοράς, όσο και για την καλύτερη αξιοποίηση του τροχαίου υλικού. Η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου τροχαίου υλικού είναι σαφώς **πιο κρίσιμη στις εμπορευματικές μεταφορές**, όπου οι απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά μιας μεταφοράς μπορεί να αλλάζουν κατά περίπτωση. Αντίθετα, στις επιβατικές μεταφορές γίνεται εξαρχής η επιλογή του τροχαίου υλικού που θα εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο τμήμα της γραμμής με βάση τα χαρακτηριστικά τόσο της γραμμής (π.χ. δυνατότητα ηλεκτροκίνησης), όσο και της προσφερόμενης υπηρεσίας (π.χ. υπεραστική, προαστιακή).

Εμπορευματικές φορτάμαξες

Κατά τη σύνθεση ενός εμπορευματικού συρμού, επομένως, κρίνεται σκόπιμο, να επιλέγεται κάθε φορά η καλύτερη φορτάμαξα που ικανοποιεί τις συνθήκες και τις απαιτήσεις της μεταφοράς. Στην περίπτωση συνδυασμού διαφορετικών κατηγοριών φορταμαξών στον ίδιο συρμό πρέπει να ελέγχεται και η δυνατότητα ασφαλούς συνδυασμού τους, καθώς **πρέπει να αποφεύγεται ο συνδυασμός φορταμαξών με διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ τους** [78].

Οι **κατηγορίες των εμπορευματικών φορταμαξών** είναι συγκεκριμένες κι έχουν τυποποιηθεί και κωδικοποιηθεί από τη Διεθνή Ένωση Σιδηροδρόμων (UIC) [64]. Σε κάθε κατηγορία αντιστοιχούν αρκετοί τύποι σιδηροδρομικών οχημάτων με διαφορετικά χαρακτηριστικά το καθένα. Οι τύποι αυτοί προκύπτουν είτε από τις οδηγίες της UIC στα αντίστοιχα φύλλα της (571-1, 571-2, 571-3, 571-4), είτε από διαφοροποιήσεις στις οποίες έχουν προβεί οι κατασκευαστές για να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένες απαιτήσεις (Πίνακας 12).

Πίνακας 12: Κατηγορίες φορταμαζών κατά UIC [64]

Κατηγορία φορταμαζών με κωδικοποίηση κατά UIC		Χρησιμοποιούμενοι όροι στην ελληνική βιβλιογραφία			Χρησιμοποιούμενος όρος
		Επίσημη μετάφραση ΕΕ	ΟΣΕ	Πυργίδης (2009, σσ. 514-520)	
E	Ordinary open high-sided wagon	Ανοιχτό όχημα με υψηλά πλευρικά τοιχώματα	Βαγόني με υψηλές παρειές ή ανοιχτή ανατρεπόμενη φορτάμαξα υψηλών παρειών	Όχημα χωρίς στέγη με υψηλές παρειές κοινής (ή γενικής) χρήσης	Ανοιχτή φορτάμαξα με υψηλά πλευρικά τοιχώματα, τυπικής κατασκευής
F	Special open high-sided wagon			Όχημα χωρίς στέγη με υψηλές παρειές ειδικής χρήσης	Ανοιχτή φορτάμαξα με υψηλά πλευρικά τοιχώματα, ειδικής κατασκευής
G	Ordinary covered wagon	Σκεπαστό βαγόني	Κλειστό βαγόني	Κλειστό όχημα ή όχημα με στέγη κοινής (ή γενικής) χρήσης	Κλειστή φορτάμαξα, τυπικής κατασκευής
H	Special covered wagon	Σκεπαστό βαγόني	Κλειστό βαγόني	Κλειστό όχημα ή όχημα με στέγη	Κλειστή φορτάμαξα, ειδικής κατασκευής
I	Temperature-controlled wagons		Βαγόني ψυγείο	Ψυγείο όχημα	Φορτάμαξα με ελεγχόμενη θερμοκρασία (περιλαμβάνει και την φορτάμαξα με μονωμένα τοιχώματα)
K	Ordinary flat wagon with separate axles	Επίπεδο όχημα	Βαγόني πλατφόρμας ή επίπεδη φορτάμαξα	Επίπεδο όχημα ή όχημα χωρίς στέγη και χωρίς παρειές κοινής (ή γενικής) χρήσης	Επίπεδη, διαξονική φορτάμαξα τυπικής κατασκευής
L	Special flat wagon with separate axles		Βαγόني πλατφόρμα	Επίπεδο όχημα ή όχημα χωρίς στέγη και χωρίς παρειές ειδικής χρήσης	Επίπεδη φορτάμαξα με ανεξάρτητους άξονες, ειδικής κατασκευής
O	Open multi-purpose wagon (open high-sided/ flat composite wagon)	Ανοιχτό όχημα με σύνθετα επίπεδα / υψηλά τοιχώματα	Βαγόني πλατφόρμα ή επίπεδη φορτάμαξα χαμηλών παρειών	Όχημα χωρίς στέγη με χαμηλές παρειές	Ανοιχτή φορτάμαξα χαμηλών παρειών
R	Ordinary flat wagon with bogies	Επίπεδο όχημα με ή χωρίς αναδιπλούμενα πλευρικά τοιχώματα	Βαγόني πλατφόρμα ή επίπεδη φορτάμαξα	Επίπεδο όχημα ή όχημα χωρίς στέγη και χωρίς παρειές κοινής (ή γενικής) χρήσης	Επίπεδη φορτάμαξα με φορεία, τυπικής κατασκευής
S ⁶	Special flat wagon with bogies	Επίπεδο όχημα	Βαγόني πλατφόρμα	Επίπεδο όχημα ή όχημα χωρίς στέγη και χωρίς παρειές ειδικής χρήσης	Επίπεδη φορτάμαξα με φορεία, ειδικής κατασκευής
T	Goods wagon with opening roof	Όχημα με οροφή που ανοίγει	Βαγόني με υψηλές παρειές		Φορτάμαξα με ανοιγόμενη στέγη
U	Special wagons		Ειδικό βαγόني	Όχημα ειδικής χρήσης	Φορτάμαξα ειδικής χρήσης
Z	Tank wagon		Βαγόني βυτίο ή βυτιοφόρα φορτάμαξα	Βυτιοφόρο όχημα	Βυτιοφόρα φορτάμαξα

⁶ Οι φορτάμαξες κατηγορίας S (UIC 571-4) είναι ειδικά κατασκευασμένες για τη χρησιμοποίησή τους σε συνδυασμένες μεταφορές και μπορεί να είναι, πέραν της κλασικής μορφής, βαθυδάπεδες (για τη μείωση του περιτυπώματος) ή αρθρωτές (για την αύξηση του ωφέλιμου φορτίου).

Η επιλογή της κατάλληλης φορτάμαξας για μία μεταφορά γίνεται με βάση τα ιδιαίτερα τεχνικά και λειτουργικά **χαρακτηριστικά** των φορταμαξών που διατίθενται. Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά αυτά των εμπορευματικών φορταμαξών καταρτίστηκε ο παρακάτω πίνακας κριτηρίων επιλογής φορτάμαξας (Πίνακας 13).

Πίνακας 13: Κριτήρια επιλογής φορταμαξών [64]

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Αριθμός αξόνων
	Μήκος μεταξύ προσκρουστήρων
	Ωφέλιμο μήκος φορτώσεως
	Ωφέλιμο πλάτος φορτώσεως
	Ύψος δαπέδου από κεφαλή σιδηροτροχιάς
	Ύψος μετωπικών παρειών
	Μέγιστο ύψος φορτάμαξας
	Μέγιστο ανεμπόδιστο ύψος
	Ωφέλιμη επιφάνεια φορτώσεως
	Ωφέλιμο φορτίο
	Ωφέλιμος όγκος
	Απόβαρο
	Μέγιστη ταχύτητα οχήματος
	Απόσταση μεταξύ των αξόνων των φορειών
	Αντοχή αγκίστρου-κορσέ
Στοιχεία φορτώσεως-ταχύτητας	
Λειτουργικά χαρακτηριστικά	Δυνατότητα ανατροπής κιβωτίου
	Ύπαρξη πλευρικών θυρών
	Ύπαρξη πτυσσόμενων μετωπικών παρειών ή άλλων μέσων που επιτρέπουν την κίνηση των οχημάτων
	Δυνατότητα εισόδου περονοφόρου
	Ύπαρξη θέρμανσης
	Δυνατότητα αερισμού
	Ύπαρξη ανεξάρτητων χωρισμάτων (εντός βαγονιού)
	Ύπαρξη καταπακτών και αντίστοιχου εξοπλισμού φόρτωσης (για χύδην εμπορεύματα)
Περιορισμοί	Απαιτήση καθαρισμού λόγω προηγούμενης μεταφοράς
	Διαθεσιμότητα

Φορτάμαξες συνδυασμένων μεταφορών

Από τις κατηγορίες φορταμαξών της UIC, που αναφέρθηκαν παραπάνω, αυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις συνδυασμένες μεταφορές είναι οι επίπεδες φορτάμαξες τύπου «K», «L», «R» και «S». Αυτές είναι είτε φορτάμαξες ειδικά σχεδιασμένες για αυτές είτε άλλες επίπεδες φορτάμαξες που χρησιμοποιούνται ελλείψει των πρώτων.

Όσον αφορά τις πρώτες, σήμερα η φορτάμαξα των 60 ποδών για εμπορευματοκιβώτια και ανταλλασσόμενα αμαξώματα είναι ο πιο κοινός τύπος

φορτάμαξας συνδυασμένων μεταφορών με μερίδιο της τάξης του 50%. Ωστόσο, μια μεγάλη ποικιλία άλλων τύπων έχουν αναπτυχθεί για να καλύπτουν τις απαιτήσεις, που δημιουργούνται λόγω της ποικιλίας των μεταφερόμενων μονάδων, από άποψη μήκους και βάρους. Πέρα από την προαναφερθείσα φορτάμαξα, άλλοι δύο τύποι γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς: οι εξαξονικές αρθρωτές με μήκος φόρτωσης μέχρι 104 πόδια για ανταλλασσόμενα αμαξώματα και οι φορτάμαξες με μήκος 80 ή 90 πόδια για εμπορευματοκιβώτια καθώς και μονά ή διπλά βαγόνια (single or double rocket wagons) για μεταφορά ημιρυμουλκούμενων και ανταλλασσόμενων αμαξωμάτων. Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 14) παρουσιάζονται τα είδη των φορταμαξών που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για συνδυασμένες μεταφορές, ορισμένα χαρακτηριστικά τους καθώς και το μερίδιό τους στη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων.

Πίνακας 14: Τύποι και αριθμός φορταμαξών μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στην Ευρώπη (στοιχεία 2007) [79]

Είδη φορταμαξών	Πλήθος φορταμαξών	TEUs/φορτάμαξα	Πλήθος TEUs	Μερίδιο [%]
60 ποδών, 4-αξονικές	28.000	3	84.000	50,3
80/90 ποδών, 6-αξονικές	5.300	4	21.200	13,2
104 ποδών, 6-αξονικές	3.300	4	13.200	8,2
4-αξονικές, rocket ⁷	1.500	2	3.000	1,9
6-αξονικές, double rocket	1.700	4	6.800	4,2
2- αξονικές	7.800	2	15.600	9,7
Άλλες 4-αξονικές	6.500	2	13.000	8,1
Βαθύπεδες	1.900	2	3.800	2,4
Σύνολο	56.000	-	160.600	98,0

Εκτός από τις παραπάνω, σχεδόν κάθε επίπεδη φορτάμαξα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να μεταφέρει μοναδοποιημένα φορτία. Ακριβή στοιχεία, όμως, για τις φορτάμαξες που δεν είναι ειδικά σχεδιασμένες για τις συνδυασμένες μεταφορές αλλά χρησιμοποιούνται σε αυτές δεν είναι διαθέσιμα. Αυτό συμβαίνει

⁷ Οι φορτάμαξες αυτές είναι ειδικά σχεδιασμένες για τη μεταφορά ημιρυμουλκούμενων βάρους από 7 έως 38 τόννων [80].

επειδή πολλές από αυτές είναι άνω των 30 ετών και ένας σημαντικός αριθμός τους είναι εκτός λειτουργίας (συχνά χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ανταλλακτικά για άλλα βαγόνια, ή είναι σταθμευμένες σε αμαξοστάσια), αν και εξακολουθούν να δηλώνονται στα στατιστικά στοιχεία.

Η χρήση, βέβαια, αυτών των φορταμαξών στις συνδυασμένες μεταφορές συνεπάγεται ορισμένα μειονεκτήματα. Κατ' αρχάς, το απόβαρο τους είναι μεγαλύτερο από το βάρος των φορταμαξών που είναι ειδικά σχεδιασμένες για συνδυασμένες μεταφορές και κατά συνέπεια μπορούν να μεταφέρουν περίπου 5 τόνους λιγότερο ωφέλιμο φορτίο. Επιπλέον, βρίσκονται σε μειονεκτική θέση όσον αφορά τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης, αν και ορισμένα από αυτά τα βαγόνια είναι εξοπλισμένα με πείρους εξασφάλισης (rings) εμπορευματοκιβώτιων. Γι' αυτούς τους λόγους, η χρήση αυτών των οχημάτων για συνδυασμένες μεταφορές είναι πολύ σπάνια στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη, αλλά εξακολουθεί να είναι κοινή στη Νότια και Ανατολική Ευρώπη. Μερικά στοιχεία του ευρωπαϊκού στόλου αυτών των φορταμαξών εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 15).

Πίνακας 15: Τύποι και αριθμός συμβατικών φορταμαξών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις συνδυασμένες μεταφορές, στην Ευρώπη (στοιχεία 2007) [79]

Είδη φορταμαξών	Πλήθος φορταμαξών	TEUs/φορτάμαξα	Πλήθος TEUs	Μερίδιο [%]
2-αξονικές (40 ποδών)	20.000	2	40.000	25,0
4-αξονικές (40/45 ποδών)	15.000	2	30.000	18,8
4-αξονικές (60 ποδών)	30.000	3	90.000	56,2
Σύνολο	65.000	-	160.000	100,0

Στα πλαίσια της ανάπτυξης της μεθοδολογίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 16, με τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες φορτάμαξες για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων από σύνθεση 4 διαφορετικών βιβλιογραφικών πηγών. Ο πίνακας αυτός αναγράφει, πέρα από τον τύπο της φορτάμαξας, τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την συνέχεια, δηλαδή τον αριθμό των αξόνων, το ωφέλιμο μήκος φόρτωσης, το απόβαρο της φορτάμαξας και το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο της και τον αριθμό των TEUs που αυτή μπορεί να μεταφέρει.

Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά φορταμαξών κατάλληλων για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων [81]-[85]

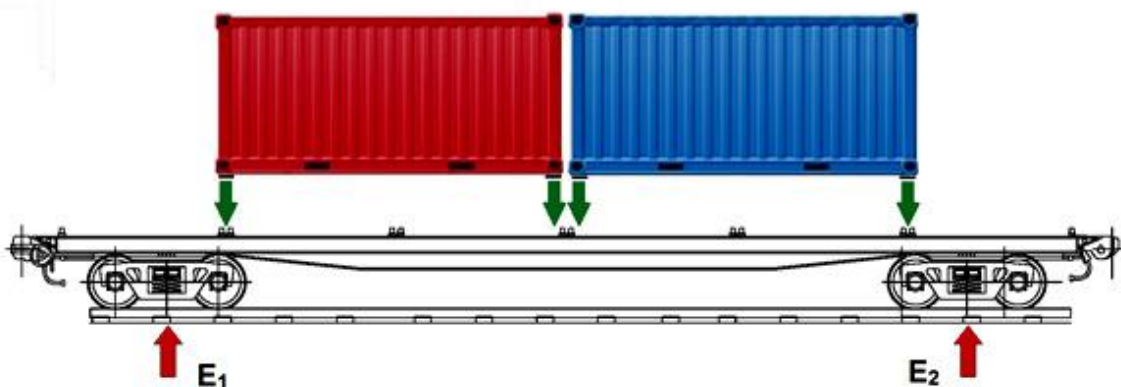
Τύπος φορτάμαξας κατά UIC	Μήκος φόρτωσης [mm]	Απόβαρο [t]	Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο [t]	Μήκος φόρτωσης [ft]	Αριθμός αξόνων
Kbkks	14.340	13,00	26,00	40'	2
Kgs	12.500	12,90	26,00	40'	2
Kgss	12.500	13,40	26,00	40'	2
Laags	25.800	22,50	56,00	80'	4
Lgns	15.260	11,50	33,50	45'	2
Lgns 583	12.620	12,30	32,70	40'	2
Lgs	12.500	12,50	27,50	40'	2
Regs	18.800	27,90	52,00	60'	4
Rgs	18.660	24,00	56,00	60'	4
Rgss	18.520	23,50	56,00	60'	4
Sdggmrs	2*16.100=32.200	32,90	102,00	104'	6
Sdggmrss	2*16.100=32.200	34,50	100,00	104'	6
Sdgkms	15.200	16,50	37,00	45'	4
Sdgmns	17.100	21,00	69,00	45'	4
Sffggmrrss	32.240	39,00	89,00	104'	8
Sggmrs	2*16.100=32.200	30,00	102,00	104'	6
Sggmrss 714	32.200	32,00	104,00	104'	6
Sggmrss 747	27.640	29,50	106,00	90'	6
Sggns	22.590	22,00	68,00	73'	4
Sggnss	24.700	21,50	68,50	80'	4
Sggrss 734	25.160	26,00	109,00	80'	6
Sgjjkmms	14.600	18,00	46,00	45'	4
Sgjs	18.400	23,40	56,50	60'	4
Sgkms	15.890	18,00	46,00	45'	4
Sgkmss 698,1	15.890	18,00	46,00	45'	4
Sgmmns	12.360	19,40	60,50	40'	4
Sgms 750	16.300	18,30	71,50	45'	4
Sgns	18.400	20,00	70,00	60'	4
Sgnss	18.400	20,00	60,00	60'	4
Sgss-y	18.400	22,00	49,50	60'	4

4.5. Υπολογισμός απαιτούμενου αριθμού φορταμαξών

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η μεθοδολογία με την οποία υπολογίζεται ο αριθμός των φορταμαξών που θα απαιτηθεί για μια συγκεκριμένη μεταφορά με δεδομένο τον αριθμό των μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο φόρτωσης, ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις που ορίζει ο κανονισμός φόρτωσης. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν η σύνθεση των φορταμαξών που προέκυψε ικανοποιεί τους περιορισμούς του κανονισμού κίνησης.

4.5.1. Αλγόριθμος φόρτωσης

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η φόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων σε εμπορευματικές φορτάμαξες σύμφωνα με τον κανονισμό φόρτωσης RIV (1998) [86]. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται ο αριθμός των φορταμαξών που απαιτούνται για τη συγκεκριμένη μεταφορά, το συνολικό απόβαρο όλων των φορταμαξών του συρμού και τελικά η μικτή ελκόμενη μάζα του.



Εικόνα 20: Σχηματική απεικόνιση των κατακόρυφων δυνάμεων που ασκούνται στις φορτάμαξες μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Τα φορτία των εμπορευματοκιβωτίων μεταφέρονται μέσω των πείρων των φορέων στην σιδηροτροχιά. Για να εξασφαλίζονται τα προβλεπόμενα από τον κανονισμό φόρτωσης θα πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα οι εξής τρεις συνθήκες (Εικόνα 20):

$$E_1 \leq 40 \text{ t}$$

$$E_2 \leq 40 \text{ t}$$

$$\max (E_1, E_2) / \min (E_1, E_2) \leq 3$$

Οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν για **τετραξονικές φορτάμαξες με φορεία**. Στην περίπτωση των εξαξονικών και οκταξονικών (με φορεία) ισχύουν τα ίδια με την προσθήκη των απαιτούμενων ανισώσεων λόγω της ύπαρξης περισσότερων φορείων. Στην περίπτωση των διαξονικών φορταμαξών οι E_1 και E_2 πρέπει να είναι μικρότερες από 20t και ο λόγος μικρότερος από 2.

Οι δύο πρώτες συνθήκες αφορούν το μέγιστο επιτρεπόμενο αξονικό φορτίο της γραμμής ενώ η τρίτη την κατανομή του φορτίου επί της φορτάμαξας.

Το **μέγιστο επιτρεπόμενο αξονικό φορτίο της γραμμής** προσδιορίζεται ανάλογα με την αντοχή της. Με βάση αυτήν, οι γραμμές κάθε σιδηροδρομικού δικτύου κατηγοριοποιούνται όπως φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 17), σύμφωνα με τον κανονισμό φόρτωσης.

Πίνακας 17: Κατηγορίες σιδηροδρομικής γραμμής

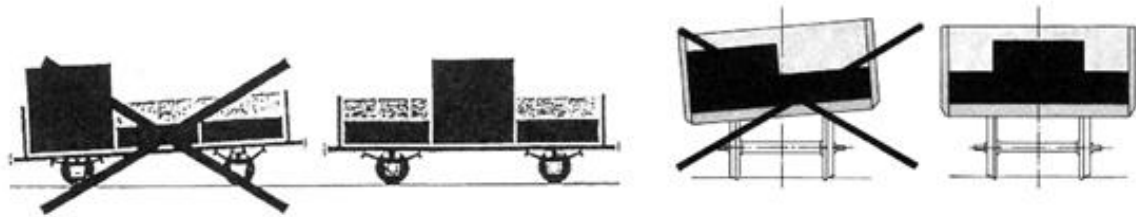
Κατηγορία γραμμής	Μέγιστο φορτίο ανά άξονα	Μέγιστο φορτίο ανά τρέχον μέτρο
A	16 t	5,0 t/m
B ₁	18 t	5,0 t/m
B ₂	18 t	6,4 t/m
C ₂	20 t	6,4 t/m
C ₃	20 t	7,2 t/m
C ₄	20 t	8,0 t/m
D ₂	22,5 t	6,4 t/m
D ₃	22,5 t	7,2 t/m
D ₄	22,5 t	8,0 t/m

Κάθε σιδηρόδρομος δηλώνει στην αρχή κάθε έτους την κατηγορία αντοχής της γραμμής που αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία του δικτύου του. Στην περίπτωση της Ελλάδας, σύμφωνα με τη δήλωση δικτύου του ΟΣΕ για το 2014 [87], η μέγιστη φόρτιση κατ' άξονα στο δίκτυο είναι 22,5 τόνοι, αν και σε αρκετά σημεία του δικτύου το φορτίο δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 20 τόνους/άξονα. Κατά περιπτώσεις, επιτρέπεται η υπέρβαση της αξονικής φόρτισης μετά από ειδική έγγραφη άδεια κυκλοφορίας. Όσον αφορά το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο ανά τρέχον μέτρο μήκους γραμμής, αυτό, για όλο το ελληνικό δίκτυο, είναι 8 τόνοι/ μέτρο μήκους.

Ακόμη, το φορτίο πρέπει να **κατανέμεται όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα** επί των φορταμαξών, χωρίς, προφανώς, να υπερβαίνεται το μέγιστο φορτίο ανά

άξονα. Η κατανομή του φορτίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να τηρούνται οι παρακάτω αναλογίες (Εικόνα 21):

- ο αναλογία 2:1 μεταξύ των φορτίων ανά άξονα για διαξονικές φορτάμαξες
- ο αναλογία 3:1 μεταξύ των φορτίων ανά φορείο για φορτάμαξες με φορεία
- ο αναλογία 1,25 - 1 μεταξύ των τροχών (δεξιού και αριστερού), κάθε άξονα



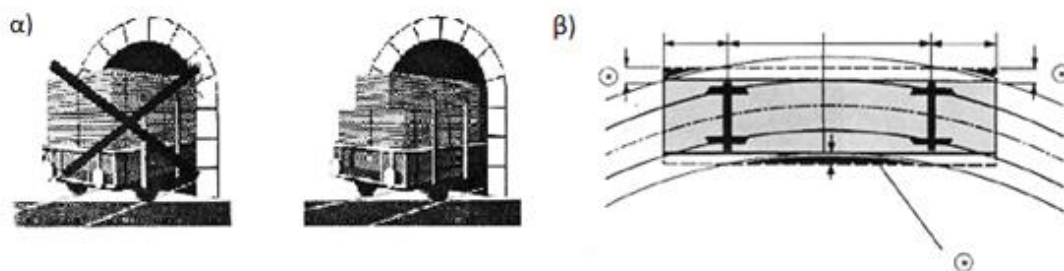
Εικόνα 21: Οδηγίες για την κατανομή των φορτίων επί των φορταμαξών κατά μήκος και πλάτος [86]

4.5.2. Περιορισμοί στη σύνθεση του συρμού

Μετά τη φόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων στις φορτάμαξες πρέπει να ελεγχθεί αν η σύνθεση της αμαξοστοιχίας⁸ πληροί τους περιορισμούς που αφορούν:

- **Τις επιτρεπόμενες διαστάσεις του φορτίου**

Το περιτύπωμα του φορτίου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το δυσμενέστερο (μικρότερο) περιτύπωμα φόρτωσης όλης της διαδρομής. Ακόμη, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τυχόν περιορισμοί στο πλάτος του φορτίου που τίθενται λόγω της ύπαρξης εμποδίων σε οριζοντιογραφικές καμπύλες (π.χ. στο εσωτερικό σηράγγων, σε σταθμούς κτλ) (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Περιορισμοί διαστάσεων φορτίου λόγω περιτυπώματος και λόγω εμποδίων σε οριζοντιογραφικές καμπύλες [86]

⁸ Με τον όρο **σύνθεση αμαξοστοιχίας** χαρακτηρίζεται το σύνολο του τροχαίου υλικού από το οποίο απαρτίζεται η αμαξοστοιχία, εξαιρουμένων των μηχανών έλξης που χρησιμοποιούνται για την κίνηση της.

- Το **μέγιστο αριθμό του συνόλου των αξόνων των ελκόμενων οχημάτων**

Ως μέγιστος αριθμός αξόνων σε εμπορευματικές αμαξοστοιχίες με αυτόματη συνεχή πέδη⁹, ορίζεται οι **120 άξονες** ανεξαρτήτως ταχύτητας [78].

- Το **συνολικό μήκος του συρμού.**

Το μήκος μιας αμαξοστοιχίας δεν πρέπει, γενικώς, να υπερβαίνει τις δυνατότητες που παρέχουν οι συνθήκες πεδήσεως και τα όργανα έλξεως/κρούσεως της αμαξοστοιχίας καθώς και οι εγκαταστάσεις γραμμής (σταθμοί κλπ) [78].

- Το **είδος του τροχαίου** υλικού που απαρτίζει τη σύνθεση

Αμαξοστοιχίες, που αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες (άνω των 65 km/h), πρέπει να απαρτίζονται από τροχαίο υλικό κατά το δυνατόν ομοιογενές όσον αφορά τον αριθμό αξόνων κάθε οχήματος, το απόβαρο και τις διαστάσεις του [78].

- Τη **διάταξη των οχημάτων** στη σύνθεση.

Το τροχαίο υλικό τοποθετείται στη σύνθεση κατά τέτοια σειρά ώστε [78]:

- ✓ Το βάρος να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο κατά μήκος της και τα βαρέα οχήματα να βρίσκονται κοντά στην επικεφαλής μηχανή έλξης
- ✓ Να τηρούνται τα όρια της ζεύξης
- ✓ Τα συστήματα πέδης να είναι κατανεμημένα
- ✓ Να πληρούνται οι όροι ασφαλείας που εξαρτώνται από τη θέση των οχημάτων στην αμαξοστοιχία τα οποία λόγω κατασκευής, συντήρησης ή φορτίου πρέπει να κατέχουν ορισμένη θέση ως προς τα υπόλοιπα οχήματα ή συγκεκριμένη θέση στη σύνθεση (π.χ. οι φορτάμαξες-ψυγεία και οι φορτάμαξες εξαιρετικού βάρους πρέπει να τοποθετούνται αμέσως μετά την επικεφαλής μηχανή έλξης ενώ αυτές με επικίνδυνο φορτίο τουλάχιστον 4 φορτάμαξες μετά τη μηχανή έλξης, στο πρώτο ήμισυ της αμαξοστοιχίας (εκρηκτικές ύλες) ή στο μέσον (βενζίνη, πετρέλαιο).

⁹ Ο όρος **συνεχής πέδη** αναφέρεται στην πέδη που μπορούμε να χειριστούμε από οποιαδήποτε θέση της αμαξοστοιχίας (χειριστήριο μηχανοδηγού, κρουνό πέδης οποιουδήποτε οχήματος της σύνθεσης) ενώ ο όρος αυτόματη πέδη στο σύστημα που έχει ως χαρακτηριστικό την αυτόματη επενέργεια πέδης ολόκληρης της αμαξοστοιχίας σε οποιαδήποτε περίπτωση αθέλητης επικοινωνίας του κεντρικού αγωγού πέδης με την ατμόσφαιρα (διάσπαση, απαγκίστρωση, ρήξη ημισυνδέσμου πέδης, κτλ).

- ✓ Να ελαττώνονται οι απαιτούμενοι χειρισμοί στους ενδιάμεσους σταθμούς για την προσθήκη ή αφαίρεση οχημάτων.

4.6. Υπολογισμός του απαιτούμενου αριθμού μηχανών έλξης και της συνολικής μάζας συρμού

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου αριθμού μηχανών έλξης είναι απαραίτητη η γνώση του τύπου και των τεχνικών χαρακτηριστικών των μηχανών έλξης που θα χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση καθώς και η μικτή ελκόμενη μάζα της αμαξοστοιχίας. Έχοντας αυτά τα δεδομένα και χρησιμοποιώντας τη θεωρία της έλξης προκύπτει το ζητούμενο και τελικά η συνολική μάζα του συρμού.

4.6.1. Τύποι και τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανών έλξης

Οι μηχανές έλξης (locomotives) είναι αυτές που θα προσδώσουν στο συρμό την **απαιτούμενη ισχύ, ώστε να υπερκεραστούν όλες οι εμφανιζόμενες αντιστάσεις**. Τα κρίσιμα χαρακτηριστικά μιας μηχανής έλξης είναι η μέγιστη ισχύς της και η δύναμη πρόσφυσής της, για τον καθορισμό της οποίας ουσιαστικό ρόλο παίζει, πέρα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το βάρος της.

Η μηχανή έλξης μπορεί είτε να παράγει η ίδια την ισχύ της (ντιζελομηχανή ή, παλαιότερα, ατμομηχανή), είτε να την λαμβάνει από εξωτερική πηγή (ηλεκτρομηχανή). Οι **ντιζελομηχανές** παράγουν την ισχύ τους μέσω ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης (diesel) (με κάποιο βαθμό απόδοσης). Η μετάδοση της κίνησης στη συνέχεια μπορεί να γίνει με τρεις, κυρίως, τρόπους. Πρώτον, μηχανικά, χρησιμοποιώντας συμπλέκτη και κιβώτιο ταχυτήτων. Δεύτερον, υδραυλικά, καθώς ο κινητήρας προκαλεί τη λειτουργία στροβίλου με τη βοήθεια λαδιού και τρίτον ηλεκτρικά. Με αυτόν τον τρόπο, ο κινητήρας θέτει σε λειτουργία μία ηλεκτρική γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί τους ηλεκτροκινητήρες που είναι συνδεδεμένοι με τους κινητήριους άξονες. Ο τρόπος αυτός αποτελεί τον πλέον συνηθισμένο [6].

Οι ντιζελομηχανές δεν απαιτούν ακριβές σταθερές εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας. Αυτό, όμως, συνεπάγεται **μικρότερη ειδική ισχύ** από την ηλεκτρική μηχανή εφόσον «φέρει» μαζί της, όπως λέγεται, το δικό της «εργοστάσιο» παραγωγής ενέργειας. Οι δύο αυτοί λόγοι ορίζουν την **περιοχή χρήσης** τους που

είναι σταθμοί όπου πραγματοποιούνται ελιγμοί, γραμμές μικρών φόρτων και συρμοί με μικρότερο ελκόμενο φορτίο, χωρίς όμως αυτό να εμποδίζει, κατά περιπτώσεις, την χρήση τους σε όλες τις γραμμές [88].

Οι **ηλεκτρομηχανές** λαμβάνουν κατευθείαν ηλεκτρικό ρεύμα, μέσω κατάλληλης υποδομής (τρίτη τροχιά ή παντογράφος) και τη μετασχηματίζουν στη μορφή που απαιτούν οι ηλεκτροκινητήρες που είναι συνδεδεμένοι με τους κινητήριους άξονες. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε εργοστάσια παραγωγής με χαμηλό κόστος και μεγάλο βαθμό απόδοσης. Χρησιμοποιείται κατώτερη και φθηνότερη πρωτογενής ενέργεια ενώ το μεταφορικό κόστος για το καύσιμο είναι ελάχιστο [88]. Το γεγονός ότι οι ηλεκτρομηχανές λαμβάνουν όση ισχύ χρειάζονται, χωρίς να περιορίζονται από την ικανότητά τους (όπως οι νηζελομηχανές) τις καθιστά καλύτερες στις περιπτώσεις που απαιτείται **μεγάλη ισχύς** (υψηλές ταχύτητες, υπέρβαση κλίσεων, απαίτηση για μεγάλες επιταχύνσεις). Ακόμη, η ηλεκτρική έλξη είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την **αυτοματοποίηση** μέσω της συνδρομής ηλεκτροτεχνικών μέσων λειτουργίας [88].

Οι μηχανές έλξης διακρίνονται επίσης **με βάση τη σύνδεση των τροχών τους**. Η **επίσημη ταξινόμηση** γίνεται με βάση την UIC (φύλλο 650). Σύμφωνα με αυτό συμβολίζονται με:

- Κεφαλαίο λατινικό γράμμα, οι κινητήριοι άξονες, με το γράμμα να δηλώνει τον αριθμό των αξόνων, δηλαδή Α ένας κινητήριος άξονας, Β δύο, κ.ο.κ..
- Αριθμό, οι άξονες που δεν είναι κινητήριοι, αλλά απλά μεταβιβάζουν το βάρος τους (ρυμουλκούμενοι), με 1 για έναν άξονα κ.τ.λ..
- «'», οι άξονες που είναι συνδεδεμένοι σε ένα φορείο (bogie).
- «ο», οι άξονες, οι οποίοι διαθέτουν ξεχωριστούς κινητήρες.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, η σύνδεση Co'Co', που αποτελεί και τον πιο συνηθισμένο τρόπο σύνδεσης εξαξονικών μηχανών (ο αντίστοιχος Bo'Bo' για τις τετραξονικές, είναι επίσης ο συνηθέστερος), σημαίνει ότι έχουμε δύο φορές (δηλώνεται με την επανάληψη) από τρεις άξονες (C) συνδεδεμένους σε φορείο (') με τον καθένα να διαθέτει ξεχωριστό κινητήρα (ο) [64].

Για τους **εμπορευματικούς συρμούς** προτιμώνται βαριές μηχανές έλξης, συνήθως εξαξονικές (Co'Co'), ώστε να έχουν μεγάλη δύναμη πρόσφυσης, προκειμένου να υπερκεραστούν οι αντιστάσεις εκκίνησης και κλίσης. Το βάρος τους είναι στα όρια αντοχής της γραμμής. Δηλαδή, οι εξαξονικές ζυγίζουν συνήθως 120

τόνους, δηλαδή το φορτίο ανά άξονα είναι $\frac{120}{6} = 20$ τόνοι ανά άξονα (όσο και η αντοχή της γραμμής).

4.6.2. Θεωρία έλξης

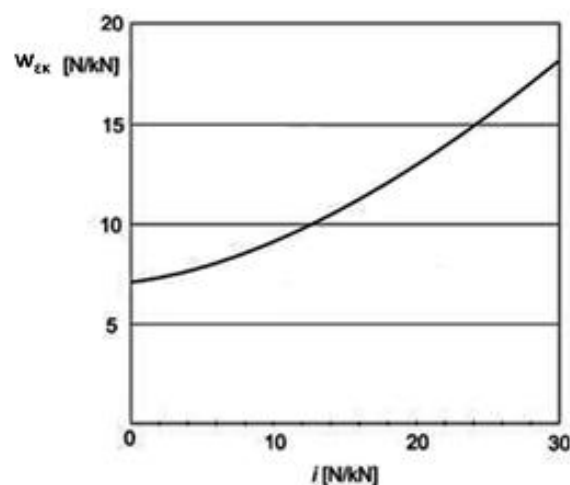
Το μέγιστο φορτίο που μπορεί να έλξει μία μηχανή έλξης είναι το ελάχιστο από [89]:

- Το μέγιστο ελκόμενο φορτίο για εκκίνηση σε ανωφέρεια
- Το μέγιστο ελκόμενο φορτίο που προκύπτει βάσει της ωριαίας ισχύος
- Το μέγιστο ελκόμενο φορτίο λόγω ζεύξης

Στη συνέχεια αυτής της ενότητας, δίνονται οι μαθηματικές σχέσεις από τις οποίες προκύπτουν τα παραπάνω.

Μέγιστο ελκόμενο φορτίο για εκκίνηση σε ανωφέρεια

Πρόκειται για τη δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή ο συρμός να πρέπει να εκκινήσει στη μεγαλύτερη ανωφέρεια ολόκληρης της διαδρομής. Σε αυτήν την περίπτωση, οι αντιστάσεις που πρέπει να υπερνικηθούν είναι η μέγιστη αντίσταση κλίσης σε όλο το μήκος της διαδρομής και η αντίσταση εκκίνησης. Η αντίσταση εκκίνησης προκύπτει από την αντίσταση κύλισης για ταχύτητα ίση με το μηδέν. Επειδή, όμως, η αντίσταση κύλισης ορίζεται επί οριζοντίου επιπέδου, η αντίσταση εκκίνησης σε ανωφέρεια είναι αυξημένη, και υπολογίζεται βάσει του διαγράμματος της επόμενης εικόνας (Εικόνα 23).



Εικόνα 23: Διάγραμμα υπολογισμού αντίστασης εκκίνησης συρμού για δεδομένη κλίση [90]

Το οριακό (μέγιστο) φορτίο για εκκίνηση σε ανωφέρεια, θα προκύψει για $\Pi = \Sigma W$. Λύνοντας ως προς το βάρος των ελκομένων οχημάτων προκύπτει η σχέση [89]:

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

Όπου:

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

Π η δύναμη πρόσφυσης της μηχανής έλξης σε kN

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

w_o η ειδική αντίσταση εκκίνησης

w_i η ειδική αντίσταση κλίσης

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στον παραπάνω υπολογισμό μέσω του συντελεστή πρόσφυσης που υπεισέρχεται στον υπολογισμό της δύναμης πρόσφυσης. Πιο συγκεκριμένα, η δύναμη πρόσφυσης υπολογίζεται βάσει του τύπου [91]:

$$\Pi = \mu * M_{KT} * g$$

Όπου:

Π η δύναμη πρόσφυσης

μ ο συντελεστής πρόσφυσης

M_{KT} η μάζα που αναλαμβάνουν οι κινητήριои τροχοί

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

Ο συντελεστής πρόσφυσης (ή συντελεστής τριβής) εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων και οι (πρακτικές) τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0,05 (π.χ. παγετός ή πεσμένα φύλλα) έως 0,6 για πολύ καλή ποιότητα σιδηροτροχιάς.

Ειδικότερα, ο συντελεστής πρόσφυσης διαφοροποιείται [6] ανάλογα με:

- ✚ Την ταχύτητα. Πιο συγκεκριμένα μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας.
- ✚ Τα κατακόρυφα φορτία των τροχών, καθώς αυξάνεται όταν αυξάνεται το κατακόρυφο φορτίο των τροχών.

- ✚ Το υλικό των επισώτρων των τροχών, την επιφάνεια κύλισης των σιδηροτροχιών και γενικότερα την κατάσταση επαφής τροχών και σιδηροτροχιάς.
- ✚ Τις κλιματολογικές συνθήκες. Ο συντελεστής πρόσφυσης μειώνεται σημαντικά με την υγρασία, την ομίχλη, τις πρώτες σταγόνες βροχής, με την πτώση φύλλων στις γραμμές και τη λίπανση των σιδηροτροχιών.
- ✚ Την περιοχή. Έχει παρατηρηθεί ότι οι τιμές μεταξύ βιομηχανικών και αγροτικών περιοχών διαφέρουν, καθώς επικάθονται χημικά στοιχεία πάνω στις σιδηροτροχιές.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο υπολογισμός του συντελεστή πρόσφυσης είναι πολύπλοκος, ενώ υπεισέρχονται και πολλές αβεβαιότητες με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολος ο υπολογισμός του και κατά συνέπεια και ο υπολογισμός της δύναμης πρόσφυσης. Γι' αυτό συνήθως υπολογίζεται είτε πειραματικά είτε με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων όπως αυτού των Curtius – Kniffler. Σύμφωνα με αυτόν τον τύπο, ο οποίος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για ταχύτητες μέχρι 160 km/h και ηλεκτροκίνητες μηχανές, ο συντελεστής πρόσφυσης είναι:

- $\mu = 0,161 + \frac{7,5}{V+44}$ για ξηρή κατάσταση σιδηροτροχιάς και αμμοβολημένη
- $\mu = 0,130 + \frac{7,5}{V+44}$ για υγρή κατάσταση σιδηροτροχιάς και αμμοβολημένη

Όπου:

V η ταχύτητα κίνησης του συρμού σε m/s.

Βέβαια σε συνθήκες παγετού ο συντελεστής πρόσφυσης μπορεί να πέσει και κάτω από το 0,1 ανάλογα βέβαια και με την ταχύτητα [89].

Μέγιστο ελκόμενο φορτίο βάσει της ωριαίας ισχύος

Όταν ο συρμός κινείται με σταθερή ταχύτητα, οι αντιστάσεις που πρέπει να υπερκεραστούν για την κίνησή του είναι η αντίσταση κλίσης και η αντίσταση κύλισης. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο των αντιστάσεων ισούται με την ωριαία ισχύ. Συνεπώς, το μέγιστο ελκόμενο φορτίο βάσει της ωριαίας ισχύος προκύπτει λύνοντας την παρακάτω εξίσωση ως προς αυτό [89]:

$$(G_{MEL} + G_{ELK}) = \frac{Z\omega\rho}{\Sigma w} \quad , \quad \text{όπου:}$$

G_{MEL} το βάρος της μηχανής έλξης [KN]

$G_{ΕΛΚ}$ το βάρος των ελκόμενων οχημάτων [KN]

$Z_{ωρ}$ η ωραία ισχύς της μηχανής έλξης [N]

Σw το σύνολο των ειδικών αντιστάσεων [‰]

Μέγιστο ελκόμενο φορτίο λόγω ζεύξης

Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιείται έλεγχος της αντοχής του αγκίστρου ζεύξης. Το άγκιστρο είναι ο μηχανισμός που υφίσταται στα μέτωπα των οχημάτων, προκειμένου αυτά να συνδέονται τόσο μεταξύ τους όσο και με τη μηχανή έλξης. Η οριακή αντοχή του σε θραύση ανέρχεται στα 850 kN, ενώ κατά τη λειτουργία (κίνηση συρμού) δεν επιτρέπεται να υπερβεί την τιμή των 280 kN (τριπλάσια ασφάλεια έναντι των 850 kN). Κατά την εκκίνηση και μόνο για ελάχιστο χρονικό διάστημα επιτρέπεται η εκμετάλλευση της αντοχής του μέχρι τα 380 kN.

Η μέγιστη δύναμη του αγκίστρου προκύπτει κατά την εκκίνηση, όπου το σύνολο των αντιστάσεων αποτελείται από την αντίσταση κλίσης και την αντίσταση εκκίνησης. Επομένως, το μέγιστο ελκόμενο φορτίο λόγω ζεύξης προκύπτει για $Z_{ΑΓΚ}=380$ KN από την εξίσωση [89]:

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

$G_{ΕΛΚ}$ το βάρος των ελκόμενων οχημάτων [KN]

$Z_{ΑΓΚ}$ η δύναμη του αγκίστρου [N]

Σw το σύνολο των ειδικών αντιστάσεων [‰]

4.6.3. Συνολική μάζα συρμού και επιπτώσεις νέων τεχνολογιών

Έχοντας υπολογίσει τον απαιτούμενο αριθμό μηχανών έλξης, πολύ εύκολα υπολογίζεται η συνολική μάζα του συρμού που είναι το άθροισμα της μάζας των μηχανών έλξης και της μικτής ελκόμενης μάζας.

Τις τελευταίες δεκαετίες η συνολική μάζα των συρμών συνεχώς αυξάνεται ως αποτέλεσμα της συνεχώς αυξανόμενης ικανότητας μεταφοράς όλο και περισσότερων εμπορευμάτων ανά φορτάμαξα και αμαξοστοιχία. Χάρη στο βελτιωμένο σχεδιασμό των εμπορευματικών φορταμαξών και άλλων παραγόντων, η

μέση εμπορική αμαξοστοιχία είναι σε θέση να φέρει φορτίο 3.458 τόνων, έως και 56 τοις εκατό μεγαλύτερο έναντι του αντίστοιχου φορτίου του 1980 και κατά 18 τοις εκατό μεγαλύτερο από αυτό του 2000. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με νέες, ενεργειακά πιο αποδοτικές μηχανές έλξης είτε με παλαιότερες αναμορφωμένες, ώστε να καταστούν πιο αποδοτικές [92].

4.7. Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καυσίμου και ρύπων σιδηροδρομικής μεταφοράς

Έχοντας καταλήξει στην τελική σύνθεση του συρμού, είναι δυνατός ο προσδιορισμός της κατανάλωσης και τελικά των ρύπων της σιδηροδρομικής μεταφοράς. Για το λόγο αυτό, στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της ενότητας αναφέρονται συνοπτικά οι παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας των σιδηροδρομικών συρμών. Στη συνέχεια, γίνεται μία αναφορά στα πρότυπα εκπομπών ρύπων των μηχανών έλξης που υπάρχουν σήμερα και στο τελευταίο κεφάλαιο μετά από μία περιγραφή πέντε διαφορετικών μοντέλων επιλέγεται το καταλληλότερο βάσει των απαιτήσεων της παρούσας εργασίας, που θα χρησιμοποιηθεί στη πορεία της επίλυσης για τον υπολογισμό των εκπεμπόμενων ρύπων.

4.7.1. Κατανάλωση ενέργειας στις σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές

Στον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας των σιδηροδρομικών **συρμών** υπεισέρχονται οι αντιστάσεις των οχημάτων κατά την κίνηση, το φορτίο γραμμής, δηλαδή η συνολική μάζα συμπεριλαμβανομένης και αυτής των οχημάτων, καθώς και το κυκλοφοριακό έργο, οριζόμενο ως η μεταφορική απόσταση επί τη μεταφερόμενη μάζα συμπεριλαμβανομένης και της ίδιας μάζας των συρμών [88].

Πιο συγκεκριμένα, οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση είναι:

- ✓ Το **είδος του συστήματος έλξης** του συρμού. Γενικά, ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρομηχανής είναι αρκετά μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο της ντηζελομηχανής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ντηζελομηχανές να έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου.

- ✓ Η **συνολική μάζα του συρμού**. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του συρμού τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωσή του. Για το λόγο αυτό οι σιδηροδρομικές επιχειρήσεις προσπαθούν με διάφορα μέσα να μειώσουν το λόγο της συνολικής μεταφερόμενης μάζας του συρμού προς το ωφέλιμο φορτίο του χρησιμοποιώντας, π.χ. μεταφερόμενες μονάδες και φορτάμαξες με όσο το δυνατόν μικρότερο απόβαρο.
- ✓ Τα **χαρακτηριστικά της σιδηροδρομικής γραμμής**. Τα κυριότερα από αυτά είναι το προφίλ των κλίσεων, οι οριζοντιογραφικές καμπύλες, το είδος των σιδηροτροχιών (συνεχώς συγκολλημένες, κτλ), οι υπερυψώσεις, κτλ.
- ✓ Η **ταχύτητα κίνησης** του συρμού. Η παράμετρος αυτή υπεισέρχεται κυρίως στην αεροδυναμική αντίσταση που καλείται να υπερκεράσει ο συρμός. Για το λόγο αυτό, αυξανόμενης της ταχύτητας αυξάνεται η ανάγκη σε ενέργεια στο τετράγωνο. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται εξαιρετικά προηγμένα συστήματα λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών τα οποία, μεταξύ άλλων, υπολογίζουν την ταχύτητα στην οποία επιτυγχάνεται η χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου για ένα συρμό σε ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο και παρακολουθούν τις λειτουργίες και επιδόσεις της μηχανής έλξης για την εξασφάλιση της μέγιστης αποδοτικότητάς της. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται και για την εκπαίδευση των μηχανοδηγών σε πραγματικό χρόνο προκειμένου να επιτυγχάνουν την καλύτερη ταχύτητα, από την άποψη της εξοικονόμησης καυσίμου.
- ✓ Η **μέση απόσταση των σταθμών**. Αυξανόμενης της απόστασης μεταξύ διαδοχικών σταθμών μειώνεται η ειδική κατανάλωση.
- ✓ Η **επιτάχυνση** του συρμού **κατά την εκκίνηση**. Ο συρμός καταναλώνει ένα σημαντικό ποσό ενέργειας για να υπερνικήσει τις αδρανειακές δυνάμεις και να εκκινήσει.
- ✓ Η λειτουργία των μηχανών έλξης σε **ρελαντί**. Οι σιδηροδρομικές επιχειρήσεις, έχοντας συνειδητοποιήσει τα μεγάλα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται γι' αυτό το λόγο, εφαρμόζουν τεχνολογίες μείωσης του ρελαντί που επιτρέπουν στις μηχανές έλξης με δύο οι περισσότερους ανεξάρτητους κινητήρες να τους χρησιμοποιούν ανάλογα με το αν οι συνθήκες το απαιτούν.
- ✓ Η **εκπαίδευση** και η **οδηγική συμπεριφορά** των μηχανοδηγών. Η αποδοτικότητα των καυσίμων στο σιδηρόδρομο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο καλά ένας μηχανοδηγός χειρίζεται το συρμό. Γι' αυτό το λόγο οι

σιδηρόδρομοι χρησιμοποιούν τις δεξιότητες των οδηγών για την εξοικονόμηση καυσίμων. Οι σιδηροδρομικές επιχειρήσεις οργανώνουν, αρκετά συχνά, εκπαιδευτικά προγράμματα, μέσω των οποίων μηχανοδηγοί προσφέρουν υποδείξεις σε συναδέλφους τους σχετικά με τους τρόπους εξοικονόμησης καυσίμων, π.χ. για τον καλύτερο τρόπο επιτάχυνσης και επιβράδυνσης του συρμού.

- ✓ **Η τεχνολογία των μηχανών έλξης.** Οι σιδηρόδρομοι έχουν δαπανήσει πολλά χρήματα τα τελευταία χρόνια σε χιλιάδες νέες, ενεργειακά πιο αποδοτικές μηχανές έλξης και στην αναμόρφωση παλαιών, ώστε να καταστούν πιο αποδοτικές. Πολλές παλαιές, λιγότερο αποδοτικές ως προς την κατανάλωση καυσίμων έχουν πλέον αποσυρθεί ενώ πολλές νέες μηχανές σε σταθμούς διαλογής έχουν δύο ή τρεις ανεξάρτητους κινητήρες που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το πόση ισχύς απαιτείται ανά περίπτωση.
- ✓ **Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τροχαίου υλικού.** Τέτοια χαρακτηριστικά είναι, παραδείγματος χάριν η μετωπική επιφάνεια των μηχανών έλξης και η μορφή των ελκόμενων οχημάτων (ανοικτά ή κλειστά) που επηρεάζουν την αεροδυναμική αντίσταση του συρμού.
- ✓ **Μηχανικοί παράγοντες.** Παραδείγματα τέτοιων παραγόντων είναι η ακτίνα των τροχών του συρμού, το σύστημα μετάδοσης, κτλ.
- ✓ **Νέες τεχνολογίες και λειτουργικές αλλαγές,** που έχουν οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης και κατ' επέκταση των ρύπων των σιδηροδρομικών συρμών. Η επέκταση της τοποθέτησης των μηχανών έλξης στο μέσον αμαξοστοιχιών για να μειωθεί η συνολική ισχύς που απαιτείται για την κίνησή τους, η βελτίωση της λίπανσης για τη μείωση της τριβής κατά την επαφή τροχού-σιδηροτροχιάς και της φθοράς των γραμμών και των μηχανών έλξης και η χρήση προηγμένων ανιχνευτών που εντοπίζουν ελαττώματα του εξοπλισμού που σπαταλούν ενέργεια και αποτελούν κίνδυνο για την ασφάλεια της σιδηροδρομικής μεταφοράς αποτελούν τέτοια παραδείγματα.
- ✓ **Εξωτερικοί παράγοντες,** όπως το κλίμα, ο άνεμος, κτλ.

[92] - [95]

4.7.2. Πρότυπα εκπομπής ρύπων σιδηροδρομικών συρμών

Παρόλο που οι σιδηροδρομικές μεταφορές εκπέμπουν λιγότερους ρύπους από τις οδικές ή τις αεροπορικές (υπολογισμένοι ανά τονο-χιλιόμετρο μεταφερόμενων

αγαθών), έχουν γίνει προσπάθειες αρχικά από τη Διεθνή Ένωση Σιδηροδρόμων (UIC) και αργότερα από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τον καθορισμό ορίων εκπομπών για τις νηζελοκίνητες μηχανές έλξης.

Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν δύο φύλλα της UIC που αναφέρονται στο συγκεκριμένο θέμα με αριθμούς 623-2 και 624 αντίστοιχα. Οι συστάσεις τους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18) [96].

Πίνακας 18: Συστάσεις της UIC για τους εκπεμπόμενους ρύπους από τις νηζελοκίνητες μηχανές έλξης [96]

Ισχύς κινητήρα	Χρονικός ορίζοντας	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]
< 560 kW	Έως 31/12/2002	3	0,8	12	
	Από 01/01/2003	2,5	0,6	6	0,25 (0,6)
>560 kW	Έως 31/12/2002	3	0,8	12	
	Από 01/01/2003	3	0,8	9,5	0,25 (0,6)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, το Δεκέμβριο του 1997, εξέδωσε την οδηγία με αριθμό 97/68/EC που καθόριζε όρια εκπομπών ρύπων από κινητήρες μη οδικών οχημάτων, που ήταν υλοποιήσιμη σε δύο φάσεις. Τα πρότυπα και των δύο φάσεων κάλυπταν κινητήρες νηζελ με ισχύ από 37 έως 560 kW, αλλά δεν περιλάμβαναν τις σιδηροδρομικές μηχανές έλξης. Η οδηγία υπ'αριθμόν 2004/26/EC, τον Απρίλιο του 2004, ήρθε να τροποποιήσει την πρώτη και να περιλάβει και τους κινητήρες των πλοίων και των μηχανών έλξης, αποτελούμενη και πάλι από τρεις φάσεις υλοποίησης (III A, III B, IV). Η φάση III A τέθηκε σε ισχύ από την 1^η Ιανουαρίου του 2006, για ορισμένους τύπους κινητήρων. Η φάση III B από την 1^η Ιανουαρίου του 2011 και η φάση IV από την 1^η Ιανουαρίου του 2014. Η οδηγία αυτή είναι εναρμονισμένη με την αντίστοιχη των Η.Π.Α. [97]. Οι διαφορετικές φάσεις υλοποίησης της οδηγίας 2004/26/EC έχουν ως εξής:

- Η φάση III A καλύπτει κινητήρες 19-560 kW, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων σταθερής ταχύτητας, των μηχανών έλξης και των σκαφών εσωτερικής ναυσιπλοΐας.
- Η φάση III B καλύπτει κινητήρες 37-560 kW, συμπεριλαμβανομένων και των μηχανών έλξης.
- Η φάση IV καλύπτει κινητήρες μεταξύ 56 και 560 kW.

Πίνακας 19: Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για τις σιδηροδρομικές μηχανές έλξης [97]

Πρότυπα εκπομπών μηχανών έλξης (Φάση III A 2004/26/EC)						
Καθαρή ισχύς	Ημερομηνία εφαρμογής	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
KW		g/KWh				
130 ≤ P ≤ 560	12.007	3,5	-	4		0,2
560 < P	12.009	3,5	0,5*	-	6,0*	0,2
*HC=0,4g/kWh για κινητήρες με P> 2000 KW και D > 5 λίτρα/κύλινδρο						
Πρότυπα εκπομπών μηχανών έλξης (Φάση III B 2004/26/EC)						
Καθαρή ισχύς	Ημερομηνία εφαρμογής	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
KW		g/KWh				
130 < P	12.012	3,5	-	4	-	0,025
Πρότυπα εκπομπών μηχανών έλξης (Φάση IV 2004/26/EC)						
Καθαρή ισχύς	Ημερομηνία εφαρμογής	CO	HC	NOx	PM	
KW		g/KWh				
130 ≤ P ≤ 560	12.014	3,5	0,19	0,4	0,025	
56 ≤ P ≤ 130	102.014	5	0,19	0,4	0,025	

4.7.3. Επιλογή μοντέλου υπολογισμού της κατανάλωσης και των ρύπων

Λαμβάνοντας υπόψη την πολυπαραγοντική φύση του προβλήματος, όπως αυτή αναλύθηκε παραπάνω (κεφάλαιο 4.7.1), και τις πολλές αβεβαιότητες που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς γίνεται εύκολα αντιληπτή η δυσκολία ανάπτυξης μοντέλων μεγάλης ακρίβειας. Για την επιλογή του καταλληλότερου, πραγματοποιήθηκε σύγκριση τεσσάρων διαφορετικών μοντέλων υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας σιδηροδρομικών συρμών που υπάρχουν στη βιβλιογραφία και ενός πέμπτου που αναπτύχθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο πρώτο μοντέλο, που αναπτύχθηκε το 1999 στα πλαίσια του έργου MEET υπό τη χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται βάσει της μέσης ταχύτητας και της απόστασης μεταξύ διαδοχικών

στάσεων. Πιο συγκεκριμένα, η κατανάλωση ενέργειας σιδηροδρομικού συρμού, EC, προκύπτει από τη σχέση [98]:

$$EC \left[\frac{KJ}{\text{tonne} \cdot \text{km}} \right] = \frac{k \cdot V_{avg}^2}{\ln(x)} + C$$

Όπου:

k, C σταθερές

V_{avg} η μέση ταχύτητα κίνησης του συρμού [km/h]

X η απόσταση μεταξύ των στάσεων [km]

Οι σταθερές k και C είναι ίσες με 0,019 και 63 αντίστοιχα για μεγάλα εμπορικά τρένα (με απόβαρο τουλάχιστον 600t) και για απόσταση μεταξύ στάσεων από 80 έως 200 km.

Το δεύτερο μοντέλο, που αποτελεί μία άλλη, πιο αναλυτική, μέθοδο που χρησιμοποίησε το έργο MEET για να εκτιμήσει την ενέργεια που καταναλώνει ένας σιδηροδρομικός συρμός, λαμβάνει υπόψη του περισσότερες παραμέτρους. Η καταναλισκόμενη ενέργεια, EC, υπολογίζεται συναρτήσει του αριθμού των στάσεων, της υψομετρικής διαφοράς στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής και της μέγιστης και της μέσης ταχύτητας του συρμού [98].

$$EC \left[\frac{KJ}{\text{tonne} \cdot \text{km}} \right] = \frac{N_{stop} + 1}{L} * \frac{V_{max}^2}{2} + B_0 + B_1 * V_{avg} + B_2 * V_{avg}^2 + g * \frac{\Delta h}{L}$$

Όπου:

N_{stop} ο αριθμός των στάσεων

L το μήκος της διαδρομής [km]

V_{avg} η μέση ταχύτητα κίνησης του συρμού [m/s]

V_{max} η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του συρμού [m/s]

Δh η υψομετρική διαφορά στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής [m]

g η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s²)

B_0, B_1, B_2 σταθερές

Η παραπάνω εξίσωση έχει προκύψει βάσει εξισώσεων δυναμικής των οχημάτων (αντίσταση κύλισης, αεροδυναμική αντίσταση, αντίσταση κλίσης) και πιο συγκεκριμένα ολοκληρώνοντας τη δύναμη έλξης, η οποία έχει, πριν, διαιρεθεί με το συνολικό βάρος του συρμού για να προκύψουν μονάδες [KN/tonne], από 0 ως L. Για

εμπορικά τρένα οι σταθερές λαμβάνουν τις ακόλουθες τιμές: $B_0=24,7$, $B_1=0$ και $B_2=84,5 \cdot 10^{-3}$.

Το 2002, οι IFEU και SGKV χρησιμοποίησαν μία απλοϊκή προσέγγιση για μία συγκριτική μελέτη κατανάλωσης ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας ανά χιλιόμετρο (EC) προκύπτει ως συνάρτηση μόνο της μικτής μάζας του συρμού (M_{train}) βάσει του τύπου [99]:

$$EC \left[\frac{Wh}{km} \right] = 315 * M_{train}^{0,6}$$

Το 2010, στα πλαίσια της ανάπτυξης του υπολογιστικού εργαλείου EcotransIT World δημιουργήθηκε μία νέα συνάρτηση για την εκτίμηση της ενέργειας που καταναλώνει για την κίνησή του ένας σιδηροδρομικός συρμός με μόνη ανεξάρτητη μεταβλητή και πάλι τη μάζα του συρμού. Η εξίσωση ενέργειας ήταν η ακόλουθη [44]:

$$EC \left[\frac{Wh}{tonne \cdot km} \right] = 1200 * GTW^{-0,62}$$

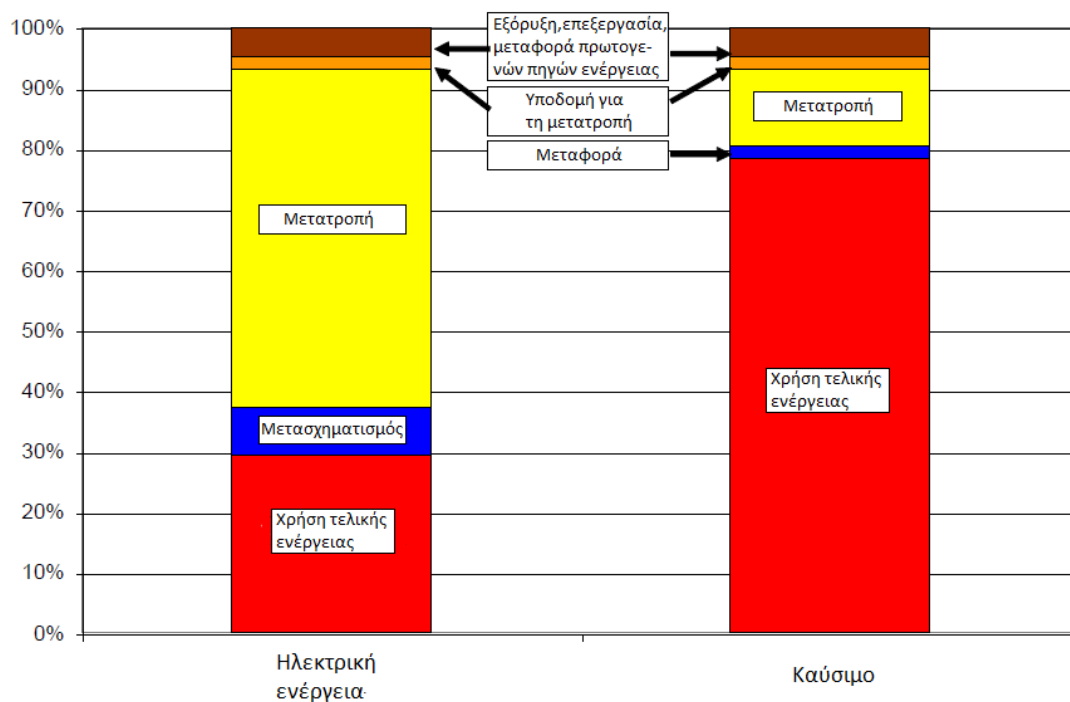
Όπου:

GTW η συνολική μάζα του συρμού (συμπεριλαμβανομένης και της μάζας των μηχανών έλξης)

Μάλιστα για την επαλήθευσή της χρησιμοποιήθηκαν μέσες τιμές από σιδηροδρόμους διάφορων ευρωπαϊκών χωρών μεταξύ των οποίων και 200.000 δρομολογίων διαφορετικών τύπων και κατηγοριών βάρους εμπορικών συρμών. Εκτός από τη μάζα, το συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνει υπόψη του και την κλίση, πραγματοποιώντας μία διόρθωση ανάλογα με το χαρακτηρισμό της χώρας που διεξάγεται το μεγαλύτερο μέρος της μεταφοράς ως επίπεδη (η συνάρτηση πολλαπλασιάζεται επί 0,9) ή ορεινή (η συνάρτηση πολλαπλασιάζεται επί 1,1).

Ένα ενδιαφέρον σημείο της μεθοδολογίας του Ecotransit είναι ότι μετασχηματίζει την κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτροκίνητων συρμών σε κατανάλωση καυσίμου των νηζελοκίνητων συρμών μέσω ενός συντελεστή (37%). Ο συντελεστής αυτός χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία για το μετασχηματισμό σε όλα τα μοντέλα αφού όλα τα άλλα υπολογίζουν την κατανάλωση ενέργειας μόνο των ηλεκτροκίνητων συρμών. Η λογική του συντελεστή αυτού είναι η εξής: Η κατανάλωση της τελικής ενέργειας της νηζελοκίνησης εκτιμάται βάσει της

κατανάλωσης της τελικής ενέργειας της ηλεκτροκίνησης επειδή η συνολική απόδοση της νηζελοκίνησης (συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγής του καυσίμου) είναι σχεδόν ίδια με τη συνολική απόδοση της ηλεκτροκίνησης (συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας), σύμφωνα με την παραδοχή του IFEU [44] (Εικόνα 24). Η απόδοση ενός τόνου πετρελαίου είναι σχεδόν ίδια, είτε αυτό καίγεται σε ένα κεντρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. και διοχετεύεται υπό μορφή ηλεκτρικής ενέργειας στον αγωγό επαφής, είτε καίγεται σε έναν κινητήρα (Diesel) εσωτερικής καύσης μίας νηζελάμαξας [6]. Ωστόσο, η απόδοση μίας ηλεκτρομηχανής είναι πολύ μεγαλύτερη, κυρίως επειδή οι κύριες απώλειες ενέργειας λαμβάνουν χώρα υψηλότερα στην αλυσίδα, κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στις νηζελομηχανές οι κύριες απώλειες λαμβάνουν χώρα στη μηχανή αυτή καθαυτή. Συνεπώς, για να καταστεί δυνατή η χρησιμοποίηση της ίδιας συνάρτησης με την ηλεκτροκίνηση, η συνάρτηση πρέπει να διαιρεθεί με την απόδοση της μετατροπής της τελικής ενέργειας από ηλεκτρική σε νηζελ (που είναι 37%), ώστε να ληφθούν υπόψη το κόστος σε ενέργεια τόσο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και του καυσίμου, οι διαφορετικές αποδόσεις των ηλεκτροκίνητων και νηζελοκίνητων μηχανών έλξης καθώς και το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου νηζελ. Σημειώνεται ότι η ίδια παραδοχή χρησιμοποιείται και σε μοντέλο του CE Delft [100].



Εικόνα 24: Συνολική ποσοστιαία κατανομή της ενέργειας από την παραγωγή έως τη χρήση (για ηλεκτρική ενέργεια και ορυκτά καύσιμα) [44]

Το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο είναι ένα μοντέλο που προκύπτει βάσει των αντιστάσεων που καλείται να υπερκεράσει ο σιδηροδρομικός συρμός κατά την κίνησή του. Η βασική του εξίσωση είναι [101]:

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

Όπου:

a η ειδική κατανάλωση ενέργειας

Σw το σύνολο των ειδικών αντιστάσεων

2,78 συντελεστής που προκύπτει από τη μετατροπή των μονάδων

$$\left(\frac{daN}{t} * \frac{1W \cdot s}{N \cdot m} * \frac{1000 m}{1 km} * \frac{1h}{3600 s} * \frac{10 N}{1daN}\right)$$

Το σύνολο των ειδικών αντιστάσεων αποτελείται από τις ειδικές αντιστάσεις καμπύλης, κλίσης και κύλισης του συρμού. Αρχικά, υπολογίζονται η αντίσταση κύλισης των μηχανών έλξης και η ειδική αντίσταση κύλισης του ελκόμενου τροχαίου υλικού από τις παρακάτω εξισώσεις [89]:

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

Όπου:

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

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

V η ταχύτητα κίνησης του συρμού [km/h]

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

Όπου:

$w_{KY\Delta,EM\Pi}$ η ειδική αντίσταση κύλισης εμπορικών ελκόμενων οχημάτων [%o]

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

V ταχύτητα συρμού [km/h]

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

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

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

Όπου:

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

n ο αριθμός των μηχανών έλξης

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

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

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

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

Η αντίσταση κλίσης προκύπτει από το προφίλ των κλίσεων της εξεταζόμενης διαδρομής ενώ ως ειδική αντίσταση καμπύλης λαμβάνεται μία εκτιμώμενη μέση τιμή της ειδικής αντίστασης καμπύλης (π.χ. ίση με 1,5 ‰) σε όλα τα τμήματα της διαδρομής. Στα κατηφορικά τμήματα της διαδρομής όπου η ειδική αντίσταση κλίσης είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των ειδικών αντιστάσεων καμπύλης και κύλισης, η ειδική κατανάλωση λαμβάνεται ίση με μηδέν ενώ στα υπόλοιπα κατηφορικά τμήματα, όπου η κλίση είναι μικρότερη από το άθροισμα των αντιστάσεων καμπύλης και κύλισης και έως 0‰, η ειδική κατανάλωση υπολογίζεται για αντιστάσεις κλίσης και καμπύλης ίσες με μηδέν επειδή θεωρείται ότι η αντίσταση καμπύλης αντισταθμίζεται από την αντίσταση κλίσης, που στην περίπτωση της κατωφέρειας υποβοηθά και δεν αντιστέκεται στην κίνηση του συρμού.

Σε όλα τα μοντέλα οι τιμές της τελικής κατανάλωσης της νηζελοκίνησης προκύπτουν από τη μέθοδο του Ecotransit, που αναφέρθηκε παραπάνω, και οι προκύπτουσες Wh μετατρέπονται σε lt βιοντίζελ βάσει του ενεργειακού του περιεχομένου του (35,7 MJ/lt), όπως αυτό δίνεται από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16258. Στη συνέχεια, οι καταναλώσεις, και για τα δύο συστήματα έλξης, μετατρέπονται σε κιλά CO₂e, χρησιμοποιώντας, για την νηζελοκίνηση, τους συντελεστές εκπομπών που προτείνει το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16258 για το καύσιμο βιοντίζελ 5% κ.β., που χρησιμοποιεί ο ΟΣΕ (WTW: 3,17kg CO₂e/lt, TTW: 2,54 kgCO₂e/lt) [37] ενώ για την ηλεκτροκίνηση το συντελεστή εκπομπών της

Ελλάδας για την παραγωγή 1 kWh ηλεκτρικού ρεύματος, που καταναλώνει ο σιδηροδρομικός συρμός, από το EcotransIT World (0,98 kgCO₂/kWh) [44].

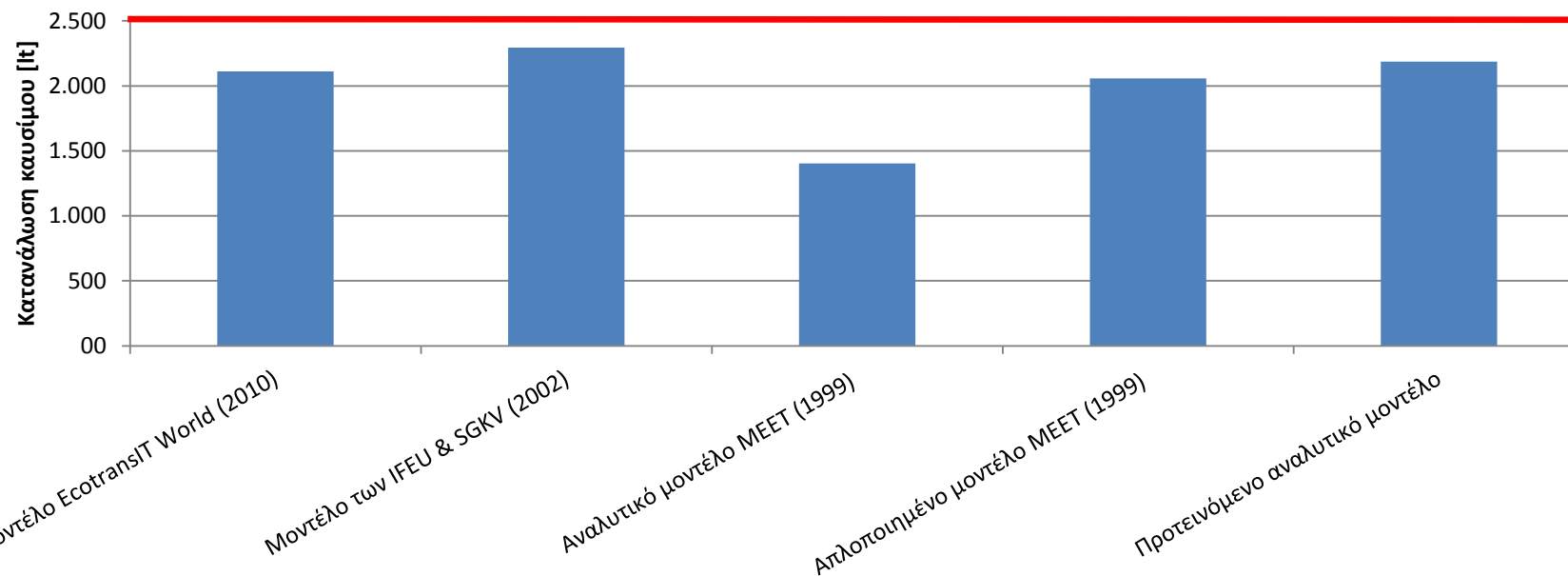
Οι παράμετροι που λαμβάνουν υπόψη τα μοντέλα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 20). Έχοντας αναλύσει τα πέντε μοντέλα, πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση ώστε να καταστεί δυνατή η επιλογή του καταλληλότερου.

Πίνακας 20: Παράμετροι που λαμβάνει υπόψη του κάθε μοντέλο υπολογισμού της ειδικής κατανάλωσης σιδηροδρομικού συρμού

Μοντέλο Παράμετροι	Αναλυτικό μοντέλο MEET (1999)	Μοντέλο EcotransIT World (2010)	Μοντέλο των IFEU & SGKV (2002)	Απλοποιημένο μοντέλο MEET (1999)	Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο
Αριθμός στάσεων	√				
Μέγιστη ταχύτητα	√				
Μέση ταχύτητα	√			√	√
Υψομετρική διαφορά αρχής και τέλους διαδρομής	√				
Μήκος διαδρομής	√				
Μικτή μάζα συρμού		√	√		√
Απόσταση μεταξύ στάσεων				√	
Τεχνικά χαρακτηριστικά τροχαίου υλικού					√
Προφίλ κλίσεων διαδρομής					√
Αριθμός μηχανών έλξης	√	√	√	√	√
Αλγόριθμος φόρτωσης που λαμβάνει υπόψη το μέγιστο επιτρεπόμενο αξονικό φορτίο γραμμής					√

Στην ανάλυση αυτή, επιλέχθηκε ένας τυπικός συρμός μικτής ελκόμενης μάζας 1033,5t ο οποίος διήνυσε την πραγματική, από άποψη κλίσεων και απόστασης κάθε συστήματος έλξης¹⁰, διαδρομή Θεσσαλονίκη-Αθήνα. Οι κλίσεις, προφανώς, λαμβάνονται υπόψη μόνο στο προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο.

¹⁰ Απόσταση ηλεκτροκίνησης ίση με 232,326 km και απόσταση νηξελοκίνησης ίση με 277,604 km



Υπόμνημα:

— Μέση τιμή από μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου συρμών της ΤΡΑΙΝΟΣΕ στο τμήμα Δομοκός-Αθήνα

Παραδοχές για όλα τα μοντέλα:

2 μηχανές έλξης, μικτή ελκόμενη μάζα συρμού =1033,5t, απόσταση νηξελοκίνησης=277,6km

Παραδοχές για το Αναλυτικό μοντέλο MEET:

$N_{stops}=1, V_{max}=80\text{km/h}, V_{aver}=60\text{km/h}, \Delta h=70\text{m}$

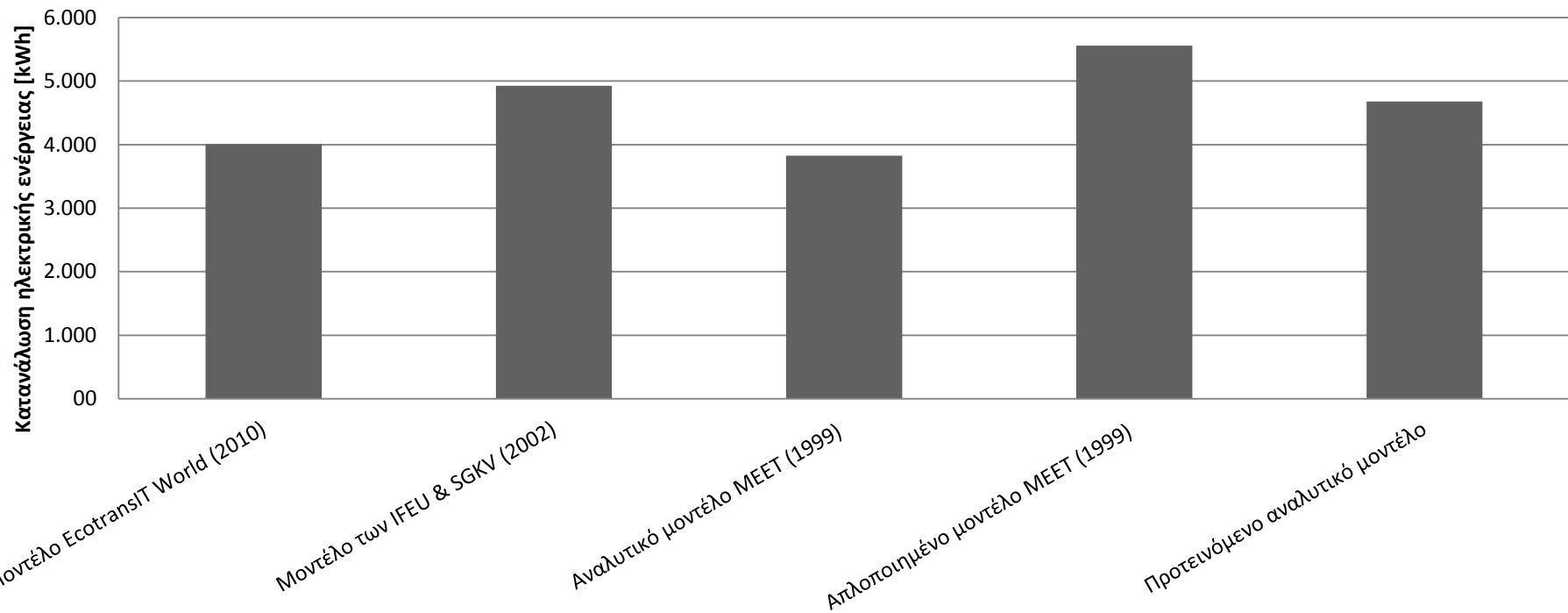
Παραδοχές για το Απλοποιημένο μοντέλο MEET:

$V_{aver}=60\text{km/h}, x=140\text{ km}$

Παραδοχές για το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο :

Προφίλ κλίσεων τμήματος Δομοκός-Αθήνα, $V_{aver}=60\text{km/h}$

Εικόνα 25: Σύγκριση εναλλακτικών μοντέλων υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμου νηξελοκίνησης για τυπικό συρμό



Παραδοχές για όλα τα μοντέλα:

1 μηχανή έλξης, μικτή ελκόμενη μάζα συρμού=1033,5t, απόσταση ηλεκτροκίνησης=232,3 km.

Παραδοχές για το Αναλυτικό μοντέλο MEET:

$N_{stops}=1, V_{max}=80\text{km/h}, V_{aver}=60\text{km/h}, \Delta h=70\text{m}$

Παραδοχές για το Απλοποιημένο μοντέλο MEET:

$V_{aver}=60\text{km/h}, x=117\text{ km}$

Παραδοχές για το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο :

Προφίλ κλίσεων τμήματος Θεσσαλονίκη-Δομοκός,
 $V_{aver}=60\text{km/h}$

Εικόνα 26: Σύγκριση μοντέλων εναλλακτικών υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας ηλεκτροκίνησης για τυπικό συρμό

Επειδή όλα τα μοντέλα χρησιμοποιούν τους ίδιους συντελεστές εκπομπών, δε θεωρείται αναγκαία η παράθεση και των διαγραμάτων των ρύπων, πέρα των διαγραμμάτων των συνολικών καταναλώσεων.

Όσον αφορά την ηλεκτροκίνηση, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα αφού υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις τιμές των καταναλώσεων που προκύπτουν από τα μοντέλα (Εικόνα 26). Οι μέσες τιμές που δόθηκαν από την ΤΡΑΙΝΟΣΕ ΑΕ παρουσιάζουν, επίσης, μεγάλη διακύμανση και κυμαίνονται από 2.000 έως 5.000 kWh για τη συγκεκριμένη διαδρομή.

Όσον αφορά την νηζελοκίνηση, τα συμπεράσματα είναι πιο σαφή (Εικόνα 25). Από τη σύγκριση προκύπτει ότι το μοντέλο των IFEU & SGKV και το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο είναι τα δύο μοντέλα που προσαρμόζονται καλύτερα στις μέσες τιμές από μετρήσεις κατανάλωσης συρμών της ΤΡΑΙΝΟΣΕ.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, θεωρήθηκε ότι προσαρμόζονται καλύτερα στις απαιτήσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και στις τιμές για τη συγκεκριμένη διαδρομή, που δόθηκαν από την ΤΡΑΙΝΟΣΕ ΑΕ, το μοντέλο των IFEU & SGKV και το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο. Αυτά είναι τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την ανάλυση ευαισθησίας.

4.8. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου και ρύπων οδικής μεταφοράς

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου και των ρύπων των οδικών μεταφορών είναι, επίσης, ένα πρόβλημα πολυπαραγοντικής φύσεως. Στην πρώτη ενότητα (Ενότητα 4.8.1) αναλύονται γενικά οι παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων των βαρέων οχημάτων (Ενότητα 4.8.2) και αναλύεται συνοπτικά η μέθοδος υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμου και ρύπων του DSLV που θα χρησιμοποιηθεί στις αναλύσεις της Εφαρμογής (Ενότητα 4.8.3).

4.8.1. Κατανάλωση καυσίμου στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές

Όπως και στην περίπτωση των σιδηροδρομικών συρμών, για να κινηθεί ένα όχημα απαιτείται ισχύς, η οποία αναλώνεται στις δυνάμεις όπου αντιστέκονται στην κίνηση του οχήματος. Οι δυνάμεις αυτές είναι:

- η αεροδυναμική αντίσταση
- η αντίσταση κύλισης
- η αντίσταση κλίσης
- δυνάμεις που αναπτύσσονται σε οριζοντιογραφικές καμπύλες
- δυνάμεις λόγω επιτάχυνσης του οχήματος
- η αδρανειακή μάζα των τροχών, του κινητήρα και του συστήματος μετάδοσης κίνησης

Η ισχύς παράγεται από τη χημική ενέργεια των καυσίμων [102]. Όταν ένα όχημα κινείται, υπάρχουν μια σειρά από παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του καυσίμου που θα καταναλώσει για να κινηθεί από την αφετηρία στον προορισμό του. Η κατανάλωση των καυσίμων αποτελεί τον κύριο παράγοντα διαμόρφωσης του λειτουργικού κόστους οχήματος αλλά και την κύρια αιτία εκπομπής ρύπων και κατ' επέκταση ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ο προσδιορισμός της είναι μια πολυσύνθετη διεργασία και εξαρτάται από παράγοντες που χαρακτηρίζονται από εξαιρετική ανομοιογένεια και δυσκολία ποσοτικοποίησης. Συνοπτικά, οι παράγοντες αυτοί είναι:

- Θερμοδυναμικοί παράγοντες

Η θερμοδυναμική απόδοση καθορίζει την ειδική κατανάλωση κάθε κινητήρα. Συγκεκριμένα, εξαρτάται από παραμέτρους όπως το σύστημα τροφοδοσίας, τα χαρακτηριστικά των θαλάμων καύσης κτλ, και επιπλέον από την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών. Αντίστοιχα, η παλαιότητα και ο μεγάλος βαθμός χρησιμοποίησης ενός κινητήρα προκαλεί μειωμένη θερμοδυναμική απόδοση και αυξημένη κατανάλωση καυσίμου [103].

- Μηχανικοί παράγοντες

Πρόκειται για τις εσωτερικές δυνάμεις του οχήματος που αντιτίθενται στην κίνηση του, όπως η αδράνεια από τη μάζα του οχήματος και οι τριβές από την κίνηση των διαφόρων μηχανισμών του κινητήρα [103].

- Αεροδυναμικοί παράγοντες

Η αεροδυναμική αντίσταση του οχήματος εξαρτάται από την μετωπική επιφάνεια, την ταχύτητα και τον αεροδυναμικό συντελεστή του οχήματος, από την πυκνότητα και θερμοκρασία του αέρα, και από την ατμοσφαιρική πίεση [103].

- Χημικοί παράγοντες

Εκφράζουν το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου και συνεπώς την ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος [103].

- Παράγοντες οδοστρώματος και γεωμετρικά χαρακτηριστικά διαδρομής

Η **τραχύτητα** του οδοστρώματος επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου λόγω της τριβής που προκαλείται ανάμεσα στο οδόστρωμα και τα ελαστικά. Οι τριβές που αναπτύσσονται εξαρτώνται από την ταχύτητα κύλισης, τον αριθμό των τροχών, την τεχνολογία και τον τύπο των ελαστικών, και από τις καιρικές συνθήκες. Σύμφωνα με το πρότυπο που ανέπτυξαν το 2000 οι Hendrik du Plessis et al., η κατανάλωση καυσίμου στα φορτηγά οχήματα μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 20% εξαιτίας της τραχύτητας [102].

Η **κλίση** του οδοστρώματος επηρεάζει την κατανάλωση του καυσίμου λόγω των πρόσθετων δυνάμεων αντίστασης που αναπτύσσονται από τη μάζα του οχήματος. Οι δυνάμεις αυτές είναι ευθέως ανάλογες με το βάρος του οχήματος και με το ημίτονο της γωνίας κλίσης του οδοστρώματος [103].

Τέλος, όταν η τροχιά ενός οχήματος διαγράφει **καμπύλη**, τα ελαστικά του ολισθαίνουν, με συνέπεια να δημιουργείται μία μικρή γωνία (γωνία ολίσθησης) που εμφανίζεται μεταξύ της επαπτομένης της τροχιάς του οχήματος και της κατεύθυνσης των τροχών. Λόγω αυτής της γωνίας ολίσθησης, δημιουργείται μία πρόσθετη δύναμη, η οποία αντιτάσσεται στην κίνηση και η οποία δημιουργεί μία πρόσθετη κατανάλωση [103].

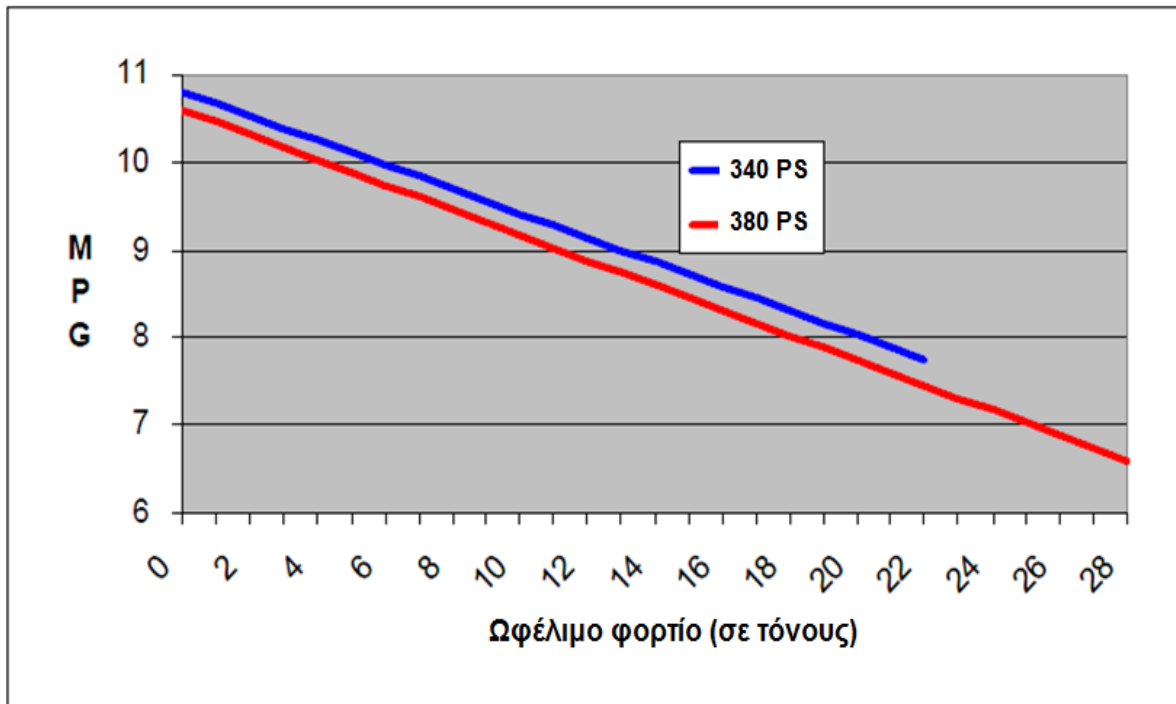
- Οι συνθήκες κυκλοφορίας

Η **σύνθεση** και οι **συνθήκες** της **κυκλοφορίας** επηρεάζουν την μέση ταχύτητα κίνησης και τον τρόπο οδήγησης. Η αυξημένη κυκλοφορία μεταφράζεται σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου λόγω των μικρών ταχυτήτων και υψηλών στροφών του κινητήρα. Στις περιπτώσεις συχνών στάσεων και επανεκκινήσεων παρατηρείται πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου, αφού για την εκκίνηση του οχήματος από πλήρη στάση πρέπει να υπερνικηθούν αδρανειακές δυνάμεις [103].

- Το μέγεθος μεταφερόμενου φορτίου

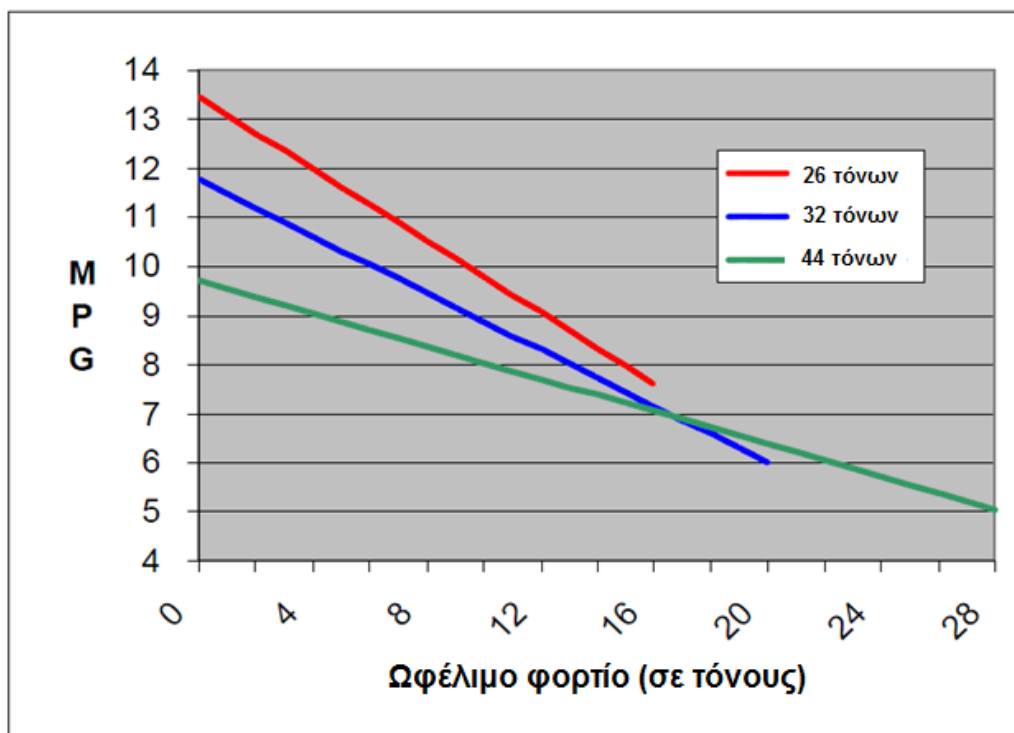
Το μέγεθος του μεταφερόμενου φορτίου, δηλαδή το **ωφέλιμο βάρος** του φορτηγού οχήματος, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου.

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου (MPG=miles per gallon)-ωφέλιμου φορτίου (payloads-tonnes), που έχουν προκύψει πειραματικά, ο λόγος mpg (αντίστοιχος του km/lt) μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο (Εικόνα 27,Εικόνα 28). Δηλαδή, ένα φορτηγό με μεγαλύτερο φορτίο από ένα δεύτερο, καταναλώνοντας τα ίδια λίτρα καυσίμου, διανύει λιγότερα χιλιόμετρα. Η ακριβής ποσοτικοποίηση, ωστόσο, αυτής επιρροής είναι δύσκολη λόγω της πολυπαραγοντικής φύσης του προβλήματος.



Εικόνα 27: Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο για διάφορους τύπους φορτηγών διανομής [104]

Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 27 φορτηγά διανομής διαφορετικής απόδοσης κινητήρα αρχικά έχουν περίπου την ίδια κατανάλωση καυσίμων όταν είναι άδεια (αν και το φορτηγό 380 ίππων είναι σχεδόν ένα τόνο βαρύτερο από αυτό των 340 ίππων). Καθώς το ωφέλιμο φορτίο αυξάνεται, στο όχημα με τον κινητήρα μικρότερης απόδοσης (340 ίππων) αυξάνεται η διαφορά στην αποδοτικότητα των καυσίμων σε σύγκριση με το όχημα με τον κινητήρα μεγαλύτερης απόδοσης (380 ίππων).



Εικόνα 28: Διαγράμματα κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο για φορτηγά μεταφοράς χύδην φορτίου [104]

Ακόμη, αξιοσημείωτο είναι ότι ένα φορτηγό μεγαλύτερου μικτού βάρους (44 τόνων) έχει μικρότερη κατανάλωση καυσίμων από ένα φορτηγό μικρότερου βάρους (32 τόνων) όταν το φορτίο του ξεπεράσει έναν συγκεκριμένο αριθμό τόνων. Δηλαδή, στην περίπτωση που παρουσιάζεται στην εικόνα 18, για φορτία κάτω των 17 τόνων η μεταφορά με φορτηγά 26 ή 32 τόνων θα οδηγούσε σε ελαχιστοποίηση των δαπανών για καύσιμα. Πέρα, όμως, από αυτήν την τιμή η μεταφορά με φορτηγό 44 τόνων θα ήταν πιο συμφέρουσα [104].

Σύμφωνα με έρευνα της εταιρείας ελαστικών Goodyear, εκτιμάται κατά προσέγγιση ότι για αύξηση φορτίου κατά 10.000 rounds, δηλαδή περίπου 4,5 τόνους, η οικονομία καυσίμου μειώνεται κατά 5% [105].

- Η συντήρηση του οχήματος

Η αποτελεσματική συντήρηση του οχήματος, ιδιαίτερα επισκευάζοντας άμεσα βλάβες στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της κατανάλωσης καυσίμων στο ίδιο επίπεδο. Με τη χρήση ειδικών λιπαντικών και πρόσθετων μειώνονται οι τριβές και κατ' επέκταση οι απώλειες ισχύος στο κιβώτιο σχέσεων και μετάδοσης ενώ με τη σωστή πίεση των ελαστικών επιτυγχάνεται η

ελάχιστη δυνατή αντίσταση κύλισης με το οδόστρωμα με συνέπεια την απαίτηση μικρότερης κατανάλωσης καυσίμου [103]. Έρευνα του 1983 διαπίστωσε ότι σε ταχύτητα 80 km/h μία μείωση 8% στην πίεση των ελαστικών δημιούργησε μία αύξηση 2,1% στην κατανάλωση καυσίμων [102].

- Οι απαγορεύσεις κυκλοφορίας

Τα φορτηγά οχήματα υπόκεινται σε ορισμένες **απαγορεύσεις κυκλοφορίας** που περιορίζουν την επιλογή χερσαίας διαδρομής και τη χρονική στιγμή διέλευσης οδικών τμημάτων. Για παράδειγμα, σε όλη τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου τα φορτηγά οχήματα απαγορεύεται να κάνουν χρήση των ρευμάτων εισόδου εθνικών οδών στα **Αστικά Κέντρα** κάθε Κυριακή [106].

Στις περιπτώσεις εκτροπής από το κυρίως οδικό δίκτυο γίνεται υποχρεωτική χρήση εναλλακτικής διαδρομής μέσω δευτερευουσών οδών ή παλαιών εθνικών οδών που χαρακτηρίζονται από μικρού πλάτους οδοστρώματα, μεγάλης ελκτικότητας και κατά μήκους κλίσης και μικρής ταχύτητας κίνησης. Συνεπώς, δημιουργείται **πρόσθετη κατανάλωση** λόγω διάνυσης μεγαλύτερων χιλιομετρικών αποστάσεων, επιλογής διαδρομών με δυσμενέστερα χαρακτηριστικά ως προς την κατανάλωση και καταπόνησης του οχήματος.

- Η τεχνική οδήγησης

Η τεχνική οδήγησης του οδηγού βαρέων οχημάτων διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση. Για να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή κατανάλωση πρέπει:

- ✓ Η **οδήγηση** να είναι όσο το δυνατόν πιο **ομαλή**, αποφεύγοντας τις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις χωρίς λόγο
- ✓ Η **αλλαγή των ταχυτήτων** να γίνεται έγκαιρα στις 2.000-2.500 στροφές ανά λεπτό, αφού η οδήγηση με λιγότερες στροφές του κινητήρα έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη κατανάλωση καυσίμων
- ✓ Ο **κινητήρας** του οχήματος να **απενεργοποιείται** όταν αυτό σταθμεύει προσωρινά.
- ✓ Η ταχύτητα να ακολουθεί τα επιτρεπόμενα όρια αφού **αποφεύγοντας μεγάλες ταχύτητες** επιτυγχάνεται αρκετά μεγάλη μείωση της κατανάλωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οδηγώντας με 85 km/h το όχημα καταναλώνει περίπου 25% περισσότερο καύσιμο από ότι αν η ταχύτητα ήταν 70 km/h. Σύμφωνα με άλλη πηγή μία αλλαγή ταχύτητας της τάξης των 10

km/h έχει συνέπεια διαφορά 10 % στην αποδοτικότητα του καυσίμου [107]-[109].

- Η επιλογή του οχήματος

Η επιλογή οχήματος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που συμβάλει στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου. Ωστόσο, ο βαθμός μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου από την τροποποίηση των χαρακτηριστικών του οχήματος είναι χαμηλός για την πλειοψηφία των κατηγοριών με μόνη εξαίρεση τη βελτίωση της αεροδυναμικής του οχήματος με τη χρήση κατάλληλων εξαρτημάτων, αφού οι παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του οχήματος απαιτούν χρόνο και μεγάλο κόστος ώστε να μεταβληθούν. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι η επιλογή του κατάλληλου οχήματος που ικανοποιεί τις ειδικές απαιτήσεις της εκάστοτε μεταφοράς είναι κρίσιμη. Για παράδειγμα, τα οχήματα που δραστηριοποιούνται σε λοφώδεις ή ορεινές περιοχές μπορεί να χρειάζονται διαφορετική ιπποδύναμη από εκείνα που δραστηριοποιούνται σε πεδιάδες. Αντίστοιχα, τα πλαίσια των οχημάτων που μεταφέρουν υλικά υψηλής πυκνότητας θα είναι μικρότερων διαστάσεων από αυτά που μεταφέρουν υλικά χαμηλής πυκνότητας. Επιπλέον, τα οχήματα που μεταφέρουν εμπορεύματα σε εθνικό επίπεδο καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια για την υπερνίκηση των αεροδυναμικών αντιστάσεων από εκείνα που πραγματοποιούν αστικές παραλαβές και διανομές [103].

4.8.2. Πρότυπα εκπομπής ρύπων φορτηγών οχημάτων

Η Ευρώπη εισήγαγε για πρώτη φορά πρότυπα εκπομπών ρύπων βαρέων επαγγελματικών οχημάτων το 1988, σε μία προσπάθεια περιορισμού των ρύπων και των συνεπειών τους, για την προστασία του περιβάλλοντος και τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Τα επίσημα ευρωπαϊκά πρότυπα («EURO») αναπτύχθηκαν το 1992 και από τότε ανανεώνονται κάθε λίγα χρόνια και γίνονται ολοένα και αυστηρότερα. Τα πρότυπα αυτά για βαρέα οχήματα είναι αριθμημένα με λατινικούς αριθμούς (π.χ. Euro I, II V) και τα όρια δίνονται σε g/kWh, ενώ τα αντίστοιχα για ελαφρά χρησιμοποιούν αραβικούς αριθμούς (π.χ. Euro 1, 2 ... 5) και τα όρια δίνονται σε g/km. Στη συνέχεια, ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των ευρωπαϊκών προτύπων των βαρέων οχημάτων, παρουσιάζονται οι πίνακες με τα όρια των προτύπων για κάθε ρύπο και μία σύγκριση των προτύπων.

Euro I και II

Το πρότυπο Euro I εισήχθη το 1992 , ακολουθούμενο από το πρότυπο Euro II το 1996. Το πρότυπο αυτό εφαρμοζόταν στους κινητήρες φορτηγών οχημάτων και αστικών λεωφορείων. Η εφαρμογή του, ωστόσο, στην περίπτωση των λεωφορείων ήταν προαιρετική.

Euro III, IV, και V

Η Ε.Ε. εξέδωσε την οδηγία 1999/96/EC το 1999, η οποία εισήγαγε το πρότυπο Euro III (2000), καθώς και το πρότυπο Euro IV / V (2005/ 2008). Η οδηγία όριζε, προαιρετικά, αυστηρότερα όρια εκπομπών για οχήματα με ήδη πολύ χαμηλές τιμές εκπομπών (Enhanced environmentally friendly vehicle).

Όταν υιοθετήθηκαν τα πρότυπα Euro IV και Euro V, οι ρυθμιστικές αρχές ανέμεναν ότι οι αυστηρότερες προδιαγραφές εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων (PM) θα απαιτούσαν τη χρήση φίλτρων σωματιδίων πετρελαίου (DPFs) στα εμπορικά βαρέα οχήματα. Ωστόσο, ρυθμίζοντας τους κινητήρες για πολύ χαμηλές εκπομπές NOx, μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου και σχετικά χαμηλές εκπομπές σωματιδίων, οι κατασκευαστές ήταν σε θέση να συμμορφωθούν με τις προδιαγραφές των προτύπων Euro IV και V χωρίς τη χρήση των φίλτρων. Οι κατασκευαστές χρησιμοποίησαν ειδικούς καταλύτες για την επιλεκτική μείωση των εκπομπών NOx από τις εξατμίσεις των φορτηγών οχημάτων, ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές των Euro IV και Euro V. Ωστόσο, αυτή η στρατηγική συμμόρφωσης δεν μειώνει τις εκπομπές των μικρότερων και πιο επικίνδυνων σωματιδίων στον ίδιο βαθμό με τα φίλτρα (Εικόνα 29).

Euro VI

Το πρότυπο εκπομπών Euro VI εισήχθη με τον κανονισμό 595/2009. Τα νέα όρια εκπομπών, ανάλογα σε αυστηρότητα με τις προδιαγραφές των ΗΠΑ για το 2010, τέθηκαν σε ισχύ το 2013 για τις νέες άδειες και θα ισχύουν για όλες τις ταξινομήσεις το 2014. Τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν το δικαίωμα να χρησιμοποιήσουν φορολογικά κίνητρα για την τόνωση των πωλήσεων των οχημάτων που πληρούν τις νέες προδιαγραφές [110].

Πίνακας 21: Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων κινητήρων diesel βαρέων οχημάτων, [g/kWh] [111]

Πρότυπο	Χρονολογία	Κύκλος οδήγησης ¹¹	CO	HC	NOx	PM	Καπνός	
Euro I	1992,<85kW	ECE R-49	4,5	1,1	8	0,612		
	1992,>85kW		4,5	1,1	8	0,36		
Euro II	Οκτώβριος 1996		4	1,1	7	0,25		
	Οκτώβριος 1998		4	1,1	7	0,15		
Euro III	Οκτώβριος 1999 (μόνο για τα EEVs*)		ESC &ELR	1	0,25	2	0,02	0,15
	Οκτώβριος 2000		ESC &ELR	2,1	0,66	5	0,1 0,13*	0,8
Euro IV	Οκτώβριος 2005	1,5		0,46	3,5	0,02	0,5	
Euro V	Οκτώβριος 2008	1,5		0,46	2	0,02	0,5	
Euro VI	31-Δεκ-13	1,5		0,13	0,4	0,01		

* Όριο που ισχύει για τα βελτιωμένα, φιλικότερα προς το περιβάλλον οχήματα (Enhanced Environmentally friendly Vehicles)

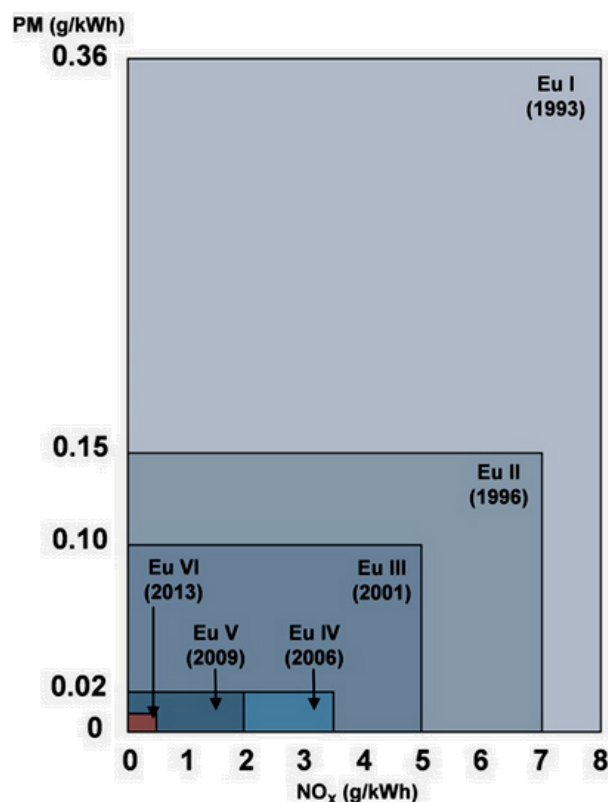
Πίνακας 22: Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για την κατηγορία οχημάτων N3¹² και κύκλο οδήγησης EDC [111]

Προδιαγραφές	Έτη	CO (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro 0	1988-1992	12,3	15,8	2,6	none
Euro I	1992-1995	4,9	9	1,23	0,4
Euro II	1995-1999	4	7	1,1	0,15
Euro III	1999-2005	2,1	5	0,66	0,1
Euro IV	2005-2008	1,5	3,5	0,46	0,02
Euro V	2008-2012	1,5	2	0,46	0,02

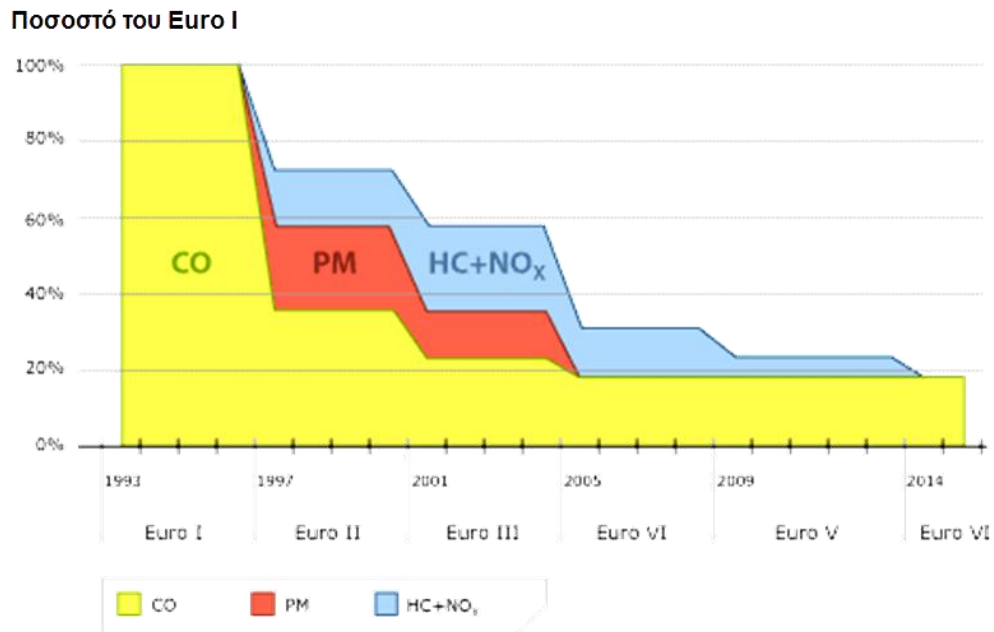
¹¹ Ο κύκλος οδήγησης είναι μια σειρά δεδομένων που αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα ενός οχήματος σε σχέση με τον χρόνο. Οι κύκλοι οδήγησης δημιουργούνται από διαφορετικές χώρες και οργανισμούς για την αξιολόγηση της απόδοσης των οχημάτων για θέματα όπως η κατανάλωση των καυσίμων και οι εκπομπές ρύπων, ώστε να υπάρχει κοινή βάση σύγκρισης των αποτελεσμάτων.

¹² Στην κατηγορία N3 περιλαμβάνονται τα οχήματα για τη μεταφορά αγαθών που έχουν μέγιστο βάρος που ξεπερνά τους 12 τόνους.

Από τους παραπάνω πίνακες, αξιοσημείωτο είναι ότι απουσιάζουν από τις προδιαγραφές όρια για το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα. Στο πλαίσιο της δέσμευσης της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τα όρια για τις εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα αποτελούν, τα τελευταία χρόνια, συχνό αντικείμενο συζήτησης. Ήδη από το 1994, προτάθηκε να τεθεί ένα όριο στις εκπομπές CO₂ των αυτοκινήτων της τάξης των 120 g/km. Ωστόσο, τα πρώτα δεσμευτικά όρια για τις εκπομπές CO₂ από τα οχήματα υιοθετήθηκαν μόλις το 2009, όταν η ΕΕ έθεσε ένα νομικά δεσμευτικό όριο εκπομπής CO₂ για τα καινούργια αυτοκίνητα (443/2009). Τον Μάιο του 2011 μια παρόμοια νομοθεσία της ΕΕ ψηφίστηκε για τα ημιφορτηγά (510/2011). Δεδομένου ότι δεν υπάρχει επί του παρόντος καμία τεχνολογία μετεπεξεργασίας που μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ από τα οχήματα, τα όρια που τίθενται μπορούν να θεωρηθούν ως μέσα για την καλύτερη αποδοτικότητα των καυσίμων και όχι ως όρια περιορισμού ρύπου [112]. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επεξεργάζεται αυτήν την περίοδο μια ολοκληρωμένη στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα βαρέα οχήματα τόσο των εμπορευματικών όσο και των επιβατικών μεταφορών [113].



Εικόνα 29: Γραφική απεικόνιση των συνεχώς μειούμενων ορίων NO_x και PM των ευρωπαϊκών προτύπων εκπομπής ρύπων [114]



Εικόνα 30: Συσχέτιση του προτύπου Euro I με τα μεταγενέστερα πρότυπα. [115]

4.8.3. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου και ρύπων με τη μέθοδο του DSLV

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού των ρύπων που εκπέμπονται από μία αμιγώς οδική μεταφορά, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Ο όρος οδική μεταφορά αναφέρεται είτε στο οδικό τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς είτε στην ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά. Η μόνη διαφορά στις δύο αυτές περιπτώσεις είναι ότι στη συνδυασμένη μεταφορά θεωρείται ότι εκτός του ωφέλιμου φορτίου των εμπορευμάτων μεταφέρεται και το απόβαρο των εμπορευματοκιβωτίων ενώ στην αμιγώς οδική μεταφορά μόνο το ωφέλιμο φορτίο των εμπορευμάτων.

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του DSLV για τον υπολογισμό της κατανάλωσης των φορτηγών οχημάτων και μέσω αυτής των ρύπων, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16258 [39].

Εκτός από το φορτίο των φορτηγών, που, όπως αναφέρθηκε ήδη, διαφοροποιείται για τις δύο περιπτώσεις των οδικών μεταφορών, οι μεταβλητές εισόδου της μεθόδου είναι οι εξής:

- η απόσταση της οδικής μεταφοράς

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

Η μέθοδος αναφέρει ότι παρόλο που οι ρύποι από τις οδικές μεταφορές έχουν μειωθεί δραστικά τα τελευταία χρόνια, η μέση κατανάλωση καυσίμου έχει παραμείνει σταθερή μετά την εισαγωγή του προτύπου EURO III. Γι' αυτό το λόγο, οι τιμές της κατανάλωσης ανά t·km **δεν διαφοροποιούνται**, επί του παρόντος, **ανάλογα με το πρότυπο**, του οποίου τα όρια το όχημα πληροί, **ή με την ηλικία** του οχήματος. Μόνο πολύ παλιά φορτηγά οχήματα έχουν υψηλότερες τιμές κατανάλωσης από αυτές που προκύπτουν από τη μέθοδο.

Βάσει των παραπάνω, υπολογίζεται η κατανάλωση του φορτηγού οχήματος για κάθε ομάδα εμπορευματοκιβωτίων ανάλογα με την κλίση και το ωφέλιμο φορτίο τους, χρησιμοποιώντας τις τιμές του επόμενου πίνακα (Πίνακας 23), εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$E [l/100km] = A [l/100km] + B [l/100km] * \frac{N [t]}{C [t]}$$

Όπου:

E Κατανάλωση καυσίμου φορτηγού σε l/100km ανάλογα με την κλίση και το μεταφερόμενο ωφέλιμο φορτίο

A Κατανάλωση κενού οχήματος σε l/100km (Πίνακας 23)

B Διαφορά στην κατανάλωση μεταξύ πλήρως έμφορτου και κενού οχήματος σε l/100 km (Πίνακας 23)

N Το ωφέλιμο φορτίο της ομάδας εμπορευματοκιβωτίων που εξετάζεται σε τόνους

C Το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο του φορτηγού (26t)

Πίνακας 23: Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο φορτηγού, μέσες τιμές κατανάλωσης κενού οχήματος και διαφορές κατανάλωσης κενού και πλήρως έμφορτου οχήματος για διαφορετικές κατηγορίες κλίσης εδάφους [39]

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

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

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

Όπου:

- F* η τελική κατανάλωση καυσίμου του φορτηγού σε l/100km για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης μεταφοράς
- D* η απόσταση της μεταφοράς σε km
- P* το ποσοστό της διαδρομής στο σύνολό της που πραγματοποιείται σε αστικές οδούς
- E* η κατανάλωση καυσίμου φορτηγού σε l/100km ανάλογα με την κλίση και το μεταφερόμενο ωφέλιμο φορτίο, που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα
- CF* ο συντελεστής διόρθωσης της κατανάλωσης για κυκλοφορία αστικού δικτύου (Πίνακας 24)

Πίνακας 24: Συντελεστής διόρθωσης της κατανάλωσης φορτηγού για κυκλοφορία εντός αστικού δικτύου

[39]

	Συντελεστής διόρθωσης της κατανάλωσης για χρήση αστικού δικτύου (CF)
Φορτηγό μικτού βάρους 24-40t	1,4

Τέλος, υπολογίζονται τα εκπεμπόμενα WTW και TTW αέρια του θερμοκηπίου βάσει προκαθορισμένων συντελεστών εκπομπών από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16258 χρησιμοποιώντας και για τα δύο είδη εκπομπών τη σχέση:

$$GHGs [kg CO_2e] = F [l] * EF$$

Όπου:

GHGs τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται λόγω της συγκεκριμένης μεταφοράς

F η τελική κατανάλωση καυσίμου του φορτηγού σε l/100km για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης μεταφοράς, όπως υπολογίστηκε παραπάνω

EF ο αντίστοιχος συντελεστής εκπομπών (Πίνακας 25)

Πίνακας 25: Συντελεστές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για καύσιμο diesel [37]

	Συντελεστές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [KgCO ₂ e/l]	
	Tank-to-wheels	Well-to-wheels
Diesel	2,67	3,24

5. Εφαρμογή της μεθόδου στη γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Στο κεφάλαιο αυτό, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο εφαρμόζεται στη γραμμή Αθηνών – Θεσσαλονίκης. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διαδρομή του ελληνικού σιδηροδρομικού δικτύου λόγω της πρόσφατης ένταξης στα δρομολόγια του ΟΣΕ ενός καθημερινού εμπορευματικού δρομολογίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Intermodal Cargo Shuttle) στη γραμμή αυτή.

Αρχικά, περιγράφεται η σιδηροδρομική διαδρομή και ακολουθεί η προσαρμογή της μεθόδου στα ισχύοντα, αυτή τη στιγμή, δεδομένα ενώ παρουσιάζονται και κάποιοι βασικοί υπολογισμοί. Στην τελευταία ενότητα παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων της διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε.

5.1. Περιγραφή σιδηροδρομικής διαδρομής Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Η συγκεκριμένη διαδρομή έχει συνολικό μήκος 509,93 km. Χωρίζεται σε δύο τμήματα λόγω της αλλαγής του συστήματος έλξης. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο τμήμα της διαδρομής από την Αθήνα έως το Δομοκό, μήκους 277,60 km, οι συρμοί κινούνται με νηζελokίνηση ενώ στο δεύτερο τμήμα, από το Δομοκό έως τη Θεσσαλονίκη, μήκους 232,33 km οι συρμοί κινούνται με ηλεκτροκίνηση (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Το σιδηροδρομικό δίκτυο του ΟΣΕ [87]

Η μέγιστη φόρτιση κατά άξονα σε όλο το μήκος της διαδρομής είναι 20t/άξονα και το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο ανά τρέχον μέτρο μήκους γραμμής είναι 8 t/μέτρο μήκους, τιμή που ισχύει για όλο το ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 26), παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του τμήματος Αθήνα- Θεσσαλονίκη σύμφωνα με τη δήλωση δικτύου του ΟΣΕ για το 2014 [87].

Πίνακας 26: Χαρακτηριστικά του τμήματος της σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης

	Αρχικό Σημείο Διαδρομής/ Κόμβος Δικτύου	Τελικό Σημείο Διαδρομής/ Κόμβος Δικτύου	Μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο κατ'άξονα	Μήκος Γραμμής (χλμ.)	Μονή Γραμμή (χλμ.)	Διπλή Γραμμή (χλμ.)	Πολλαπλή Γραμμή (χλμ.)	Πλήθος Γραμμών	Μέγιστη κλίση (%)	Μήκος Ηλεκτροδοτούμενης Γραμμής (χλμ.)
1	ΠΕΙΡΑΙΑ	ΡΕΝΤΗΣ	20	3,37	-	3,37	-	2	16	-
2	ΡΕΝΤΗΣ	ΡΟΥΦ	20	3,6	-	-	3,6	3	16	-
3	ΡΟΥΦ	ΑΘΗΝΑ	20	2,58	-	2,58	-	2	16	-
4	ΑΘΗΝΑ	ΣΚΑ	22,5	8,86	-	8,86	-	2	16	-
5	ΣΚΑ	ΟΙΝΟΗ	22,5	52,25	-	52,25	-	2	20,5	-
6	ΟΙΝΟΗ	ΤΙΘΟΡΕΑ	22,5	93,17	-	93,17	-	2	22	-
7	ΤΙΘΟΡΕΑ	ΔΟΜΟΚΟΣ	20	121,6	121,6	-	-	1	22	-
8	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΛΑΡΙΣΑ	22,5	57,5	-	57,5	-	2	14	57,5
9	ΛΑΡΙΣΑ	ΠΛΑΤΥ	22,5	127,94	-	127,94	-	2	14	127,94
10	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	ΠΛΑΤΥ	20	32,1	-	32,1	-	2	10	32,1

5.2. Προσαρμογή της μεθόδου και υπολογισμοί

Σενάρια φορτίων

Για τον προσδιορισμό των σεναρίων των φορτίων, που θα χρησιμοποιηθούν στη διερεύνηση, λαμβάνονται διαδοχικές κλάσεις μικτού φορτίου (ωφέλιμο φορτίο και απόβαρο εμπορευματοκιβωτίων) με βήμα 100 τόνων. Τα φορτία αυτά, στη συνέχεια επιμερίζονται σε 4 κατηγορίες βάρους αγαθών ανάλογα με το ποσοστό τους επί του συνολικού αριθμού διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων.

Στην παρούσα εργασία, για τις αναλύσεις της διερεύνησης θα εξετασθούν τρία διαφορετικά σενάρια φορτίων. Στο πρώτο (**Σενάριο #1**) η κατανομή των φορτίων σε

ελαφριά, μεσαίου βάρους και βαριά γίνεται σύμφωνα με τα ποσοστά που έχουν προκύψει από μία έρευνα σχετική με τη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων σε δύο από τους μεγαλύτερους σιδηροδρομικούς εμπορευματικούς σταθμούς μεταφόρτωσης της Ευρώπης, στα λιμάνια του Ρότερνταμ και του Αμβούργου (Πίνακας 27).

Πίνακας 27: Ποσοστό ελαφριών, μεσαίου βάρους και βαριών εμπορευμάτων που διακινούνται από τους σταθμούς διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων του Ρότερνταμ και του Αμβούργου [85]

Κατηγορία βάρους αγαθών	Μέσο βάρος [t/TEU]	Μερίδιο κατηγορίας στο συνολικό αριθμό διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων
Ελαφριά	6	43%
Μεσαίου βάρους	14	30%
Βαριά	23	19%
Πολύ βαριά	30	8%

Οι τιμές αυτές μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές για το σύνολο του διακινούμενου όγκου εμπορευματοκιβωτίων της Ευρώπης, δεδομένου του μεγάλου όγκου που διακινείται στους προαναφερθέντες σταθμούς.

Στο δεύτερο σενάριο, το σύνολο των μεταφερόμενων αγαθών ανήκει μόνο στην κατηγορία των ελαφριών αγαθών (**Σενάριο #2**) και στο τρίτο στις κατηγορίες των βαριών και πολύ βαριών σε αναλογία 70% και 30%, αντίστοιχα (**Σενάριο #3**).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 28) παρουσιάζεται ο αριθμός εμπορευματοκιβωτίων για κάθε κλάση μικτού βάρους για τα τρία σενάρια που χρησιμοποιούνται στη μεθοδολογία.

Πίνακας 28: Αριθμός εμπορευματοκιβωτίων για κάθε κλάση μικτού βάρους για τα τρία σενάρια

Σενάριο #1 (Συνήθης μίξη φορτίων)

		Κλάση μικτού φορτίου [t]							
		100	200	300	400	500	600	700	800
		Αριθμός εμπορευματοκιβωτίων							
Ελαφριά	45'	2	4	6	8	11	13	15	17
	40'	1	2	4	5	6	7	8	10
Μεσαίου βάρους	45'	1	1	2	3	3	4	4	5
	40'	0	1	1	1	2	2	3	3
Βαριά	20'	1	2	2	3	4	5	6	7
Πολύ βαριά	20'	0	1	1	1	1	2	2	2

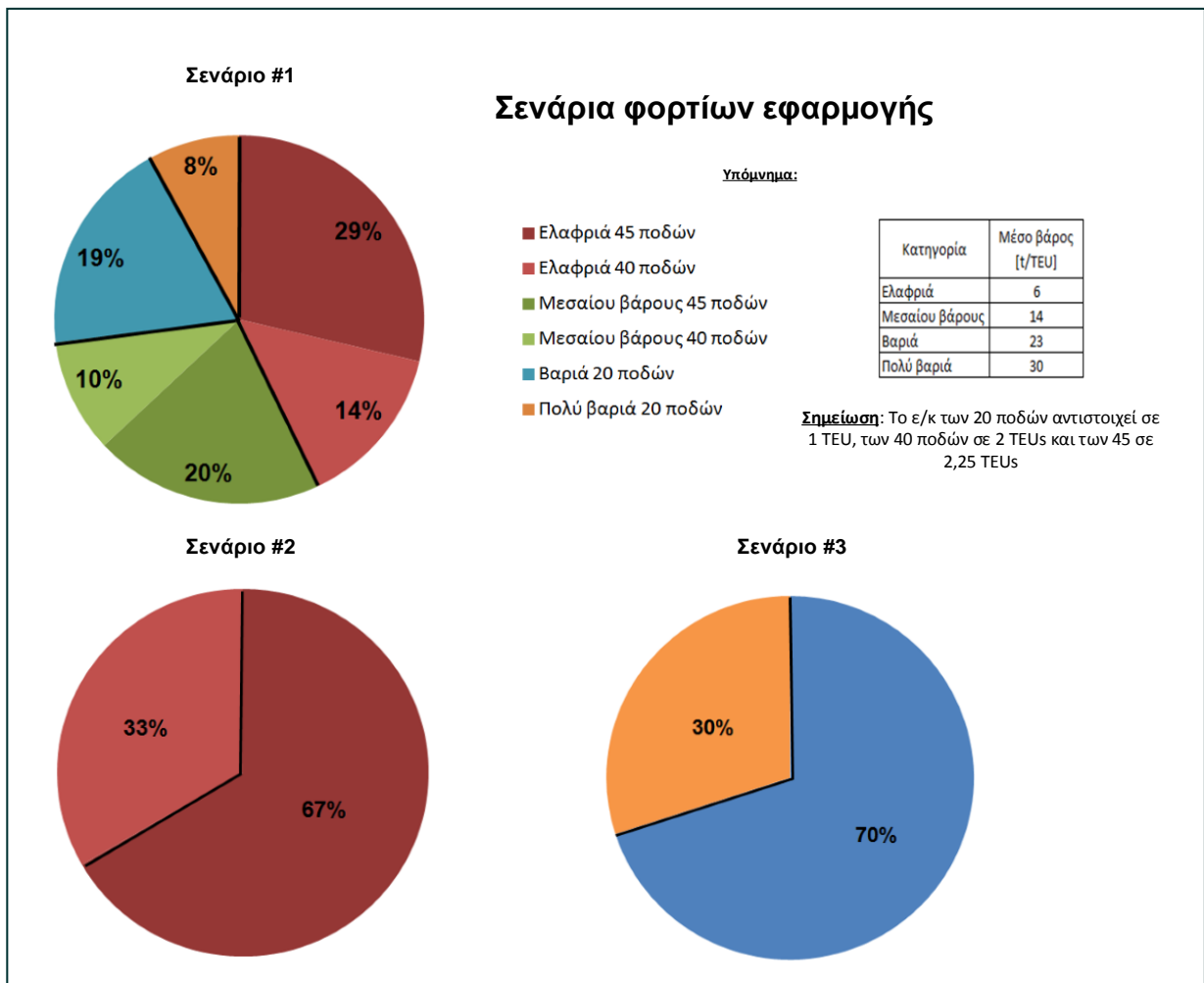
Σενάριο #2 (Μόνο ελαφριά φορτία)

		Κλάση μικτού φορτίου [t]			
		100	200	300	400
		Αριθμός εμπορευματοκιβωτίων			
Ελαφριά	45'	5	10	15	20
	40'	3	6	8	11

Σενάριο #3 (Μόνο βαριά και πολύ βαριά φορτία)

		Κλάση μικτού φορτίου [t]													
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
		Αριθμός εμπορευματοκιβωτίων													
Βαριά	20'	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	37	40	43
Πολύ βαριά	20'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Στην Εικόνα 32, παρουσιάζεται μία σύνοψη των τριών σεναρίων που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.



Εικόνα 32: Κατανομές φορτίων για τα τρία σενάρια της εφαρμογής

Σημείωση: Στο εξής, για την ευκολότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται η εξής κωδικοποίηση: «Σενάριο #(Αριθμός σεναρίου) (Κλάση μικτού φορτίου)». Ο πρώτος αριθμός αντιστοιχεί στα σενάρια #1, #2 και #3 και ο δεύτερος στις κλάσεις μικτού φορτίου των τριών σεναρίων και αφορά **μόνο** τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων κάθε κατηγορίας βάρους. Π.χ. ο κωδικός «Σενάριο #2 (100)» αναφέρεται στο σενάριο των ελαφριών φορτίων που έχει 5 ελαφριά εμπορευματοκιβώτια 45 ποδών και 3 ελαφριά εμπορευματοκιβώτια 40 ποδών, σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα.

Στη συνέχεια της ενότητας, αναλύονται οι διάφορες κατηγορίες βάρους αγαθών και τα βασικά χαρακτηριστικά τους [85].

✓ Ελαφριά αγαθά

Η κυρίαρχη κατηγορία βάρους αποτελείται από ελαφριά καταναλωτικά αγαθά, όπως ηλεκτρονικός εξοπλισμός, προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας και άλλα βιομηχανικά είδη. Τα αγαθά αυτά αντιπροσωπεύουν περίπου το 43% του συνολικού διακινούμενου αριθμού εμπορευματοκιβωτίων έχοντας μέσο μικτό βάρος 6 t /TEU, με ένα εύρος μεταξύ 3 και 10 t / TEU. Η πλειονότητα των αγαθών αυτών μεταφέρεται σε εμπορευματοκιβώτια 40 ποδών, αλλά θα ήταν προτιμότερο από άποψη εκμετάλλευσης χώρου, να χρησιμοποιούνταν εμπορευματοκιβώτια 45 ποδών. Τα εμπορευματοκιβώτια 20 ποδών αποφεύγονται για τη μεταφορά τέτοιων αγαθών για προφανείς λόγους.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε η παραδοχή ότι από τον συνολικό αριθμό μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων ελαφριών αγαθών, τα $\frac{2}{3}$ αυτών μεταφέρονται σε εμπορευματοκιβώτια 45 ποδών και το υπόλοιπο $\frac{1}{3}$ σε 40 ποδών.

✓ Αγαθά μεσαίου βάρους

Σε αυτήν την κατηγορία βάρους ανήκουν κυρίως τα τελικά και ημιτελή προϊόντα, τα βαρέα μηχανήματα, προϊόντα ξύλου, συσκευασμένα χημικά προϊόντα και λιπάσματα, βαρύτερα καταναλωτικά προϊόντα (ημι-επεξεργασμένα τρόφιμα, ποτά, κτλ), πλαστικά απορρίμματα και απόβλητα χαρτιού. Η μέση τιμή μικτού βάρους ανά TEU είναι 14 t με εύρος διακύμανσης από 10 έως 17 t. Η μεταφορά και αυτών των προϊόντων γίνεται κυρίως με χρήση εμπορευματοκιβωτίων 40 και 45 ποδών, τα οποία καλούνται να μεταφέρουν φορτίο που πλησιάζει τη μεταφορική τους

ικανότητα. Τα εμπορευματοκιβώτια 20 ποδών αποφεύγονται και σε αυτήν την κατηγορία.

Ομοίως με τα προηγούμενα, γίνεται η παραδοχή ότι, τα $\frac{2}{3}$ των αγαθών μεταφέρονται σε εμπορευματοκιβώτια 45 ποδών και τα υπόλοιπα σε 40 ποδών.

✓ Βαριά αγαθά

Τυπικά αγαθά αυτής της κατηγορίας είναι χημικά προϊόντα ή ημι-προϊόντα (σε βαρέλια, ή άλλες συσκευασίες), αλεύρι και άλλα μεταποιημένα δημητριακά, ζωοτροφές, επεξεργασμένα μέταλλα και άλλα. Το μέσο μικτό βάρος τους είναι 23t/TEU με εύρος από 18 έως 26 t / TEU. Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά εμπορευματοκιβώτια 20 ποδών λόγω εξάντλησης της μεταφορικής ικανότητας των εμπορευματοκιβωτίων των 40 και 45 ποδών που έχουν μέγιστο μικτό βάρος το πολύ μέχρι 35 t.

✓ Πολύ βαριά αγαθά

Αυτή η κατηγορία εμπορευματοκιβωτίων φέρει τα βαρύτερα δυνατά μοναδοποιημένα αγαθά. Αυτά μπορεί να είναι προϊόντα σιδήρου και χάλυβα, χημικά υγρά, όπως προϊόντα πετρελαίου, σε βαρέλια και άλλα. Το μέσο μικτό βάρος τους είναι 29 t / TEU και μπορεί να κυμαίνεται από 26 έως 30,5 t / TEU, γεγονός που δείχνει ότι τα εμπορευματοκιβώτια έχουν σχεδόν εξαντλήσει το μέγιστο μικτό τους φορτίο, με πυκνότητα κοντά στον $1 \text{ t} / \text{m}^3$, όση δηλαδή και η πυκνότητα του νερού. Σε αυτήν την περίπτωση, η αποκλειστική χρησιμοποίηση εμπορευματοκιβωτίων των 20 ποδών είναι απολύτως δικαιολογημένη.

Στην εφαρμογή, χρησιμοποιούνται **εμπορευματοκιβώτια 20, 40 και 45 ποδών** τα χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 29). Σημειώνεται ότι το πλάτος και το ύψος δε χρησιμοποιούνται στη συνέχεια αλλά παρουσιάζονται για την πληρότητα του θέματος.

Πίνακας 29: Χαρακτηριστικά εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή

Είδος εμπορευματοκιβωτίου	Μήκος [m]	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	Μέγιστο μικτό βάρος [t]	Απόβαρο [t]	Μέγιστο ωφέλιμο βάρος [t]	Αριθμός TEUs
Εμπορευματοκιβώτιο 20' νέας γενιάς	6,058	2,438	2,591	30,50	2,20	28,30	1
Εμπορευματοκιβώτιο 40' high cube	12,192	2,438	2,896	30,50	4,00	26,50	2
Εμπορευματοκιβώτιο 45' high cube και pallet-wide	13,716	2,500	2,896	34,00	4,50	29,50	2,25

Υπολογισμός απαιτούμενου αριθμού φορταμαξών

Για τον **αλγόριθμο φόρτωσης**, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς η **εμπορευματική φορτάμαξα Rgss 362** του ΟΣΕ επειδή αυτή είναι η φορτάμαξα για μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιεί ως επί το πλείστον η ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε. για τη διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη. Εξάλλου, πρόκειται για μία τετραξονική επίπεδη φορτάμαξα, που, όπως αναφέρθηκε ήδη, είναι και το συνηθέστερο είδος φορτάμαξας ειδικά σχεδιασμένης για συνδυασμένες μεταφορές με μερίδιο στις μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων λίγο μεγαλύτερο του 50%.

Έχει ωφέλιμο μήκος φόρτωσης 18,52 m και είναι ικανή να μεταφέρει ωφέλιμο φορτίο μέχρι και 66,5 t. Το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο της φορτάμαξας δίνεται από τον κατασκευαστή και αναγράφεται πάνω στη φορτάμαξα με τη μορφή πίνακα (Πίνακας 30). Το επιτρεπόμενο φορτίο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι αυτό που αντιστοιχεί στην δυσμενέστερη κατηγορία αντοχής γραμμής της εκάστοτε εξεταζόμενης διαδρομής. Έτσι, για τα ελληνικά δεδομένα και τη διαδρομή Αθηνών-Θεσσαλονίκης το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο της λαμβάνεται ίσο με 56,5 t λόγω του περιορισμού του μέγιστου επιτρεπόμενου φορτίου ανά άξονα στο τμήμα αυτό, που είναι 20 t /άξονα.

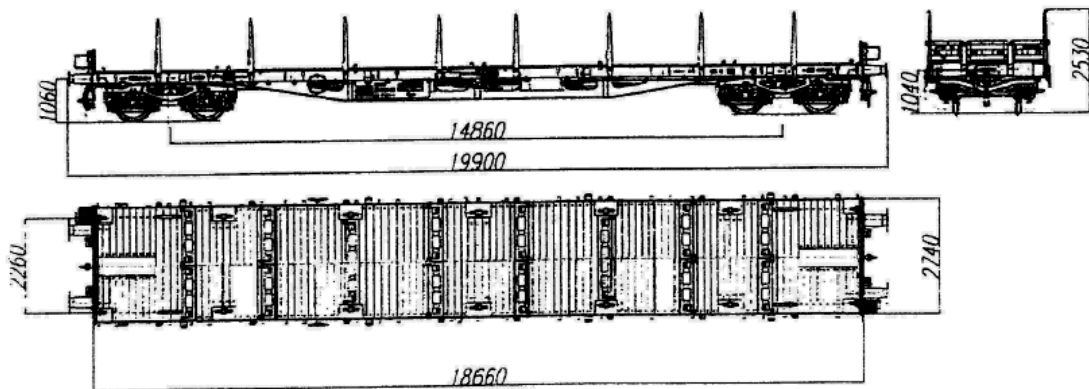
Πίνακας 30: Πίνακας μέγιστου επιτρεπόμενου φορτίου για την φορτάμαξα 362 του ΟΣΕ

	A	B	C	D
S	40,5	48,5	56,5	66,5
SS	40,5	48,5		

Παρόλα αυτά, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια, υπάρχουν και περιπτώσεις φόρτωσης που ενώ το συνολικό ωφέλιμο φορτίο δεν ξεπερνά τους 56,5 t, η φόρτωση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αφού το φορτίο που μεταβιβάζεται στη γραμμή από κάθε φορείο της φορτάμαξας υπερβαίνει το όριο, δηλαδή τους 40 t / φορείο (20 t / άξονα). Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 31) παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη της ενώ στην Εικόνα 33 τα κατασκευαστικά της στοιχεία.

Πίνακας 31: Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη εμπορευματικής φορτάμαξας Rgss του ΟΣΕ

Μήκος μεταξύ προσκρουστήρων	19.900 mm
Μήκος πλαισίου μεταξύ μετωπικών δοκών	18.660 mm
Ωφέλιμο μήκος φόρτωσης	18.520 mm
Ύψος δαπέδου από κεφαλή σιδηροτροχιάς	1.235 m
Ύψος μετωπικών παρειών	520 mm
Ωφέλιμη επιφάνεια φόρτωσης	51 m ³
Ωφέλιμο φορτίο	56t (66t όταν το επιτρέπει η γραμμή)
Απόβαρο	23.500 Kg
Μέγιστη ταχύτητα οχήματος	120 km/h έμφορτο/κενό
Περιτύπωμα	Κατά UIC 505-1
Προσκρουστήρες	Τύπου A με δακτυλιοειδή ελατήρια Ringfeder μεγάλης απορροφητικότητας 0,59 MN σε διαδρομή 105 mm
Αντοχή αγκίστρου-κορσέ	1.000 KN – 850 KN
Τύπος διαξονικού φορείου	Y25Lssd1



Εικόνα 33: Κατασκευαστικά στοιχεία εμπορευματικής φορτάμαξας Rgss 362 του ΟΣΕ

Για τον προσδιορισμό των δυνατών συνδυασμών φόρτωσης της φορτάμαξας 362 του ΟΣΕ επιλύθηκαν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί εμπορευματοκιβωτίων των διαφόρων κατηγοριών βάρους με το πρόγραμμα ανάλυσης επίπεδων ραβδωτών φορέων «Beam12D» του Εργαστηρίου Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ώστε να βρεθούν οι αντιδράσεις E_1 και E_2 και να γίνει ο έλεγχος των συνθηκών που προαναφέρθηκαν (Ενότητα 4.5.1).

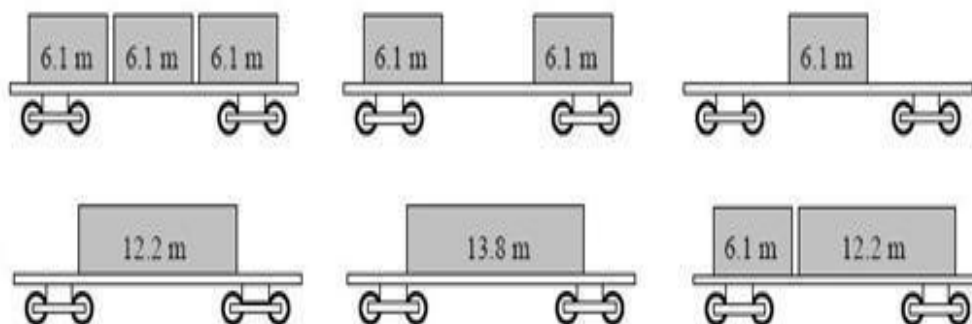
Οι υπολογισμοί, που ακολουθούν, ισχύουν μόνο για την φορτάμαξα 362 του ΟΣΕ και για μέγιστο επιτρεπόμενο αξονικό φορτίο γραμμής 20 t.

Για την χρησιμοποίηση του προγράμματος και τις επιλύσεις, έγιναν οι εξής **παραδοχές**. Η φορτάμαξα προσομοιάστηκε ως δοκός με δύο στηρίξεις στους αφαλούς των δύο φορείων της. Το θεωρητικό μήκος του προσομοιώματος λήφθηκε ίσο με το ωφέλιμο μήκος της φορτάμαξας, δηλαδή 18,52 m. Το απόβαρο θεωρήθηκε ως ένα κατανεμημένο φορτίο που ασκείται σε όλο το μήκος του προσομοιώματος ανηγμένο σε αυτό (δηλαδή $23,5 \text{ t} \cdot 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 / 18,52 \text{ m} = 12,45 \text{ KN} / \text{m}$). Τέλος, τα εμπορευματοκιβώτια θεωρήθηκε ότι ασκούν συγκεντρωμένες δυνάμεις στις θέσεις στήριξής τους ίσες με το μισό βάρος του εμπορευματοκιβωτίου (Εικόνα 34).



Εικόνα 34: Προσεγγιστικός υπολογισμός εντατικής κατάστασης πλαισίου έμφορτης σιδηροδρομικής φορτάμαξας [116]

Οι δυνατοί συνδυασμοί φόρτωσης της φορτάμαξας λόγω του ωφέλιμου μήκους φόρτωσής της φαίνονται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35: Δυνατοί συνδυασμοί φόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων στη φορτάμαξα Rgss 362 λόγω του ωφέλιμου μήκους της

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για τους παραπάνω συνδυασμούς και για τις κατηγορίες βάρους των εμπορευματοκιβωτίων.

Πίνακας 32: Εναλλακτικοί τρόποι και περιορισμοί στη φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων 20 και 40 ποδών στη φορτάμαξα Rgss του ΟΣΕ

<div style="text-align: center;"> <p>Θέση #1 Θέση #2 Θέση #3</p> <p>20' 20' 20'</p> </div>							
Βάρος ε/κ στη θέση #1 [t]	Βάρος ε/κ στη θέση #2 [t]	Βάρος ε/κ στη θέση #3 [t]	Συνολικό φορτίο στο αριστερό φορείο (E ₁) [t]	Συνολικό φορτίο στο δεξί φορείο (E ₂) [t]	Έλεγχος υπέρβασης του μέγιστου επιτρεπόμενου αξονικού φορτίου γραμμής*	E ₁ /E ₂	Έλεγχος ανισοκατανομής**
30	0	0	39,18	14,33	Επιτρέπεται	2,73	Αποδεκτό
0	30	0	26,75	26,75	Επιτρέπεται	1,00	Αποδεκτό
23	23	0	44,28	25,23	Δεν επιτρέπεται	1,76	Αποδεκτό
23	0	23	34,75	34,75	Επιτρέπεται	1,00	Αποδεκτό
30	23	0	50,68	25,83	Δεν επιτρέπεται	1,96	Αποδεκτό
23	30	0	47,78	41,75	Δεν επιτρέπεται	1,14	Αποδεκτό
30	0	23	41,15	35,35	Δεν επιτρέπεται	1,16	Αποδεκτό

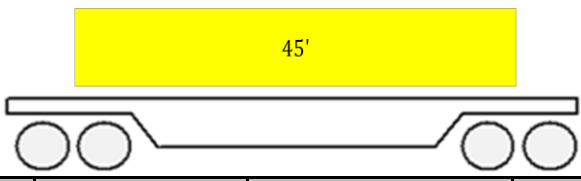
*Ελέγχεται αν το συνολικό φορτίο του δυσμενέστερου φορείου υπερβαίνει τους 40t (μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο γραμμής: 20t/άξονα, φορτάμαξα Rgss: 2 άξονες/φορείο → 40t/φορείο).

** Ελέγχεται αν ο λόγος E₁/E₂ είναι μικρότερος του 3 (βάσει του κανονισμού φόρτωσης για τις φορτάμαξες με φορεία).

<div style="text-align: center;"> <p>Θέση #1 Θέση #2</p> <p>20' 20'</p> </div>						
Βάρος ε/κ στη θέση #1 [t]	Βάρος ε/κ στη θέση #2 [t]	Συνολικό φορτίο στο αριστερό φορείο (E ₁) [t]	Συνολικό φορτίο στο δεξί φορείο (E ₂) [t]	Έλεγχος υπέρβασης του μέγιστου επιτρεπόμενου αξονικού φορτίου γραμμής	E ₁ /E ₂	Έλεγχος ανισοκατανομής
30	23	41,58	38,69	Δεν επιτρέπεται	1,07	Αποδεκτό
23	23	36,64	36,64	Επιτρέπεται	1,00	Αποδεκτό

<div style="text-align: center;"> <p>Θέση #1 Θέση #2</p> <p>20' 40'</p> </div>						
Βάρος ε/κ στη θέση #1 [t]	Βάρος ε/κ στη θέση #2 [t]	Συνολικό φορτίο στο αριστερό φορείο (E ₁) [t]	Συνολικό φορτίο στο δεξί φορείο (E ₂) [t]	Έλεγχος υπέρβασης του μέγιστου επιτρεπόμενου αξονικού φορτίου γραμμής	E ₁ /E ₂	Έλεγχος ανισοκατανομής
23	12	36,27	22,24	Επιτρέπεται	1,63	Αποδεκτό
23	28	40,92	33,57	Δεν επιτρέπεται	1,22	Αποδεκτό
30	12	42,67	22,84	Δεν επιτρέπεται	1,87	Αποδεκτό
30	28	47,33	34,18	Δεν επιτρέπεται	1,38	Αποδεκτό
0	28	19,91	31,59	Επιτρέπεται	1,59	Αποδεκτό

Πίνακας 33: Μεταφορά εμπορευματοκιβωτίου 45 ποδών στη φορτάμαξα Rgss

					
Βάρος ε/κ [t]	Συνολικό φορτίο στο αριστερό φορείο (E1) [t]	Συνολικό φορτίο στο δεξί φορείο (E2) [t]	Έλεγχος υπέρβασης του μέγιστου επιτρεπόμενου αξονικού φορτίου γραμμής	E1/E2	Έλεγχος ανισοκατανομής
31,5	28,75	28,75	Επιτρέπεται	1,00	Αποδεκτό

Τα συμπεράσματα της ανωτέρω διερεύνησης είναι ότι **επιτρέπεται**:

- η φόρτωση **ενός μόνο εμπορευματοκιβωτίου 20, 40 ή 45 ποδών**, οποιασδήποτε κατηγορίας βάρους με προτιμότερη και στις τρεις περιπτώσεις την τοποθέτηση των εμπορευματοκιβωτίων στο κέντρο της φορτάμαξας.
- η φόρτωση **δύο εμπορευματοκιβωτίων 20 ποδών, 23t το καθένα**, έχοντας, όμως, συγκεκριμένη διάταξη επί της φορτάμαξας.
- η φόρτωση **ενός εμπορευματοκιβωτίου 20 ποδών 23 t μαζί με ένα εμπορευματοκιβώτιο 40 ποδών 12 t**

Όσον αφορά τους **περιορισμούς στη σύνθεση του συρμού** (βλ. ενότητα 4.5.2) έγιναν οι εξής έλεγχοι:

- Ο συνολικός αριθμός των αξόνων των φορταμαξών να μην ξεπερνάει τους 120 άξονες
- Το μέγιστο μήκος του συρμού να μην ξεπερνάει τα 700m

Ακόμη έγινε η παραδοχή ότι όλα τα χρησιμοποιούμενα εμπορευματοκιβώτια έχουν περιτύπωμα μικρότερο του περιτυπώματος φόρτωσης ολόκληρης της διαδρομής και ότι η διάταξη των οχημάτων στη σύνθεση πληροί τους κανόνες φόρτωσης.

Υπολογισμός απαιτούμενου αριθμού μηχανών έλξης

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται πλέον, κυρίως δύο ντηζελομηχανές της εταιρείας MLW, σειρές 450 και 500 (Εικόνα 36, πάνω και στο μέσον αντίστοιχα) για τις εμπορευματικές μεταφορές, συνολικού βάρους 120 τόνων (εξαξονικές) καθώς και η τετραξονική ηλεκτρομηχανή Hellas Sprinter της εταιρείας Hellas Sprinter, βάρους 80 τόνων (Εικόνα 36, κάτω).



Εικόνα 36: Ντηζελομηχανή της σειράς 450 (πάνω), Ντηζελομηχανή της σειράς 500 (στο μέσον) και ηλεκτράμαξα Hellas Sprinter (κάτω) [117]

Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά των μηχανών έλξης που χρησιμοποιούνται για τις εμπορευματικές μεταφορές από τους ελληνικούς σιδηροδρόμους φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 34).

Πίνακας 34: Χαρακτηριστικά μηχανών έλξης ελληνικών σιδηροδρόμων που χρησιμοποιούνται στις εμπορευματικές μεταφορές

Μηχανές έλξης	Μάζα [t]	Δύναμη πρόσφυσης (πρόσφυση με $\mu = 0,35$) [kN]	Δύναμη πρόσφυσης (πρόσφυση με $\mu = 0,11$) [kN]	Ισχύς [kW]	Ωριαία ισχύς [kN]
MLW 450	120	412	130	1985	280
MLW 500	120	412	130	2600	295
Hellas Sprinter	80	275	86	5000	300

Στην συνέχεια ακολουθούν οι βασικοί υπολογισμοί έλξης για τις τρεις μηχανές έλξης που χρησιμοποιούν οι ελληνικοί σιδηρόδρομοι.

Μέγιστο ελκόμενο φορτίο για εκκίνηση σε ανωφέρεια για τη διαδρομή Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Στο νηξελοκίνητο τμήμα Αθήνα – Δομοκός η μέγιστη κλίση που παρατηρείται είναι 22‰. Επομένως, η ειδική αντίσταση εκκίνησης προκύπτει ίση με 13,5 ‰ (Εικόνα 23). Στο ηλεκτροκίνητο τμήμα Δομοκός-Θεσσαλονίκη η μέγιστη κλίση που παρατηρείται είναι αρκετά μικρότερη (της τάξης του 14 ‰), και επομένως η αντίσταση εκκίνησης είναι αντίστοιχα μικρότερη (10,5 ‰). Ακόμη, η ειδική αντίσταση κλίσης είναι για το πρώτο τμήμα $w_i = 22 \text{ ‰}$ και για το δεύτερο $w_i = 14 \text{ ‰}$, αντίστοιχα.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 35) παρουσιάζεται το μέγιστο ελκόμενο φορτίο για εκκίνηση σε ανωφέρεια που μπορεί να έλξει κάθε μία από τις τρεις μηχανές έλξης που παρουσιάστηκαν παραπάνω για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη και για δύο ενδεικτικές περιπτώσεις του συντελεστή τριβής.

Πίνακας 35: Υπολογισμός μέγιστου ελκόμενου φορτίου για εκκίνηση σε ανωφέρεια

Μηχανές Έλξης	Μέγιστο ελκόμενο φορτίο για εκκίνηση σε ανωφέρεια [t]*	
	Καλές περιβαλλοντικές συνθήκες ($\mu=0,35$)	Κακές περιβαλλοντικές συνθήκες ($\mu=0,11$)
MLW 450	1108,73	297,46
MLW 500	1108,73	297,46
Siemens	1097,14	313,47

* Ντηζελοκίνητο τμήμα Αθήνα-Δομοκός: Μέγιστη κλίση 22‰

Ηλεκτροκίνητο τμήμα Δομοκός-Θεσσαλονίκη: Μέγιστη κλίση 14‰

Μέγιστο ελκόμενο φορτίο βάσει της ωριαίας ισχύος για τη διαδρομή Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη, για σταθερή ταχύτητα 60 km/h και βάσει των χαρακτηριστικών των μηχανών έλξης προκύπτουν τα εξής:

Πίνακας 36: Υπολογισμός μέγιστου ελκόμενου φορτίου βάσει της ωριαίας ισχύος

Μηχανή έλξης	$G_{ΜΕΛ}+G_{ΕΛΚ}$ [KN]	$G_{ΕΛΚ}$ [KN]	$G_{ΕΛΚ}$ [t]
MLW 450	10305,78	9128,576	912,86
MLW 500	10857,87	9680,671	968,07
Siemens	15650,08	14865,28	1486,53

Μέγιστο ελκόμενο φορτίο λόγω ζεύξης για τη διαδρομή Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Για το τμήμα του ελληνικού σιδηροδρομικού δικτύου Αθήνα- Θεσσαλονίκη ισχύει:

Πίνακας 37: Μέγιστο ελκόμενο φορτίο λόγω ζεύξης

Μηχανές Έλξης	Επιτρεπόμενη (οριακή) δύναμη αγκίστρου [KN]	Γεлк [t]
MLW 450	380	1070,42
MLW 500	380	1070,42
Siemens	380	1551,02

Τελικά, το μέγιστο ελκόμενο φορτίο για τη διαδρομή Αθήνα –Θεσσαλονίκη για κάθε μία από τις τρεις μηχανές έλξης των ελληνικών σιδηροδρόμων (Πίνακας 38) προκύπτει, όπως ειπώθηκε ήδη, ως το ελάχιστο των ελκόμενων φορτίων των προηγούμενων πινάκων (Πίνακας 35, Πίνακας 36 και Πίνακας 37).

Πίνακας 38: Μέγιστο ελκόμενο φορτίο ανά μηχανή έλξης

Μηχανή Έλξης	Μέγιστο ελκόμενο φορτίο [t]	
	Καλές περιβαλλοντικές συνθήκες ($\mu=0,35$)	Κακές περιβαλλοντικές συνθήκες ($\mu=0,11$)
MLW 450	912,86	297,46
MLW 500	968,07	297,46
Siemens	1097,14	313,47

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των ντηζελοκίνητων μηχανών έλξης MLW 450 και 500 καθοριστικός παράγοντας για τον προσδιορισμό του μέγιστου ελκόμενου φορτίου είναι η ισχύς τους ενώ για την ηλεκτροκίνητη μηχανή έλξης ο περιορισμός που τίθεται για εκκίνηση σε ανωφέρεια. Επίσης, παρατηρείται ότι παρόλο που τα χαρακτηριστικά των μηχανών έλξης είναι διαφορετικά τελικά το μέγιστο ελκόμενο φορτίο τους κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα.

Πίνακας 39: Αποτελέσματα ενδεικτικής επίλυσης για το σενάριο φορτίων #1 (Συνήθης μίξη φορτίων)¹³

			Σενάριο						
			#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)
Αριθμός εκ/κ ανά κατηγορία	Ελαφριά	45'	2	4	6	8	11	13	15
		40'	1	2	4	5	6	7	8
	Μεσαίου βάρους	45'	1	1	2	3	3	4	4
		40'	0	1	1	1	2	2	3
	Βαριά	20'	1	2	2	3	4	5	6
	Πολύ βαριά	20'	0	1	1	1	1	2	2
Διορθωμένο μικτό φορτίο			93,5	213,5	296	389,5	493	616,5	706,5
Αριθμός βαγονιών			4	9	14	18	23	28	32
Απόβαρο βαγονιών			94	211,5	329	423	540,5	658	752
Μικτή ελκόμενη μάζα			187,5	425	625	812,5	1033,5	1274,5	1458,5
Απαιτούμενος αριθμός ηλεκτροκίνητων μηχανών έλξης			1	1	1	1	1	2	2
Απαιτούμενος αριθμός νηζελοκίνητων μηχανών έλξης			1	1	1	1	2	2	2
Συνολική μάζα συρμού (περιλαμβανομένου του απαιτούμενου αριθμού μηχ. έλξης)		Ηλεκτροκίνηση	267,5	505	705	892,5	1113,5	1434,5	1618,5
		Νηζελοκίνηση	307,5	545	745	932,5	1273,5	1514,5	1698,5
Καθαρό βάρος εμπορευμάτων			73,8	172,4	233,4	307,2	387	488,6	559,4

¹³ Οι υπολογισμοί αυτοί αφορούν τις εμπορευματικές μεταφορές που πραγματοποιούνται αποκλειστικά με τη φορτάμαξα Rgss και για το υφιστάμενο σιδηροδρομικό δίκτυο (277,6 km με νηζελοκίνηση, 232,33 km ηλεκτροκίνηση και υφιστάμενο προφίλ κλίσεων).

Πίνακας 40: Αποτελέσματα ενδεικτικής επίλυσης για το σενάριο φορτίων #2 (Μόνο ελαφριά φορτία)¹⁴

			Σενάριο				
			#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)	#2(500)
Αριθμός ει/κ ανά κατηγορία	Ελαφριά	45'	5	10	15	20	25
		40'	3	6	8	11	14
	Μεσαίου βάρους	45'	0	0	0	0	0
		40'	0	0	0	0	0
	Βαριά	20'	0	0	0	0	0
	Πολύ βαριά	20'	0	0	0	0	0
Διορθωμένο μικτό φορτίο			103,5	207	298,5	402	505,5
Αριθμός βαγονιών			8	16	23	31	39
Απόβαρο βαγονιών			188	376	540,5	728,5	916,5
Μικτή ελκόμενη μάζα			291,5	583	839	1130,5	1422
Απαιτούμενος αριθμός ηλεκτροκίνητων μηχανών έλξης			1	1	1	2	2
Απαιτούμενος αριθμός ντηζελοκίνητων μηχανών έλξης			1	1	1	2	2
Συνολική μάζα συρμού (περιλαμβανομένου του απαιτούμενου αριθμού μηχ. έλξης)		Ηλεκτροκίνηση	371,5	663	919	1290,5	1582
		Ντηζελοκίνηση	411,5	703	959	1370,5	1662
Καθαρό βάρος εμπορευμάτων			69	138	199	268	337

¹⁴ Οι υπολογισμοί αυτοί αφορούν τις εμπορευματικές μεταφορές που πραγματοποιούνται αποκλειστικά με τη φορτάμαξα Rgss και για το υφιστάμενο σιδηροδρομικό δίκτυο (277,6 km με ντηζελοκίνηση, 232,33 km ηλεκτροκίνηση και υφιστάμενο προφίλ κλίσεων).

Πίνακας 41: Αποτελέσματα ενδεικτικής επίλυσης για το σενάριο φορτίων #3 (Μόνο βαριά και πολύ βαριά φορτία)¹⁵

			Σενάριο											
			#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Αριθμός ε/κ ανά κατηγορία	Ελαφριά	45'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		40'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Μεσαίου βάρους	45'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		40'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Βαριά	20'	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	37
	Πολύ βαριά	20'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Διορθωμένο μικτό φορτίο			99	198	297	396	495	594	693	792	891	990	1089	1211
Αριθμός βαγονιών			3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	28	31
Απόβαρο βαγονιών			70,5	117,5	188	235	305,5	352,5	423	470	540,5	587,5	658	728,5
Μικτή ελκόμενη μάζα			169,5	315,5	485	631	800,5	946,5	1116	1262	1431,5	1577,5	1747	1939,5
Απαιτούμενος αριθμός ηλεκτροκίνητων μηχανών έλξης			1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Απαιτούμενος αριθμός νηζελοκίνητων μηχανών έλξης			1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3
Συνολική μάζα συρμού (περιλαμβανομένου του απαιτούμενου αριθμού μηχ. έλξης)		Ηλεκτροκίνηση	249,5	395,5	565	711	880,5	1026,5	1276	1422	1591,5	1737,5	1907	2099,5
		Νηζελοκίνηση	289,5	435,5	605	751	920,5	1066,5	1356	1502	1671,5	1817,5	1987	2299,5
Καθαρό βάρος εμπορευμάτων			90,2	180,4	270,6	360,8	451	541,2	631,4	721,6	811,8	902	992,2	1103,2

¹⁵ Οι υπολογισμοί αυτοί αφορούν τις εμπορευματικές μεταφορές που πραγματοποιούνται αποκλειστικά με τη φορτάμαξα Rgss και για το υφιστάμενο σιδηροδρομικό δίκτυο (277,6 km με νηζελοκίνηση, 232,33 km ηλεκτροκίνηση και υφιστάμενο προφίλ κλίσεων).

Υπολογισμός κατανάλωσης και ρύπων σιδηροδρομικής μεταφοράς

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν βάσει του μοντέλου των IFEU & SGKV και του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων στο προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν τα ακριβή στοιχεία κλίσης της εξεταζόμενης διαδρομής Αθηνών-Θεσσαλονίκης (κλίση στην αντίστοιχη χιλιομετρική θέση της διαδρομής). Τα χιλιόμετρα για τα οποία η κλίση είναι η ίδια ομαδοποιήθηκαν (Πίνακας 42).

Πίνακας 42: Ομαδοποιημένες κλίσεις σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Κλίση σιδ. γραμμής στο τμήμα Αθήνα- Δομοκός [‰]	Απόσταση για την οποία διατηρείται η κλίση [m]
Μικρότερη από -4 ¹⁶	103.224
Από -4 έως 0	8.500
8	45.215
12	4.005
15	3.854
16	7.139
17	57.439
19	13.133
21	35.095

Κλίση σιδ. γραμμής στο τμήμα Δομοκός-Θεσσαλονίκη [‰]	Απόσταση για την οποία διατηρείται η κλίση [m]
Μικρότερη από -4	77.866
Από -4 έως 0	55.530
4	75.484
8	-
12	23.446

¹⁶ Το εύρος αυτό σχετίζεται με τη συνθήκη για την οποία η ειδική κατανάλωση λαμβάνει μηδενική τιμή στη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη. Η συνθήκη αυτή ισχύει όταν η κλίση είναι αλγεβρικά μικρότερη του -4 (με την παραδοχή μίας μέσης ταχύτητας κίνησης της τάξης των 60 km/h).

Από αυτόν τον πίνακα (Πίνακας 42) υπολογίζονται οι συνολικές αντιστάσεις και στη συνέχεια οι καταναλώσεις και οι ρύποι. Ενδεικτικό παράδειγμα υπολογισμών με το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο παρατίθεται στο Παράρτημα Ι.

Υπολογισμός κατανάλωσης και ρύπων της οδικής μεταφοράς

Από τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων ανά κατηγορία βάρους που έχει υπολογιστεί για τα τρία σενάρια φορτίων, υπολογίζεται ο αριθμός των φορτηγών οχημάτων που απαιτείται και το αντίστοιχο ωφέλιμο φορτίο τους. Πιο συγκεκριμένα, κάθε εμπορευματοκιβώτιο οποιασδήποτε κατηγορίας βάρους αντιστοιχίζεται με ένα ισοδύναμο φορτηγό. Η παραδοχή αυτή είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα αφού το φορτηγό-πρότυπο είναι ένα φορτηγό με μεταφορική ικανότητα μέχρι 26 t. Στην περίπτωση της μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 40 και 45 ποδών εξαντλείται ο όγκος που μπορεί να μεταφέρει ενώ στην περίπτωση των βαριών και πολύ βαριών εμπορευματοκιβωτίων 20 ποδών εξαντλείται η μέγιστη μεταφορική του ικανότητα.

Οι καταναλώσεις των διάφορων ομάδων φορτηγών (με το ίδιο ωφέλιμο φορτίο) υπολογίζονται σύμφωνα με τη μέθοδο του DSLV (βλ. ενότητα 4.8.3, σελ. 114).

Για την **περίπτωση της αμιγώς οδικής μεταφοράς** γίνονται οι εξής **παραδοχές**:

- Τα φορτηγά μεταφέρουν μόνο το ωφέλιμο φορτίο των εμπορευματοκιβωτίων (Πίνακας 43)
- Η απόσταση της ισοδύναμης μεταφοράς της διαδρομής Αθήνα-Θεσσαλονίκη είναι 510 km
- Το έδαφος λαμβάνει το χαρακτηρισμό λοφώδες
- Το ποσοστό της διαδρομής εντός αστικού δικτύου είναι της τάξεως του 10%

Για την **περίπτωση του οδικού τμήματος της συνδυασμένης μεταφοράς** γίνονται οι εξής **παραδοχές**:

- Τα φορτηγά μεταφέρουν το μικτό βάρος των εμπορευματοκιβωτίων (Πίνακας 43)
- Η απόσταση του οδικού τμήματος της συνδυασμένης μεταφοράς είναι 50 km
- Το έδαφος λαμβάνει το χαρακτηρισμό επίπεδο
- Το ποσοστό της διαδρομής εντός αστικού δικτύου είναι της τάξεως του 100%

Πίνακας 43: Τύποι και ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων για τα Σενάρια #1, #2 και #3 αντίστοιχα

Σενάριο #1 (Συνήθης μίξη φορτίων)

Κατηγορία βάρους αγαθών	Εμπορευματοκιβώτιο	Μικτό βάρος εμπορευματοκιβωτίου [t]	Απόβαρο εμπορευματοκιβωτίου [t]	Ωφέλιμο φορτίο εμπορευματοκιβωτίου [t]
Ελαφριά	45'	13,5	4,5	9
	40'	12	4	8
Μεσαίου βάρους	45'	31,5	4,5	27
	40'	28	4	24
Βαριά	20'	23	2,2	20,8
Πολύ βαριά	20'	30	2,2	27,8

Σενάριο #2 (Μόνο ελαφριά φορτία)

Κατηγορία βάρους αγαθών	Εμπορευματοκιβώτιο	Μικτό βάρος εμπορευματοκιβωτίου [t]	Απόβαρο εμπορευματοκιβωτίου [t]	Ωφέλιμο φορτίο εμπορευματοκιβωτίου [t]
Ελαφριά	45'	13,5	4,5	9
	40'	12	4	8

Σενάριο #3 (Μόνο βαριά και πολύ βαριά φορτία)

Κατηγορία βάρους αγαθών	Εμπορευματοκιβώτιο	Μικτό βάρος εμπορευματοκιβωτίου [t]	Απόβαρο εμπορευματοκιβωτίου [t]	Ωφέλιμο φορτίο εμπορευματοκιβωτίου [t]
Βαριά	20'	23	2,2	20,8
Πολύ βαριά	20'	30	2,2	27,8

Παρατηρείται 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.

Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των φορτηγών με την τελική κατανάλωση καυσίμου και τους ρύπους της ομάδας στην οποία ανήκουν προκύπτουν οι τιμές για κάθε ομάδα φορτηγών το άθροισμα των οποίων δίνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου και τους συνολικούς ρύπους της οδικής μεταφοράς.

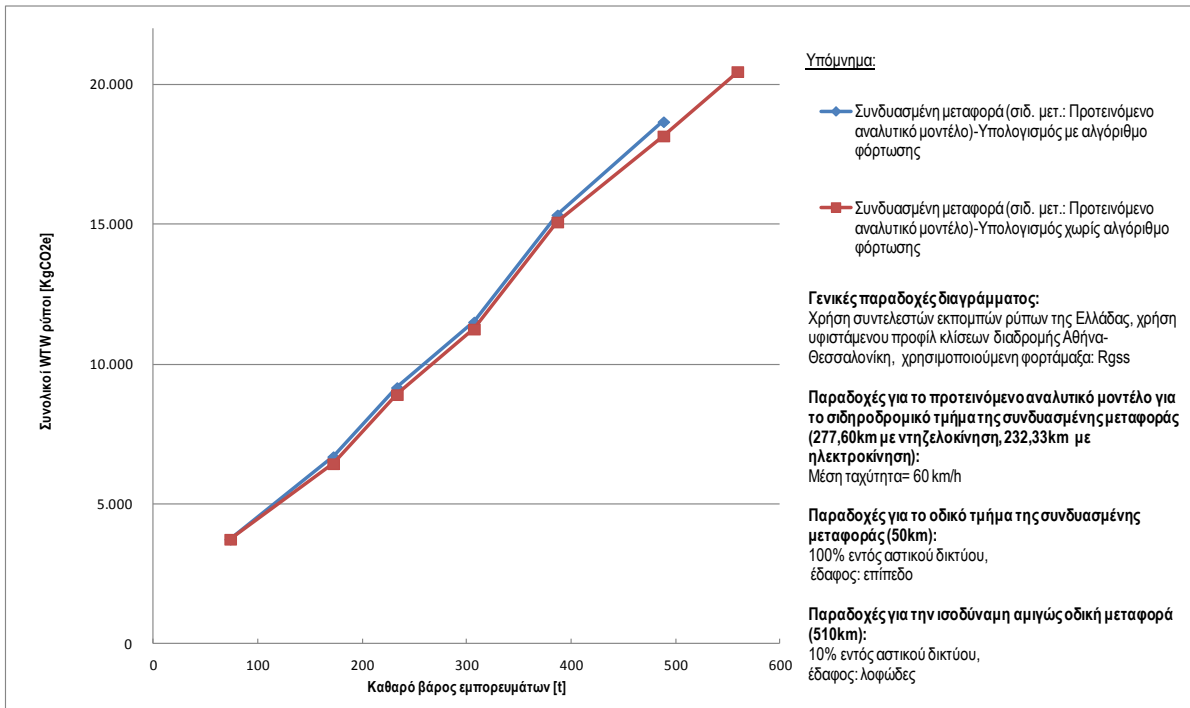
Βελτίωση ακρίβειας αποτελεσμάτων ρύπων λόγω της χρήσης του αλγορίθμου φόρτωσης

Για τη διερεύνηση της επίδρασης του αλγορίθμου φόρτωσης του σιδηροδρομικού συρμού, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, στους εκπεμπόμενους WTW ρύπους πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις ώστε να προσδιοριστεί η βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων των ρύπων που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση.

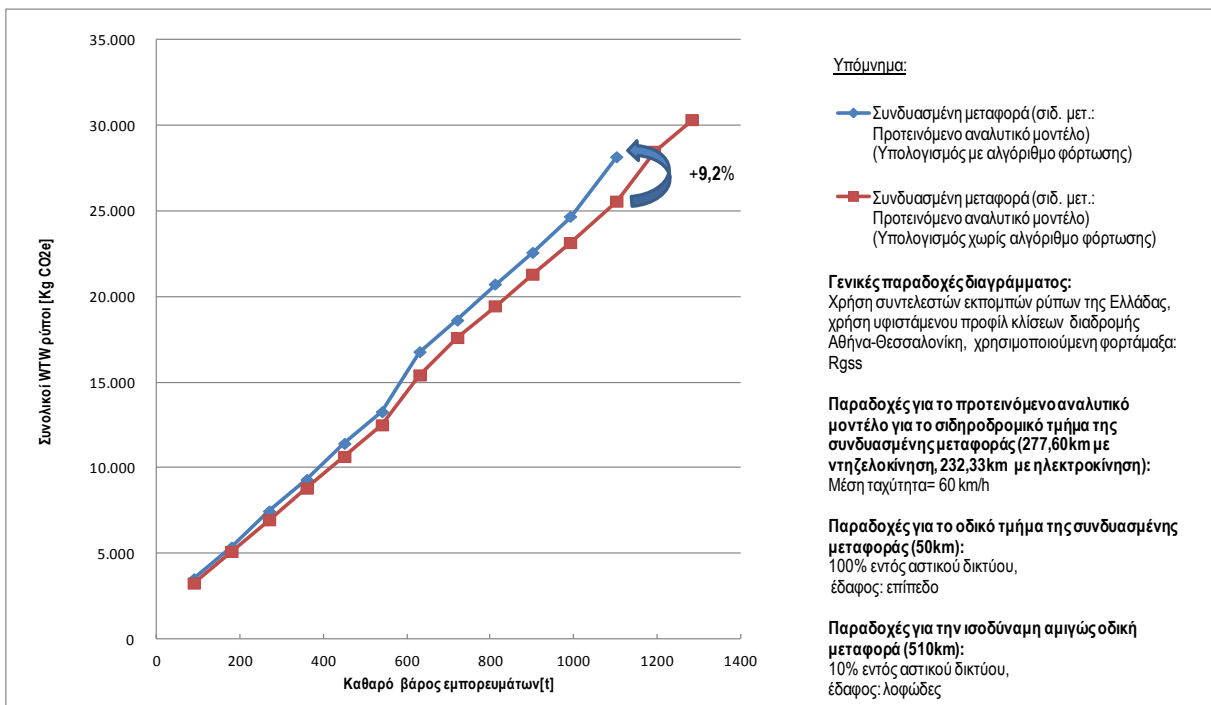
Στην περίπτωση του σεναρίου συνήθους μίξης φορτίων (Σενάριο #1), προκύπτει ότι αν η φόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων στις φορτάμαξες γινόταν μόνο με τους περιορισμούς του ωφέλιμου μήκους της φορτάμαξας και του μέγιστου επιτρεπόμενου ωφέλιμου φορτίου της (56,5 t) και χωρίς τη χρήση του αλγορίθμου φόρτωσης, η διαφορά των εκπεμπόμενων ρύπων δεν θα ήταν πολύ μεγάλη (Διάγραμμα 1). Αυτό συμβαίνει επειδή ο αλγόριθμος φόρτωσης, στην εξεταζόμενη περίπτωση με τους δεδομένους συνδυασμούς, επηρεάζει κυρίως τη φόρτωση των πολύ βαριών εμπορευματοκιβωτίων 20 ποδών, τα οποία δεν επιτρέπεται να φορτωθούν στην ίδια φορτάμαξα με κανένα άλλο τύπο εμπορευματοκιβωτίου οποιουδήποτε βάρους. Στην περίπτωση του σεναρίου συνήθους μίξης φορτίων, τα εμπορευματοκιβώτια αυτά είναι πολύ λίγα. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός τους αυξάνεται και η διαφορά των συνολικών ρύπων στις δύο περιπτώσεις (με ή χωρίς αλγόριθμο φόρτωσης).

Η επιρροή του αλγορίθμου φόρτωσης στους συνολικούς WTW είναι εμφανέστερη όταν τα φορτία είναι βαριά και πολύ βαριά για τον ίδιο λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω (Διάγραμμα 2).

Η περίπτωση της μεταφοράς ελαφριών αγαθών δεν παρουσιάζεται σε διάγραμμα επειδή λόγω του μήκους των εμπορευματοκιβωτίων που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία κάθε εμπορευματοκιβώτιο φορτώνεται μόνο του σε μία φορτάμαξα, με ή χωρίς τον αλγόριθμο φόρτωσης, οπότε προκύπτουν τα ίδια αποτελέσματα και για τις δύο περιπτώσεις.



Διάγραμμα 1: Επιρροή του αλγορίθμου φόρτωσης στους συνολικούς WTW ρύπους της συνδυασμένης μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #1



Διάγραμμα 2: Επιρροή του αλγορίθμου φόρτωσης στους συνολικούς WTW ρύπους της συνδυασμένης μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #3

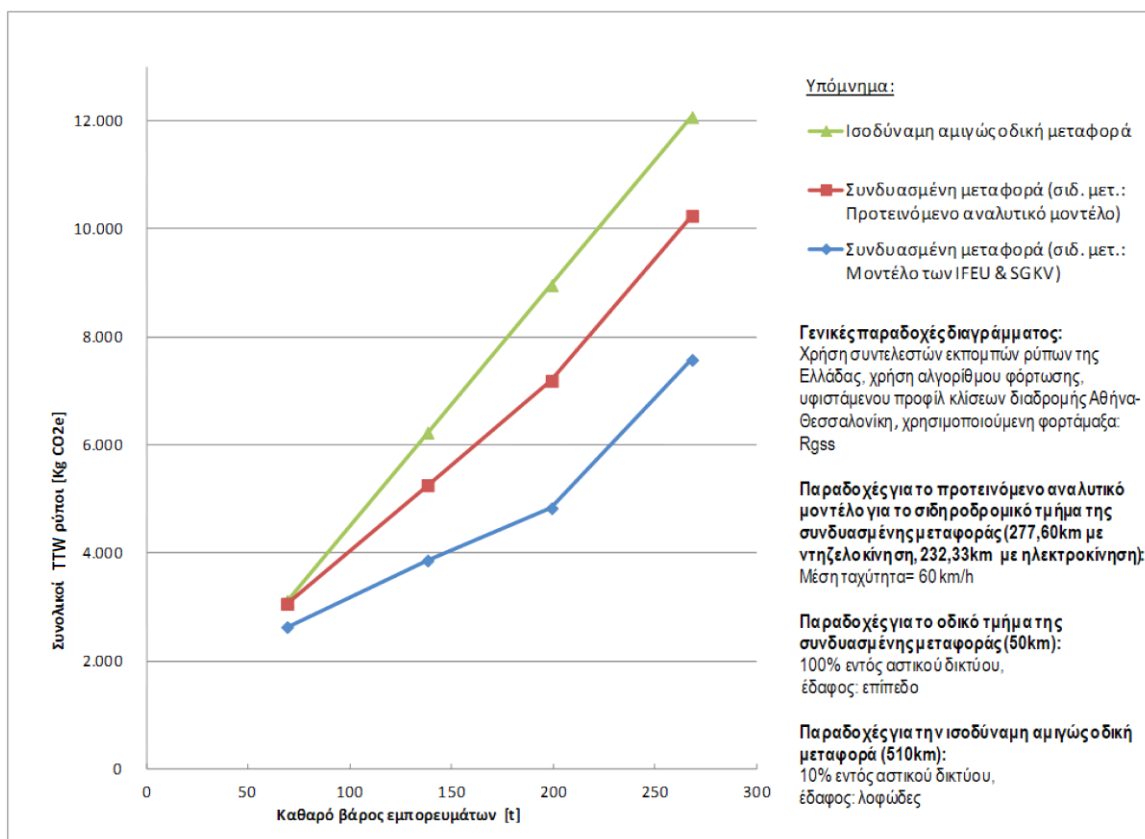
5.3. Αποτελέσματα διερεύνησης

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε για τη σιδηροδρομική συνδυασμένη μεταφορά στον άξονα Αθηνών-Θεσσαλονίκης χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία (βλ. Κεφάλαιο 4^ο).

Εξετάζονται μόνο οι συνολικοί εκπεμπόμενοι WTW ρύποι αφού οι αντίστοιχοι TTW της συνδυασμένης μεταφοράς στη διαδρομή Αθήνα- Θεσσαλονίκη είναι σαφέστατα λιγότεροι από τους συνολικούς TTW ρύπους της αντίστοιχης ισοδύναμης οδικής μεταφοράς σε όλες τις περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή σε ένα μεγάλο τμήμα της διαδρομής της συνδυασμένης μεταφοράς ο σιδηροδρομικός συρμός κινείται με ηλεκτροκίνηση για την οποία ο συντελεστής των TTW εκπομπών είναι 0 kg CO₂e/kWh. Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται το δυσμενέστερο, ως προς την εκπομπή ρύπων, σενάριο φορτίων (Σενάριο #2), όπου παρατηρείται ότι οι εκπεμπόμενοι TTW ρύποι από τη συνδυασμένη μεταφορά, υπολογισμένοι και με τα δύο μοντέλα για τη σιδηροδρομική μεταφορά, είναι αρκετά λιγότεροι σε σχέση με τους αντίστοιχους της ισοδύναμης οδικής μεταφοράς.

Γι' αυτό το λόγο όλες οι αναλύσεις, που ακολουθούν, διερευνούν τη σχέση μόνο των συνολικών WTW εκπομπών ρύπων συναρτήσει των διαφόρων παραμέτρων.

Στην πρώτη ομάδα αναλύσεων που πραγματοποιήθηκε εξετάστηκε η **σχέση των εκπεμπόμενων ρύπων** της συνδυασμένης μεταφοράς και της ισοδύναμης της οδικής **με το καθαρό βάρος των εμπορευμάτων**. Οι αναλύσεις έγιναν και για τα τρία σενάρια φορτίων για τη διαδρομή Αθηνών-Θεσσαλονίκης με τα δεδομένα που ισχύουν αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα. Πραγματοποιήθηκε, επίσης, μία ανάλυση χρησιμοποιώντας το συντελεστή εκπομπών ρύπων για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας ώστε να διερευνηθεί πως θα μεταβληθούν τα αποτελέσματα στην περίπτωση που η Ελλάδα βελτιώσει το μίγμα καυσίμων για την παραγωγή της ηλεκτρικής της ενέργειας.



Διάγραμμα 3: Συνολικοί TTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2 (Μόνο ελαφριά φορτία)

Ακόμη, εξετάστηκε η επιρροή της επιλογής του τροχαίου υλικού του σιδηροδρομικού συρμού στους συνολικούς εκπεμπόμενους ρύπους για το σενάριο #1 των φορτίων, για τα δεδομένα που ισχύουν αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα, με χρήση του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου.

Στη συνέχεια, εξετάστηκε ξεχωριστά η επιρροή των παραμέτρων της ταχύτητας και της κλίσης στο σιδηροδρομικό τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς και πάλι μέσω του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου. Απομονώθηκε το συγκεκριμένο τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς αφού στα οδικά τμήματα αυτής δεν υπεισέρχονται στους υπολογισμούς αυτές οι δύο παράμετροι.

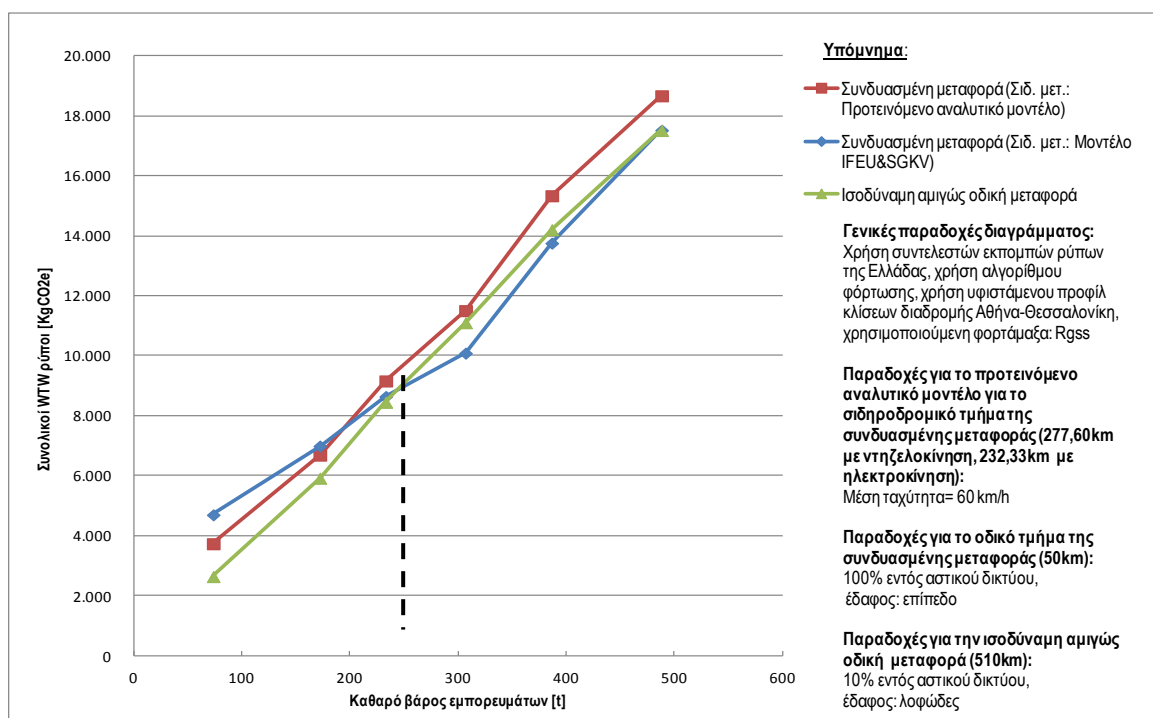
Όσον αφορά την ταχύτητα, οι αναλύσεις έγιναν για τη διαδρομή Αθηνών - Θεσσαλονίκης για τα ελληνικά δεδομένα, για τα τρία σενάρια φορτίων και για ταχύτητες από 40 έως 80 km/h.

Για τις κλίσεις, εξετάστηκε μόνο το Σενάριο #1 των φορτίων. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι εξής περιπτώσεις:

- Τα τμήματα της διαδρομής Αθηνών-Θεσσαλονίκης με κλίση μεγαλύτερη του 15‰ να αντικατασταθούν με τμήματα με κλίση ίση με 15 ‰
- Τα τμήματα της διαδρομής Αθηνών-Θεσσαλονίκης με κλίση μεγαλύτερη του 15‰ να αντικατασταθούν με τμήματα με κλίση ίση με 0 ‰
- Όλη η διαδρομή να παρουσιάζει σταθερή κλίση 0 ‰
- Όλη η διαδρομή να παρουσιάζει σταθερή κλίση 5 ‰

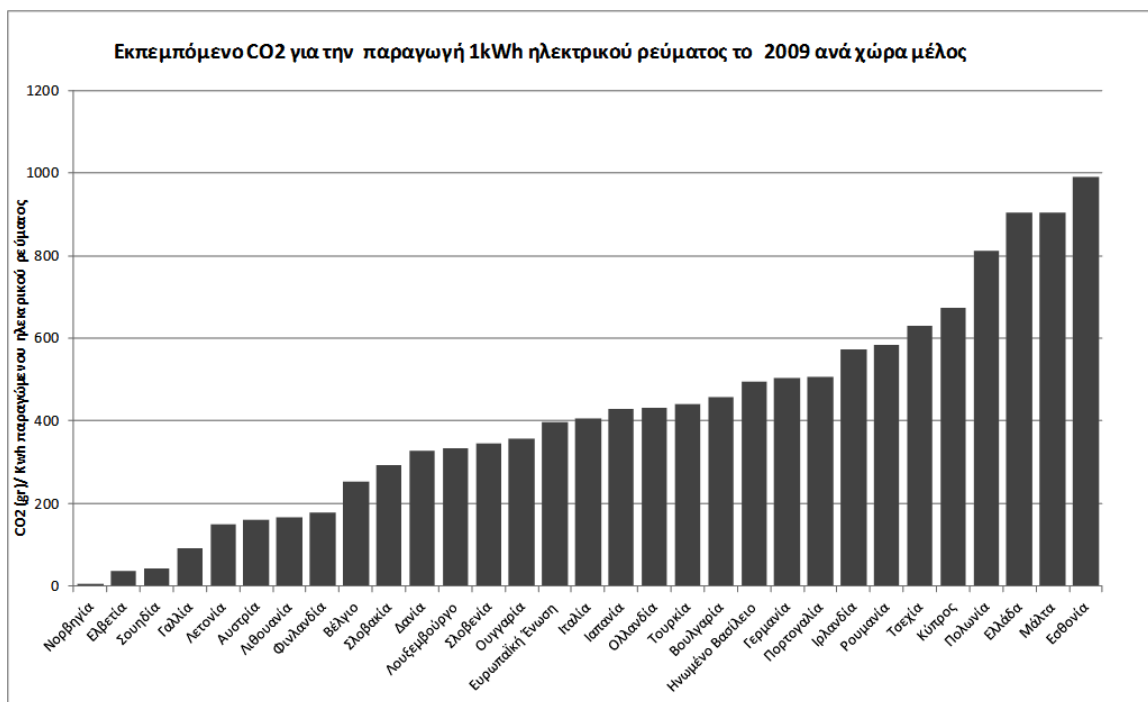
Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση, δηλαδή στη **μεταφορά φορτίων διαφορετικών κατηγοριών βάρους (Σενάριο φορτίων #1)**, η συνδυασμένη μεταφορά, σύμφωνα με το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο, παράγει περισσότερους συνολικούς WTW ρύπους για οποιαδήποτε τιμή καθαρού βάρους των εμπορευμάτων. Σύμφωνα με το μοντέλο των IFEU & SGKV, η συνδυασμένη μεταφορά είναι περιβαλλοντικά φιλικότερη της ισοδύναμης της οδικής για καθαρά βάρη εμπορευμάτων μεγαλύτερα των 250t, για τα ελληνικά δεδομένα (Διάγραμμα 4).



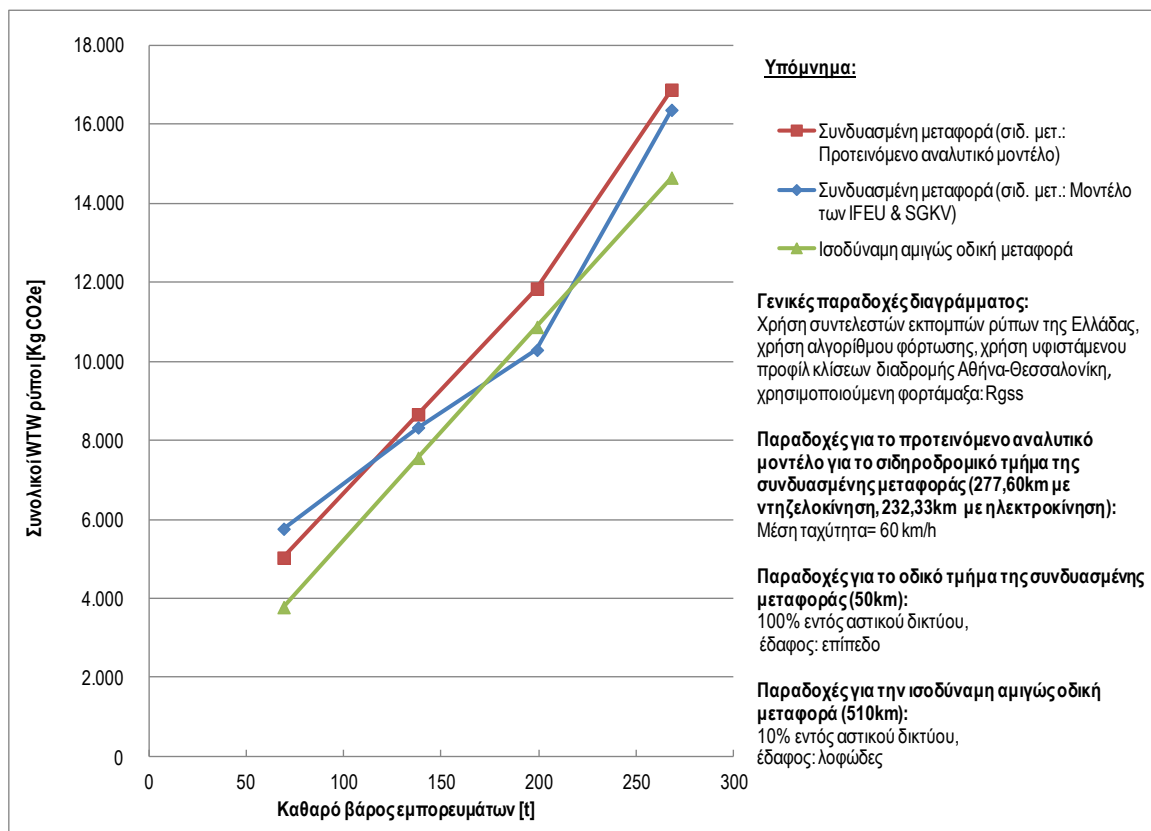
Διάγραμμα 4: Συναρτησμένη γραφική παράσταση που συγκρίνει τον συνολικό WTW ρύπο συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτησμένη του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1 (Συνήθης μίξη φορτίων)

Αυτό αρχικά μπορεί να φαίνεται παράδοξο αφού κυριαρχεί η αντίληψη ότι η σιδηροδρομική μεταφορά και κατ' επέκταση η συνδυασμένη μεταφορά με κύριο μέσο το σιδηρόδρομο, είναι οικολογικά φιλικότερη επιλογή σε σχέση με την αντίστοιχη αμιγώς οδική μεταφορά. Η συγκεκριμένη αντίληψη δεν είναι ανακριβής. Δεν ισχύει, ωστόσο, για όλες τις χώρες. Σε χώρες όπως η Γερμανία, η Ελβετία, κ.α. όπου ένα σημαντικό μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ο σιδηροδρομικός συρμός παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και άλλους οικολογικά φιλικούς τρόπους οι WTW ρύποι που παράγονται από το σιδηροδρομικό τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς είναι σαφώς λιγότεροι, οπότε και οι συνολικοί ρύποι της συνδυασμένης μεταφοράς σε σχέση με την αμιγώς οδική είναι λιγότεροι. Αντίθετα, σε χώρες όπως η Ελλάδα, η Πολωνία, κ.α. όπου ένα μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από καύση λιγνίτη ή άλλων πρωτογενών πηγών ενέργειας των οποίων η καύση έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή πολλών ρύπων είναι λογικό η συνδυασμένη μεταφορά να μην είναι περιβαλλοντικά συμφέρουσα έναντι της αμιγώς οδικής (Εικόνα 37). Ακόμη, σημαντικό ρόλο στις αυξημένες εκπομπές ρύπων στην εξεταζόμενη διαδρομή παίζουν και οι αρκετά μεγάλες κλίσεις που παρουσιάζονται, ιδιαίτερα στον πρώτο τμήμα της από την Αθήνα μέχρι το Δομοκό.



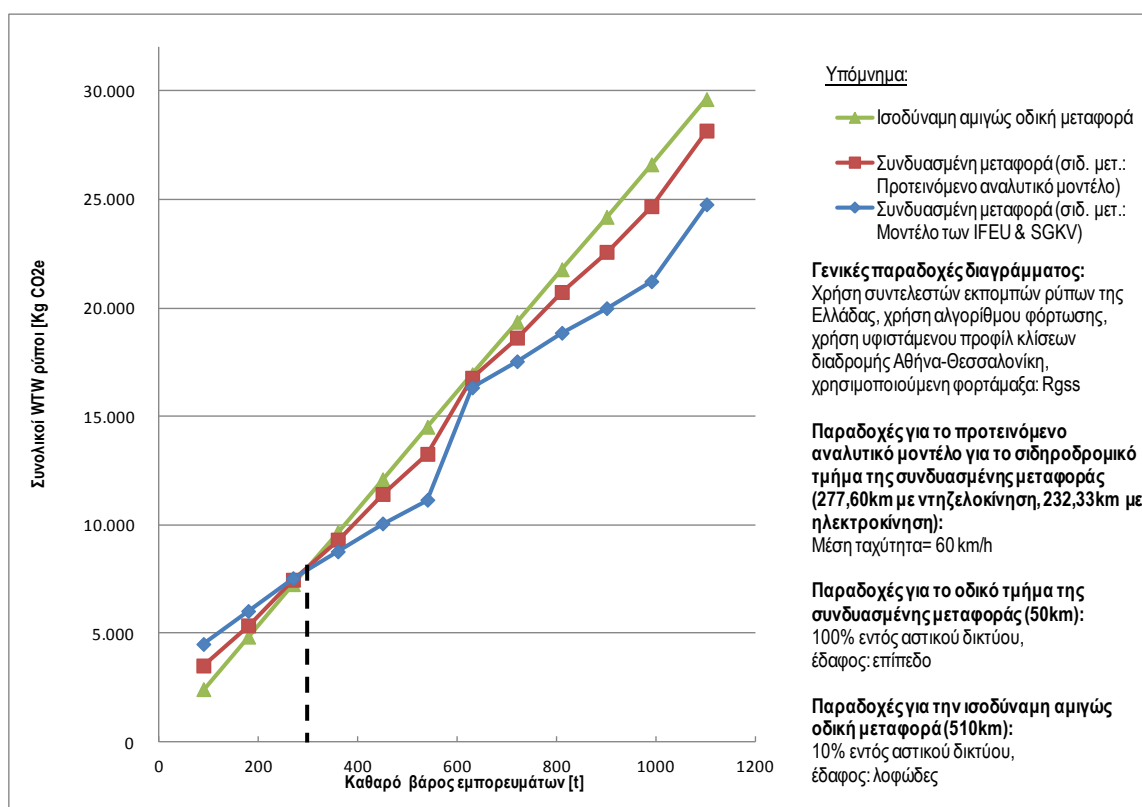
Εικόνα 37: Εκπεμπόμενο CO₂ για την παραγωγή 1 kWh ηλεκτρικού ρεύματος για κάθε χώρα μέλος της ΕΕ (στοιχεία 2009) [118]

Στην περίπτωση της συνδυασμένης μεταφοράς **ελαφριών φορτίων (Σενάριο φορτίων #2)**, και με τη χρήση των δύο μοντέλων για το σιδηροδρομικό συρμό προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι συνολικοί WTW ρύποι είναι περισσότεροι από τους αντίστοιχους της αμιγώς οδικής μεταφοράς για σχεδόν όλες τις τιμές του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων (Διάγραμμα 5). Όσον αφορά μόνο το μοντέλο των IFEU & SGKV υπάρχει ένα μικρό εύρος τιμών καθαρού βάρους μεταφερόμενων εμπορευμάτων (175 t - 225 t), στην οριακή τιμή πριν απαιτηθεί η προσθήκη νέας μηχανής έλξης, όταν, δηλαδή, η υπάρχουσα μηχανή αξιοποιείται κατά το μέγιστο, όπου η συνδυασμένη μεταφορά εκπέμπει λιγότερους ρύπους σε σχέση με την αμιγώς οδική. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι λογικό αφού το απόβαρο που μεταφέρεται από το κύριο μέσο μεταφοράς για το ίδιο καθαρό βάρος είναι έως και διπλάσιο στο σιδηροδρομικό τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς σε σχέση με το αντίστοιχο της αμιγώς οδικής μεταφοράς, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό του βάρους των μηχανών έλξης που αναλογεί στο συγκεκριμένο φορτίο.



Διάγραμμα 5: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσεως του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2 (Μόνο ελαφριά φορτία)

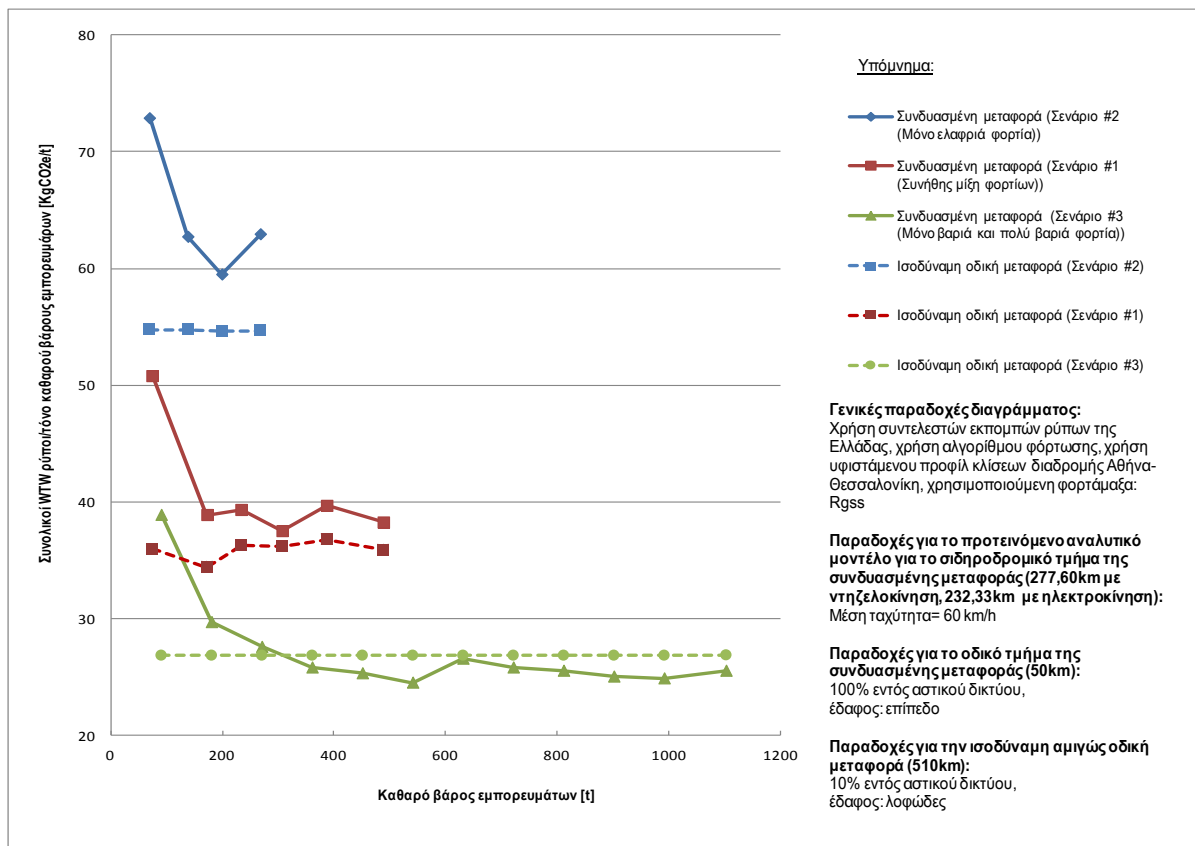
Στην περίπτωση της μεταφοράς **βαριών και πολύ βαριών φορτίων (Σενάριο #3)**, για τα ελληνικά δεδομένα και τη γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης, η συνδυασμένη μεταφορά είναι συμφέρουσα από περιβαλλοντικής άποψης για καθαρό βάρος εμπορευμάτων μεγαλύτερο των 300 τόνων (Διάγραμμα 6). Στο συμπέρασμα αυτό συμφωνούν τα αποτελέσματα και των δύο μοντέλων υπολογισμού της σιδηροδρομικής μεταφοράς.



Διάγραμμα 6: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσεως του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #3 (Μόνο βαριά και πολύ βαριά φορτία)

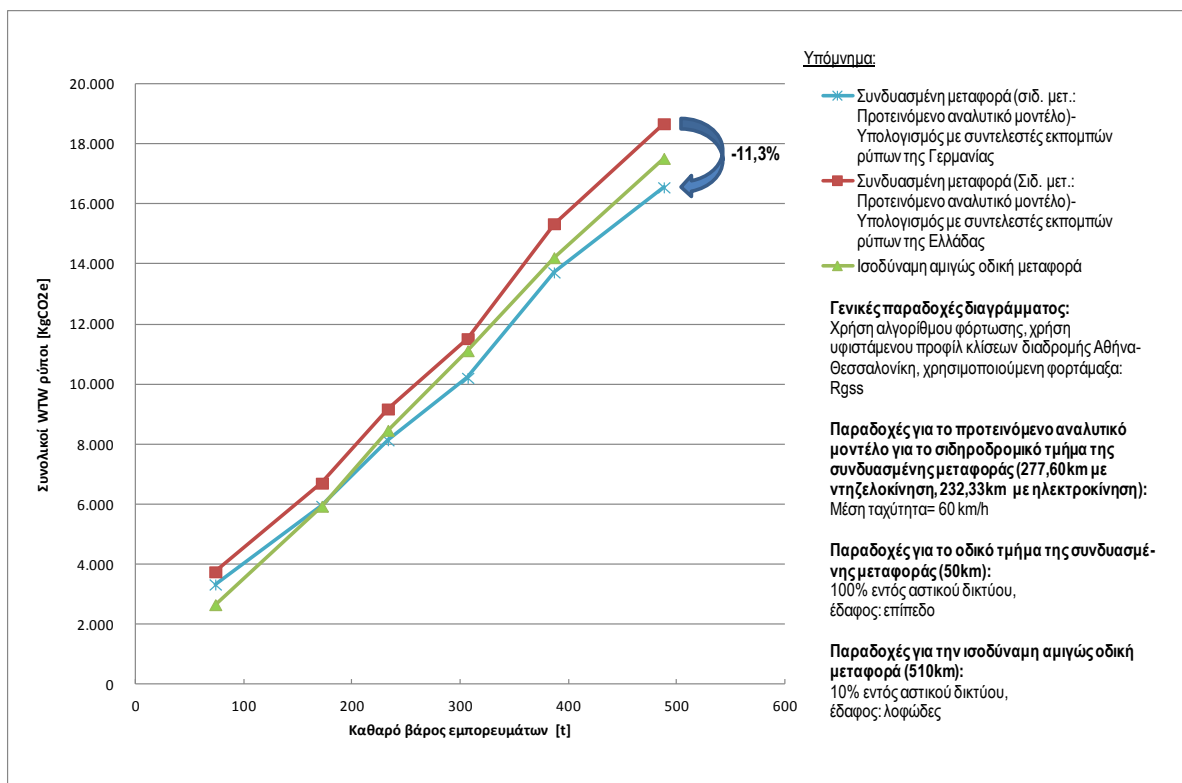
Στο Διάγραμμα 6, όπως και στα υπόλοιπα διαγράμματα, παρατηρούνται σημεία **αλλαγής των κλίσεων των γραμμών** των συνδυασμένων μεταφορών. Στα σημεία αυτά προστίθεται μία μηχανή έλξης με αποτέλεσμα μία απότομη αύξηση των συνολικών WTW εκπεμπόμενων ρύπων. Η αύξηση αυτή είναι πιο έντονη στο μοντέλο των IFEU & SGKV. Αυτό συμβαίνει επειδή, για το μοντέλο αυτό, έχει γίνει η παραδοχή ότι στην περίπτωση της ύπαρξης παραπάνω της μίας μηχανών έλξης κάθε μηχανή έλκει ίδιο ποσοστό του συνολικού φορτίου (π.χ. στην περίπτωση δύο μηχανών έλξης καθεμία θεωρείται ότι έλκει το μισό φορτίο του συρμού). Όμως, όσο μικρότερη είναι η ελκόμενη μάζα τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση ανά t·km.

Εξετάζοντας συγκριτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τα **τρία σενάρια φορτίων**, όταν τα εμπορεύματα είναι ελαφριά, παρατηρείται ότι οι συνολικοί WTW ρύποι ανά τόνο καθαρού βάρους μεταφερόμενων εμπορευμάτων είναι σαφώς περισσότεροι σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια φορτίων για το ίδιο καθαρό βάρος εμπορευμάτων (Διάγραμμα 7). Το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό καθώς, στην περίπτωση των ελαφριών αγαθών, το συνολικό απόβαρο που μεταφέρεται είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια φορτίων. Από το συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται ακόμη ότι στην περίπτωση της μεταφοράς μόνο ελαφριών αγαθών το μέγιστο δυνατό καθαρό βάρος των εμπορευμάτων είναι 4 φορές μικρότερο σε σχέση με το αντίστοιχο της μεταφοράς μόνο βαριών και πολύ βαριών αγαθών. Αυτό συμβαίνει επειδή ο περιορισμός του μέγιστου φορτίου τίθεται από περιορισμούς στη σύνθεση του σιδηροδρομικού συρμού. Στην περίπτωση της μεταφοράς ελαφριών αγαθών οι περιορισμοί ικανοποιούνται για σαφώς μικρότερα καθαρά βάρη εμπορευμάτων αφού για σχετικά μικρό συνολικό βάρος εμπορευμάτων απαιτείται πολύ μεγάλος αριθμός φορταμαξών, σε αντίθεση με τα βαριά και πολύ βαριά αγαθά που συμβαίνει το αντίστροφο.



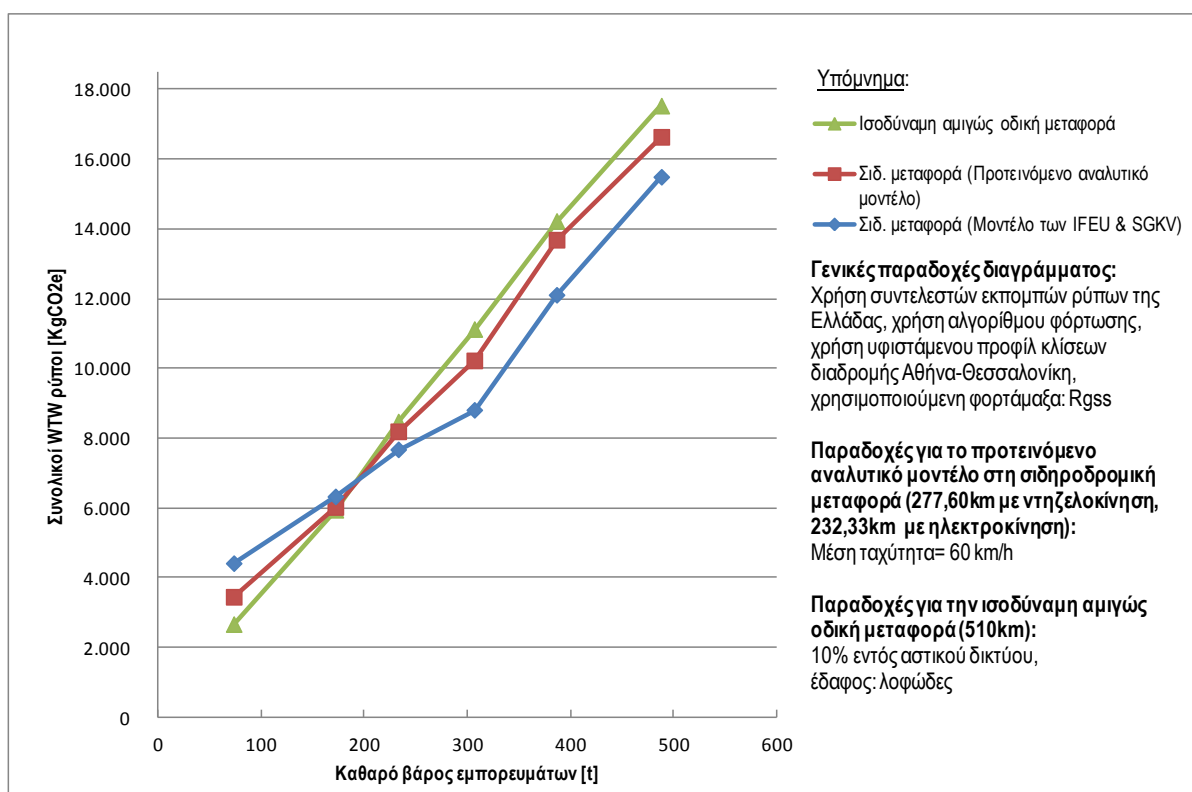
Διάγραμμα 7: Σύγκριση συνολικών WTW ρύπων ανά τόνο καθαρού βάρους εμπορευμάτων συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς για τα τρία σενάρια φορτίων

Για να διερευνηθεί η επιρροή του συντελεστή εκπομπών ρύπων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είναι αυξημένος στην περίπτωση της Ελλάδας, πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση για το σενάριο φορτίων #1 χρησιμοποιώντας το συντελεστή εκπομπών ρύπων για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος της Γερμανίας (0,527 Kg CO₂e/kWh) αντί του αντίστοιχου της Ελλάδας (0,98 Kg CO₂e/kWh), που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις υπόλοιπες αναλύσεις, για το ηλεκτροκίνητο σιδηροδρομικό τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς. Η υπόθεση αυτή έχει πρακτική αξία με την έννοια ότι αν η Ελλάδα αντικαταστήσει τα λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ο συντελεστής εκπομπών της θα μειωθεί με αποτέλεσμα, στο μέλλον, να πλησιάσει αυτόν χωρών όπως της Γερμανίας. Η διαφορά των ρύπων των δύο εξεταζόμενων περιπτώσεων είναι της τάξης του 11,3% (Διάγραμμα 8). Από το διάγραμμα παρατηρείται, ακόμη, ότι η συνδυασμένη μεταφορά υπολογισμένη με το συντελεστή εκπομπών ρύπων της Γερμανίας είναι φιλικότερη περιβαλλοντικά της ισοδύναμης της οδικής για τιμές καθαρού βάρους εμπορευμάτων μεγαλύτερες των 200 t.

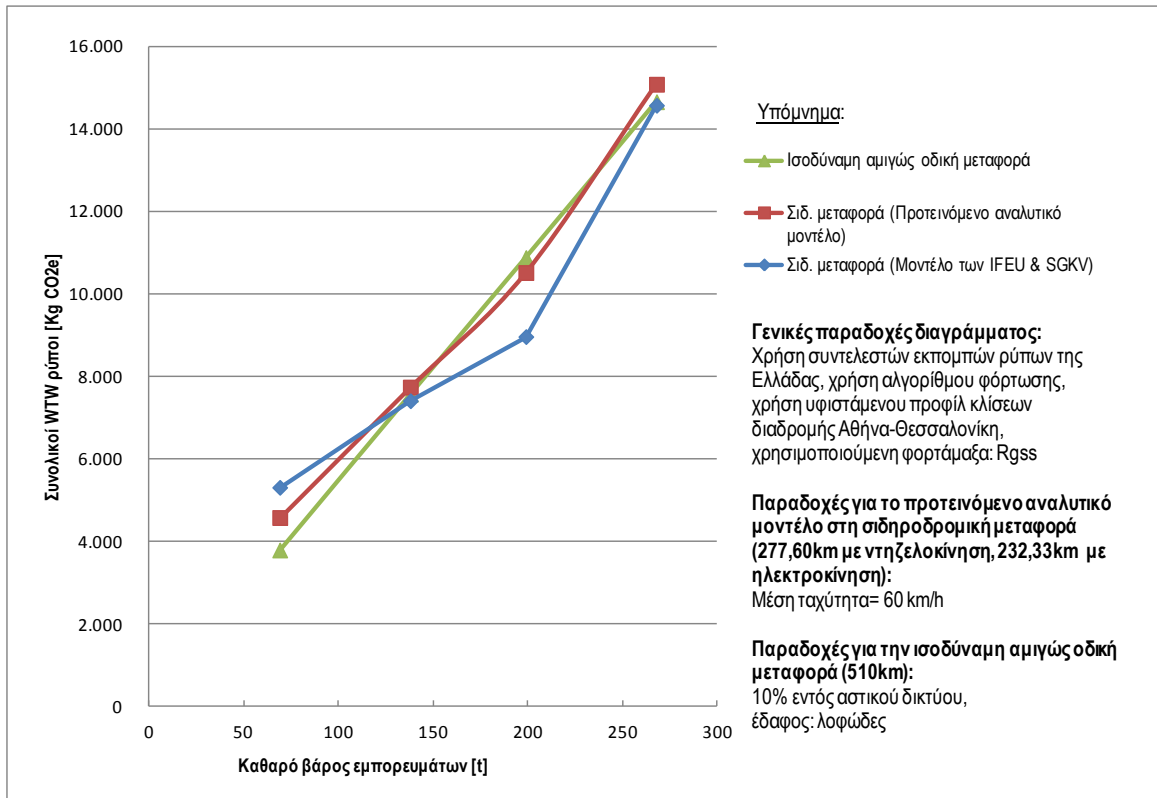


Διάγραμμα 8: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσεως του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων υπολογισμένοι και με το συντελεστή εκπομπής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας για το σενάριο φορτίων #1

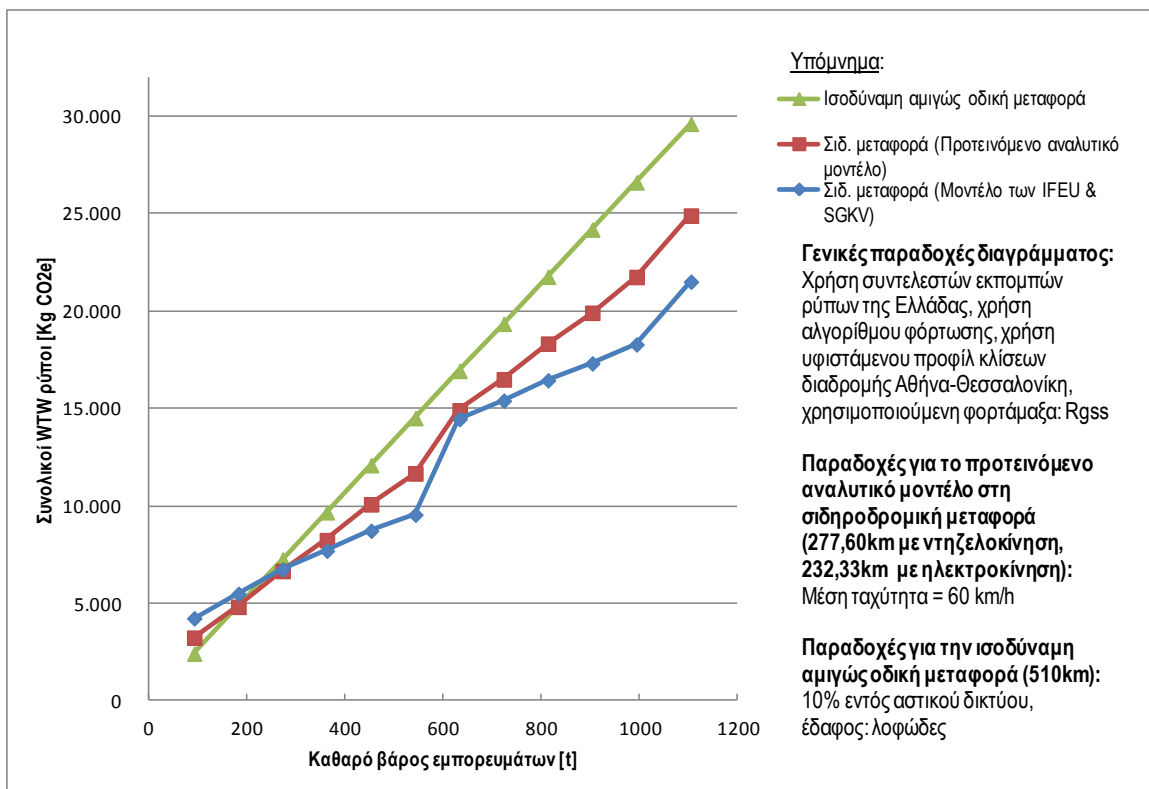
Πραγματοποιήθηκαν, ακόμη, τρεις αναλύσεις, για τα τρία σενάρια φορτίων, όπου υπολογίστηκαν οι WTW ρύποι της **αμιγώς σιδηροδρομικής** και της αμιγώς οδικής μεταφοράς (με την υπόθεση ότι ο σιδηροδρομικός συρμός έχει ως αφετηρία και τερματισμό παρακαμπτήριες ιδιωτικές γραμμές με αποτέλεσμα να μην απαιτείται συνδυασμένη μεταφορά). Στην περίπτωση του σεναρίου συνήθους μίξης των φορτίων, για μεταφορά εμπορευμάτων καθαρού βάρους άνω των 200 t η σιδηροδρομική μεταφορά υπερτερεί περιβαλλοντικά της οδικής, σύμφωνα και με τα δύο μοντέλα υπολογισμού για τη σιδηροδρομική μεταφορά (Διάγραμμα 9). Για τα ελαφριά φορτία και για τα δύο μοντέλα υπολογισμού υπάρχει ένα εύρος τιμών καθαρού βάρους εμπορευμάτων όπου η σιδηροδρομική μεταφορά εκπέμπει λιγότερους ρύπους σε σχέση με την οδική (Διάγραμμα 10) ενώ για τα βαριά και πολύ βαριά η υπεροχή της σιδηροδρομικής μεταφοράς είναι σαφής (Διάγραμμα 11).



Διάγραμμα 9: Συνολικοί WTW ρύποι αμιγώς σιδηροδρομικής και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1

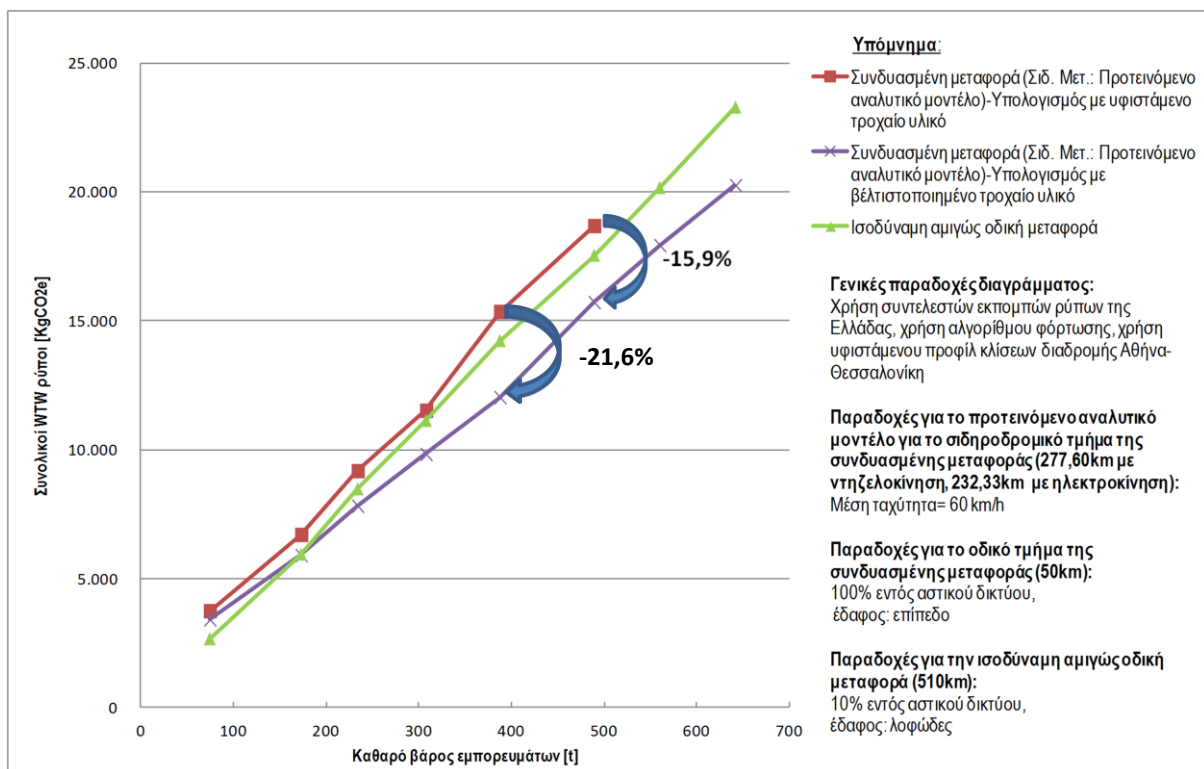


Διάγραμμα 10: Συνολικοί WTW ρύποι αμιγώς σιδηροδρομικής και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2



Διάγραμμα 11: Συνολικοί WTW ρύποι αμιγώς σιδηροδρομικής και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #3

Ιδιαίτερα σημαντική, είναι η **επιρροή του τροχαίου υλικού** που χρησιμοποιείται στη σύνθεση του συρμού στους συνολικούς WTW παραγόμενους ρύπους της συνδυασμένης μεταφοράς. Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζονται οι συνολικοί WTW ρύποι της συνδυασμένης μεταφοράς (βάσει του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου) αν χρησιμοποιηθεί το υφιστάμενο τροχαίο υλικό (φορτάμαξα Rgss, 60') και αν χρησιμοποιηθεί βελτιστοποιημένο τροχαίο υλικό (φορτάμαξες Lgns, 45' και Sgnss, 60'), με μικρότερο απόβαρο. Τα χαρακτηριστικά των φορταμαξών που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον Πίνακα 16. Η μείωση που παρατηρείται στους συνολικούς WTW ρύπους μπορεί να είναι έως και 15,9%, για το εξεταζόμενο σενάριο φορτίων. Από το διάγραμμα παρατηρείται ακόμη ότι λόγω της βελτιστοποιημένης επιλογής του τροχαίου υλικού οι συνολικοί WTW ρύποι της συνδυασμένης μεταφοράς είναι λιγότεροι της οδικής για τιμές καθαρού βάρους μεγαλύτερες των 200t.

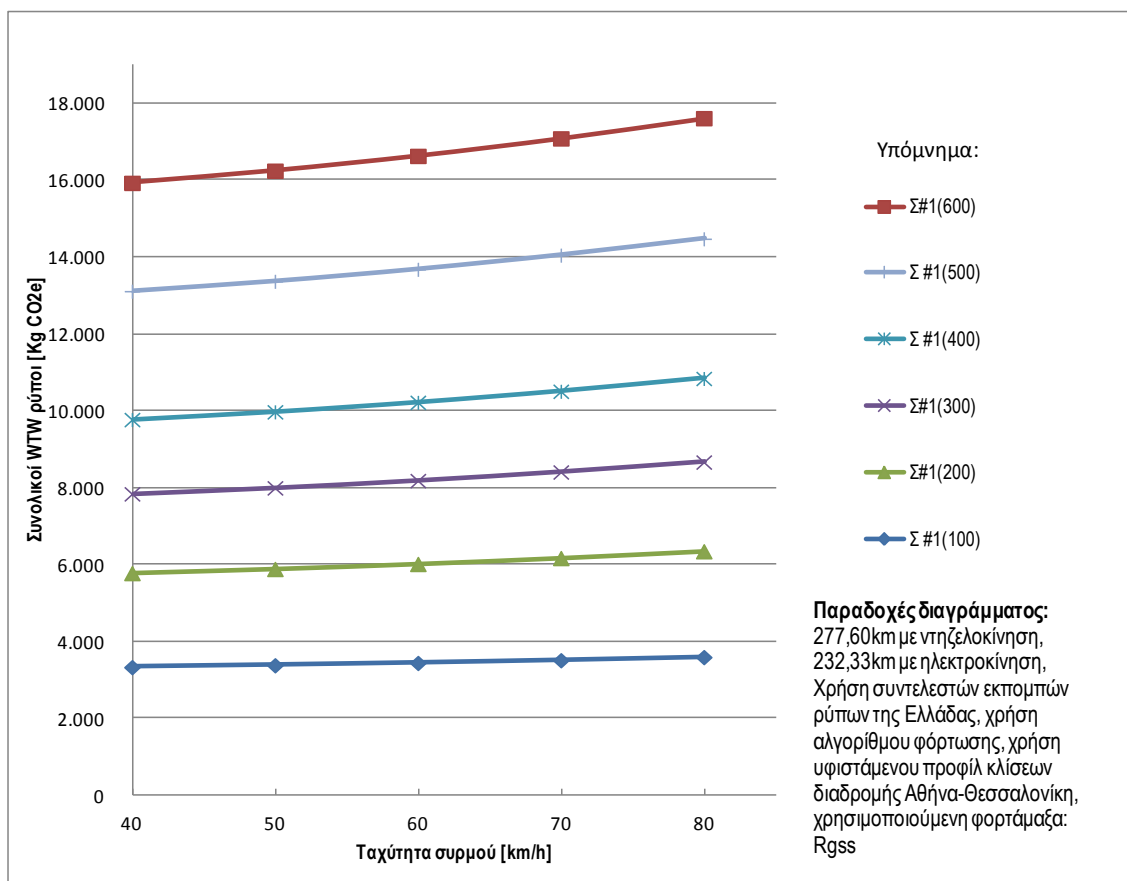


Διάγραμμα 12: Επιρροή τροχαίου υλικού στους συνολικούς WTW ρύπους της συνδυασμένης μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #1

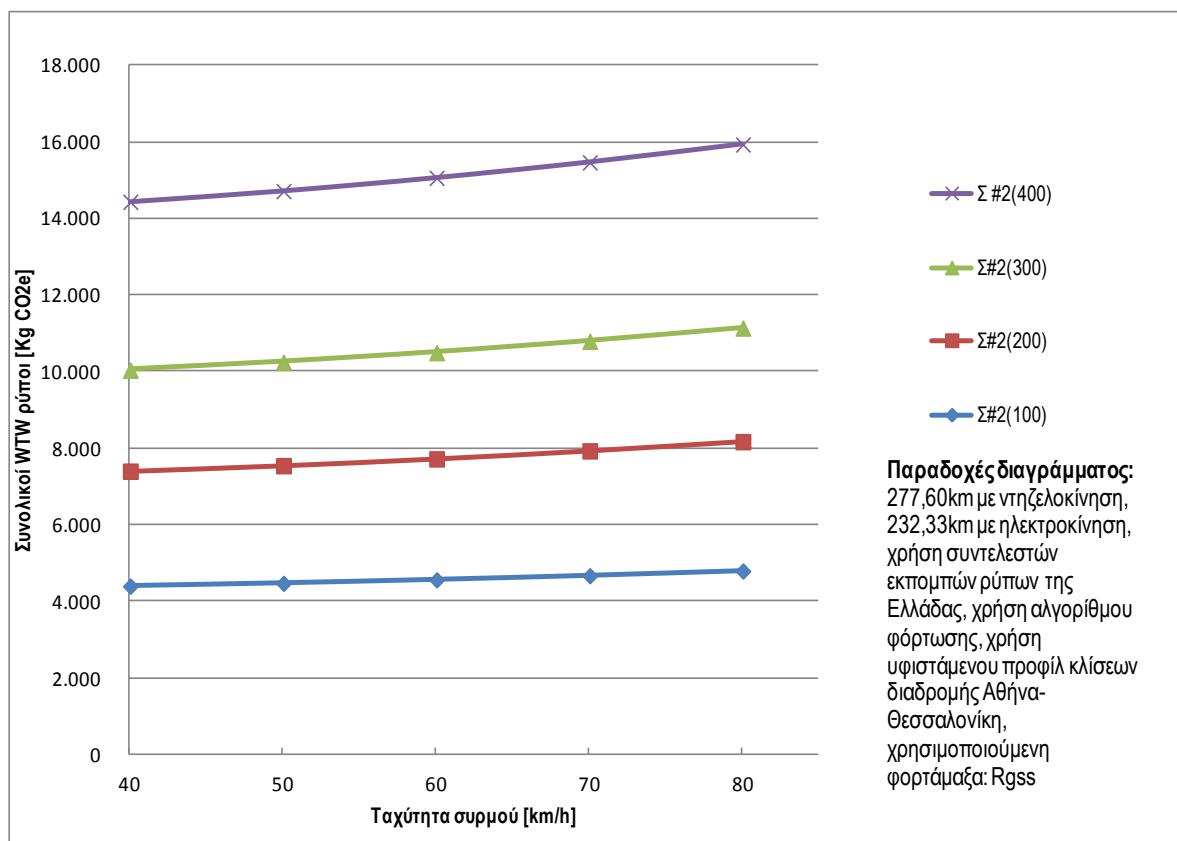
Η ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων της σιδηροδρομικής μεταφοράς επηρεάζεται σημαντικά, πέραν του φορτίου, από την ταχύτητα του συρμού καθώς και από την κλίση του εδάφους. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθούν

οι δύο αυτές παράμετροι ξεχωριστά, σε σχέση με τους παραγόμενους ρύπους, όσον αφορά αποκλειστικά το σιδηροδρομικό τμήμα της συνδυασμένης μεταφοράς διότι οι παράμετροι αυτές δεν υπεισέρχονται στους υπολογισμούς της οδικής μεταφοράς. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου καθότι μόνο αυτό λαμβάνει υπόψη την ταχύτητα του συρμού και το προφίλ των κλίσεων της διαδρομής.

Στις προηγούμενες αναλύσεις είχε γίνει η παραδοχή μίας μέσης ταχύτητας συρμού ίσης με 60 km/h. Στις αναλύσεις που ακολουθούν το εύρος των ταχυτήτων κυμαίνεται από 40 έως 80 km/h. Οι ρύποι, όπως φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν για τα τρία σενάρια φορτίων, αυξάνονται όσο αυξάνεται η **ταχύτητα** αφού αυξάνεται η αεροδυναμική αντίσταση με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την κίνηση του συρμού (Διάγραμμα 13, Διάγραμμα 14, Διάγραμμα 15).

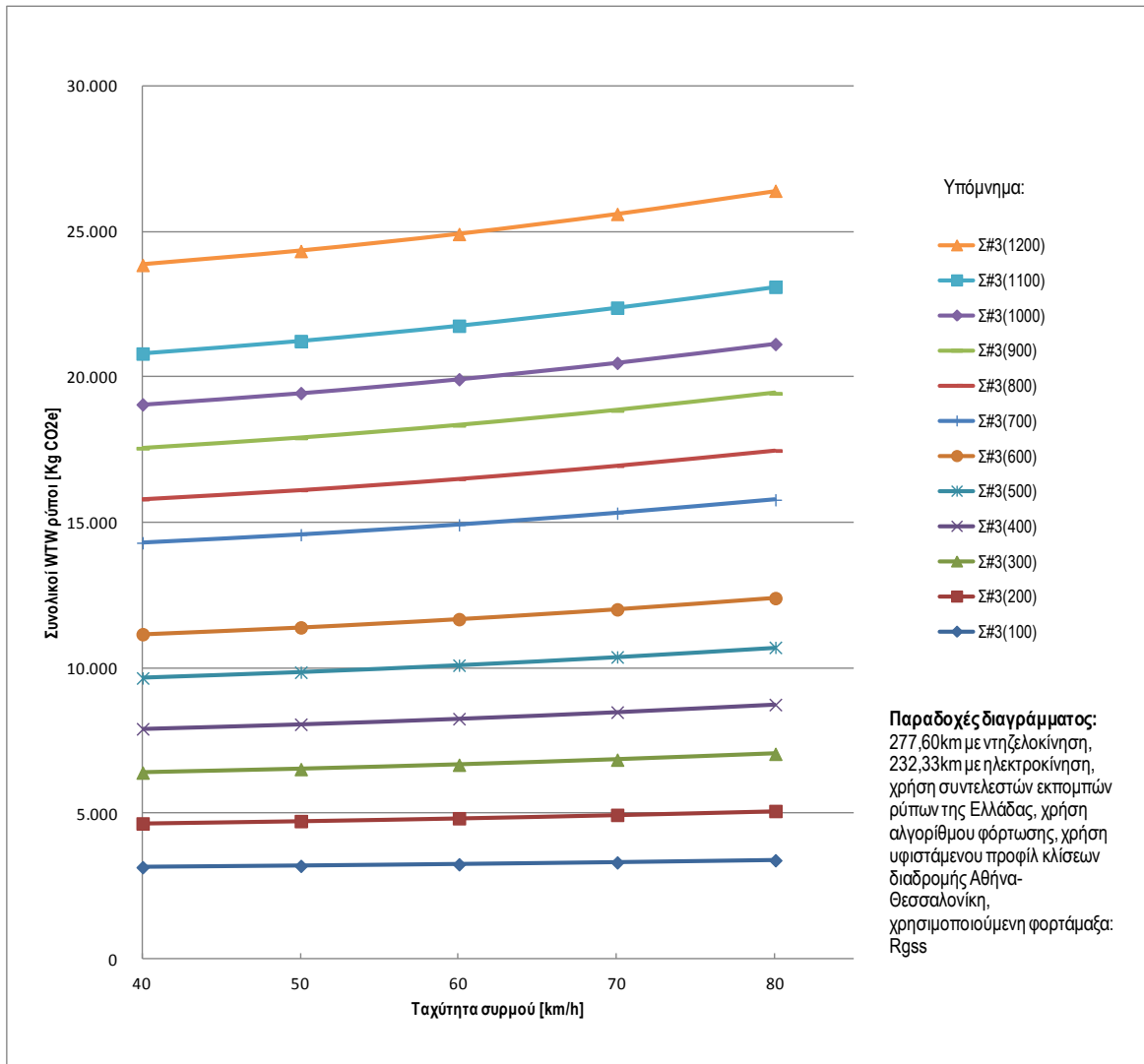


Διάγραμμα 13: Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1



Διάγραμμα 14: Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #2

Παρατηρείται, ακόμη, ότι όσο η μάζα του συρμού αυξάνεται, η διαφορά των συνολικών ρύπων για ταχύτητα 40 km/h και 80 km/h αυξάνεται σε όλα τα σενάρια. Αξίζει, επίσης, να αναφερθεί, όπως φαίνεται και από τα τρία διαγράμματα, ότι οι καμπύλες έχουν εκθετική μορφή, κάτι αναμενόμενο αφού η ταχύτητα του συρμού υπεισέρχεται στους υπολογισμούς της κατανάλωσης και κατ' επέκτασης των ρύπων υψωμένη στο τετράγωνο. Σημειώνεται, τέλος, ότι οι διαδοχικές καμπύλες που απέχουν μεταξύ τους περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες υποδεικνύουν την προσθήκη μίας νέας μηχανής έλξης. Οι υπολογισμοί της έλξης για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου αριθμού μηχανών έλξης έχουν πραγματοποιηθεί θεωρώντας ότι ο συρμός στη μέγιστη ανωφέρεια διατηρεί σταθερή ταχύτητα μικρότερη ή ίση με 60 km/h ανεξάρτητα της μέσης ταχύτητάς του.

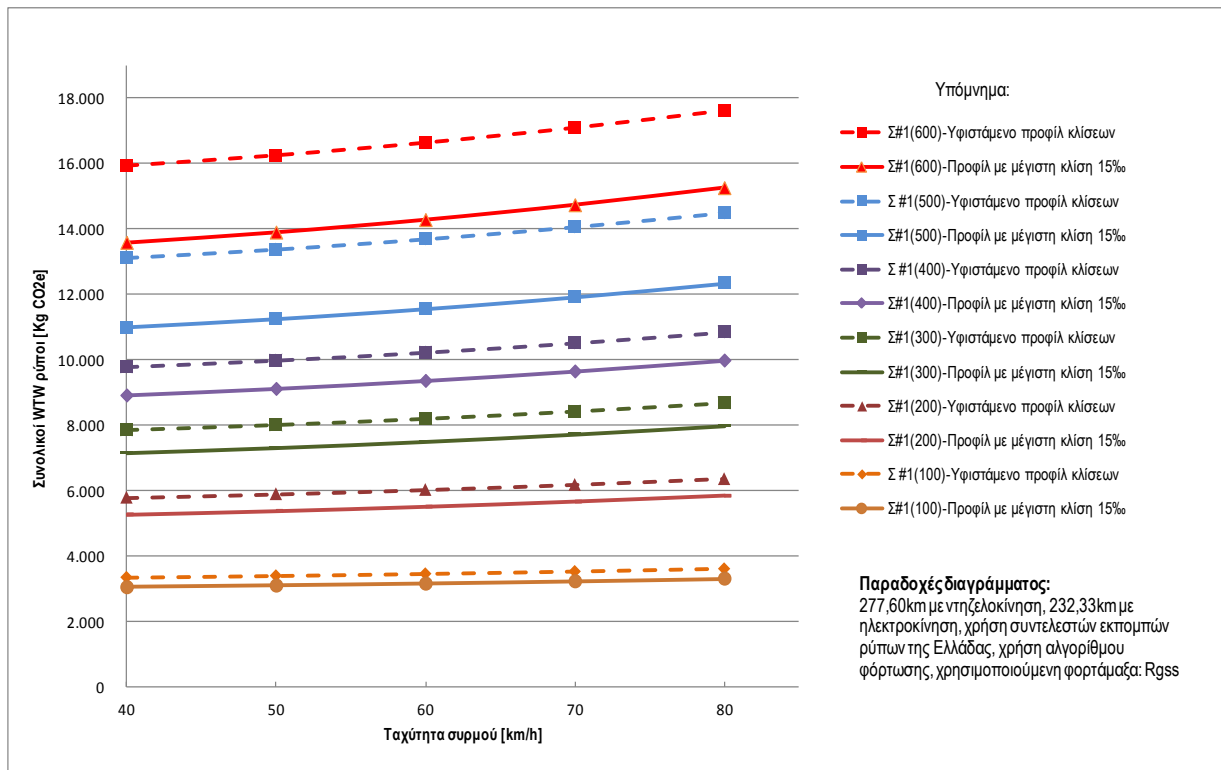


Διάγραμμα 15: Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του σιδηροδρομικού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #3

Όσον αφορά τις κλίσεις, σε όλες τις προηγούμενες αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς το υφιστάμενο προφίλ κλίσεων της διαδρομής Αθηνών-Θεσσαλονίκης. Για τη διερεύνηση της επιρροής του προφίλ των κλίσεων στους συνολικούς παραγόμενους WTW ρύπους πραγματοποιήθηκαν δύο αναλύσεις στις οποίες συγκρίθηκαν οι ρύποι υπολογισμένοι με το υφιστάμενο προφίλ κλίσεων με τους ρύπους από δύο εναλλακτικά προφίλ κλίσεων.

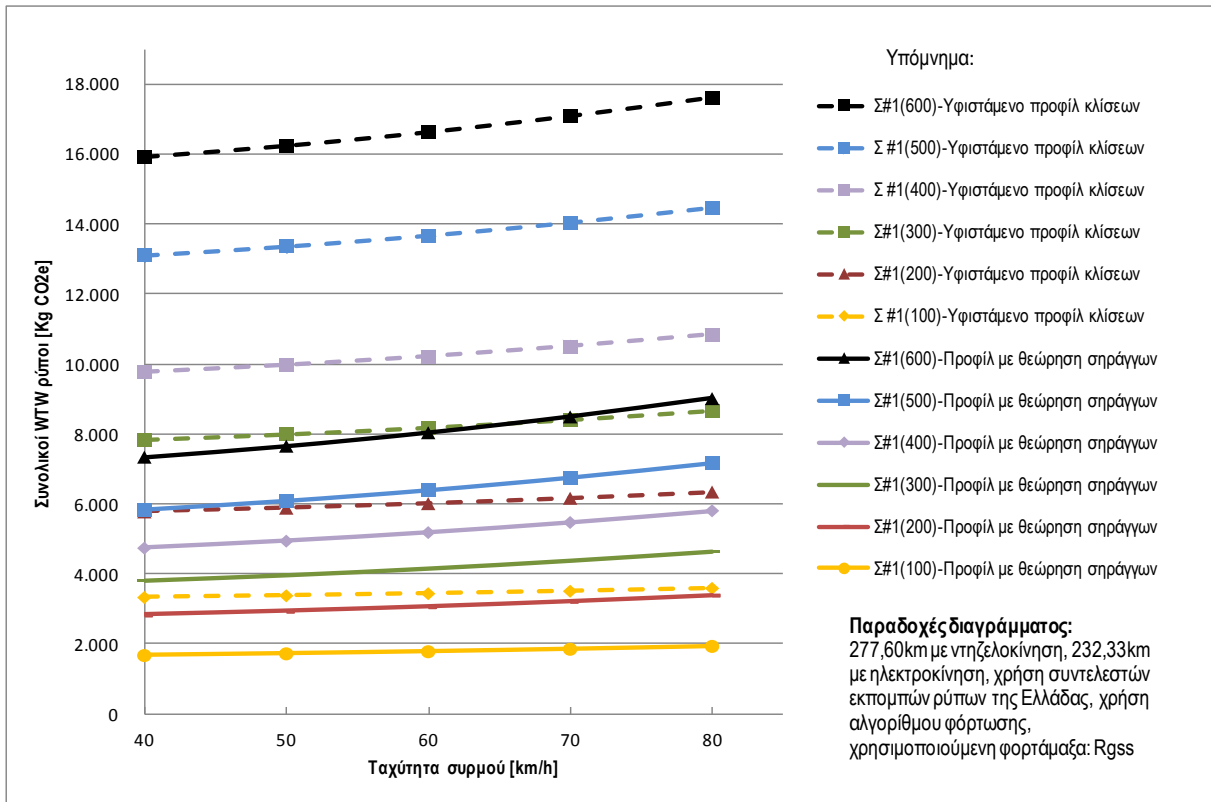
Στην πρώτη ανάλυση τα τμήματα της υφιστάμενης διαδρομής με κλίση μεγαλύτερη του 15% αντικαταστάθηκαν με τμήματα ίσου μήκους σταθερής κλίσης 15%. Γενικά, διαπιστώθηκε ότι με την αλλαγή αυτή υπήρξε, όπως ήταν αναμενόμενο, μία μείωση των παραγόμενων ρύπων. Για μικρές τιμές καθαρού

βάρους (Σ#1(100)), η μείωση αυτή ήταν της τάξης του 8% ενώ για μεγάλες τιμές καθαρού βάρους εμπορευμάτων (Σ#1(600)) η μείωση που παρατηρείται κυμαίνεται στο 14,0 % (Διάγραμμα 16).



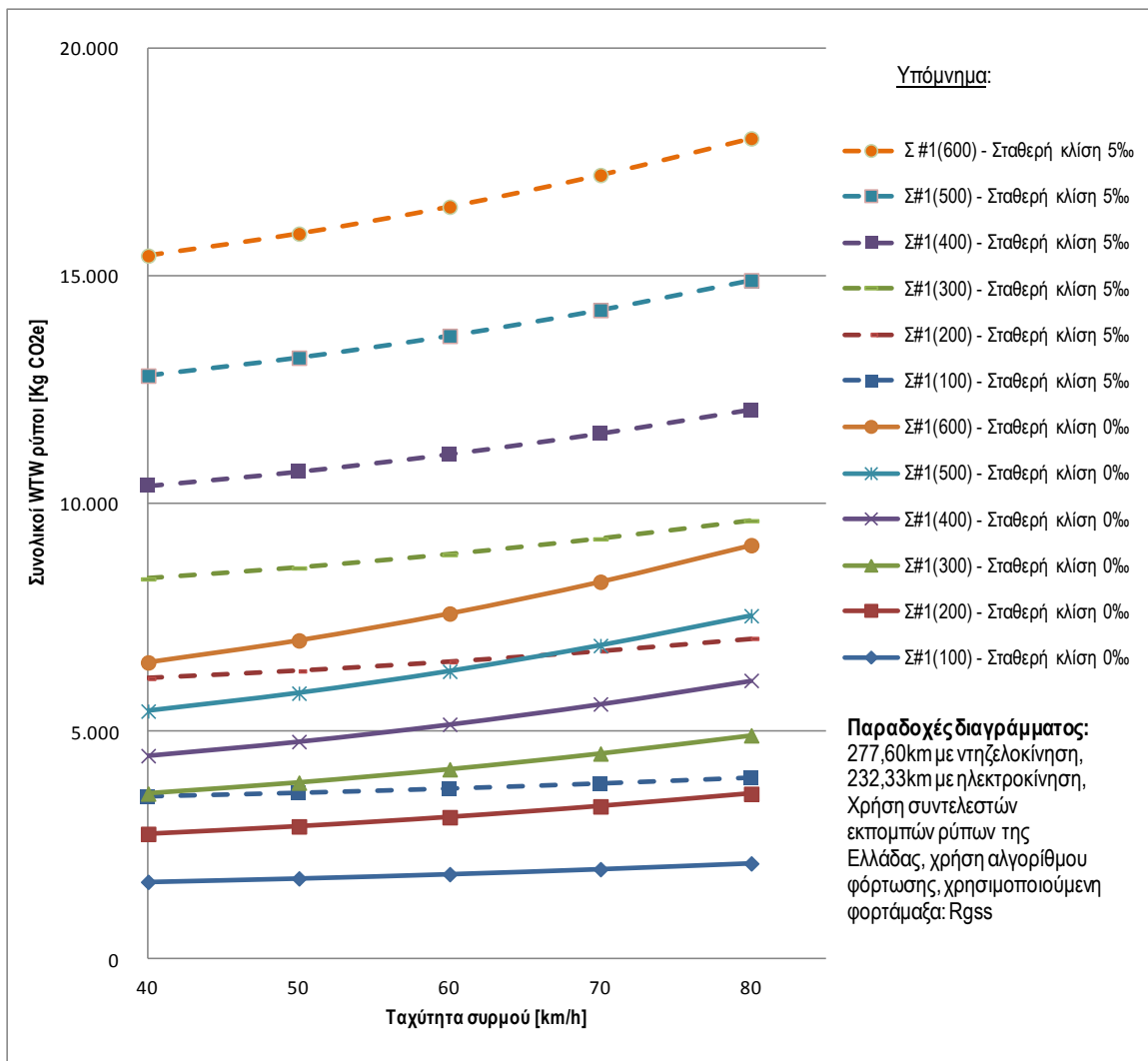
Διάγραμμα 16: Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων, για το σενάριο φορτίων #1, με θεώρηση κλίσης 15‰ στα τμήματα της διαδρομής με κλίση άνω του 15‰

Στη δεύτερη ανάλυση τα τμήματα της υφιστάμενης διαδρομής με κλίση μεγαλύτερη του 15‰ αντικαταστάθηκαν με τμήματα ίσου μήκους σταθερής κλίσης 0‰. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί αν τα τμήματα με πολύ μεγάλες κλίσεις αντικαθίσταντο από σήραγγες. Και πάλι, διαπιστώθηκε ότι με την αλλαγή αυτή υπήρξε μία μείωση των παραγόμενων ρύπων η οποία, όπως ήταν αναμενόμενο, ήταν ακόμα μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της προηγούμενης ανάλυσης. Για μικρές ταχύτητες (40km/h), η μείωση, σε αυτήν την ανάλυση, ήταν της τάξης του 52% ενώ για μεγάλες ταχύτητες (80km/h) ήταν της τάξης του 47,5% (Διάγραμμα 17).



Διάγραμμα 17: Συνολικοί WTW ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1 με θεώρηση κλίσης 0‰ στα τμήματα της διαδρομής με κλίση άνω του 15‰

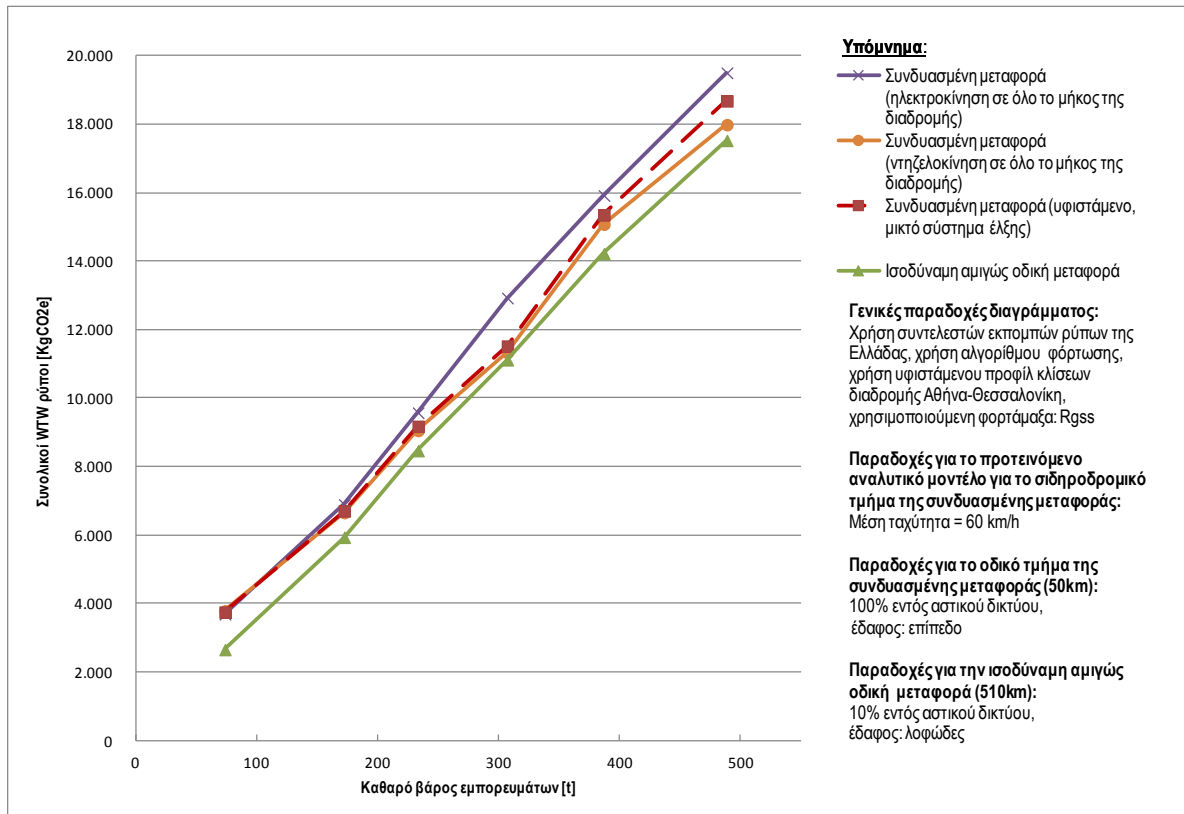
Πραγματοποιήθηκε και μία τρίτη ανάλυση για να γίνει ακόμα πιο κατανοητή η επίδραση της κλίσης στους παραγόμενους ρύπους, όπου συγκρίθηκαν οι παραγόμενοι WTW ρύποι υπολογισμένοι με τη θεώρηση σταθερής κλίσης ίσης με 0‰ και 5‰ σε όλο μήκος της διαδρομής (Διάγραμμα 18). Τα συμπεράσματα είναι αντίστοιχα με τα προηγούμενα. Για το ίδιο μεταφερόμενο φορτίο, οι καμπύλες αποτελεσμάτων και για τις δύο τιμές σταθερής κλίσης είναι παράλληλες μεταξύ τους. Οι παραγόμενοι ρύποι είναι αυξημένοι για σταθερή κλίση 5‰ έναντι 0‰ και τα ποσοστά αύξησής τους για τις μικρές ταχύτητες είναι +125 (±15)% ενώ για μεγάλες ταχύτητες η αύξηση είναι +94% (±5)%.



Διάγραμμα 18: Σύγκριση WTW ρύπων σιδηροδρομικής μεταφοράς συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού και του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1 για σταθερή κλίση 0% και 5% σε όλη τη διαδρομή

Η σιδηροδρομική διαδρομή Αθηνών-Θεσσαλονίκης αναμένεται να ηλεκτροδοτηθεί σε όλο της το μήκος μέχρι τα τέλη του 2015. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση στην οποία έγινε η θεώρηση ότι στο σύνολο της διαδρομής ο σιδηροδρομικός συρμός κινείται με ηλεκτροκίνηση. Στο Διάγραμμα 19, χάριν σύγκρισης, παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενοι WTW ρύποι της συνδυασμένης μεταφοράς αν το σύνολο της σιδηροδρομικής διαδρομής είναι ηλεκτροδοτημένο ή το σύνολο της διαδρομής πραγματοποιείται με νηζελοκίνηση σε σχέση με το υφιστάμενο, μικτό σύστημα έλξης καθώς και οι εκπεμπόμενοι ρύποι της ισοδύναμης οδικής μεταφοράς. Παρατηρείται ότι η συνδυασμένη μεταφορά με ηλεκτροκίνηση σε όλο το μήκος της διαδρομής, στην Ελλάδα, παράγει περισσότερους ρύπους σε σχέση με την αντίστοιχη με τις υπόλοιπες. Ωστόσο, το οικονομικό όφελος που θα

προκύψει από την πλήρη ηλεκτροδότηση της συγκεκριμένης διαδρομής του ελληνικού δικτύου θα είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού η ΤΡΑΙΝΟΣΕ κοστολογεί την ηλεκτροκίνηση με περίπου 1,44 €/km ενώ την ντηζελοκίνηση με τουλάχιστον 10 €/km (στην περίπτωση των δύο ντηζελοκίνητων μηχανών έλξης).



Διάγραμμα 19: Συνολικοί WTW ρύποι συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς συναρτήσει του καθαρού βάρους των εμπορευμάτων για το σενάριο φορτίων #1, με θεώρηση ηλεκτροκίνησης/ντηζελοκίνησης σε όλο το μήκος της διαδρομής

Οι υπολογισμοί από τους οποίους προέκυψαν όλα τα διαγράμματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙ.

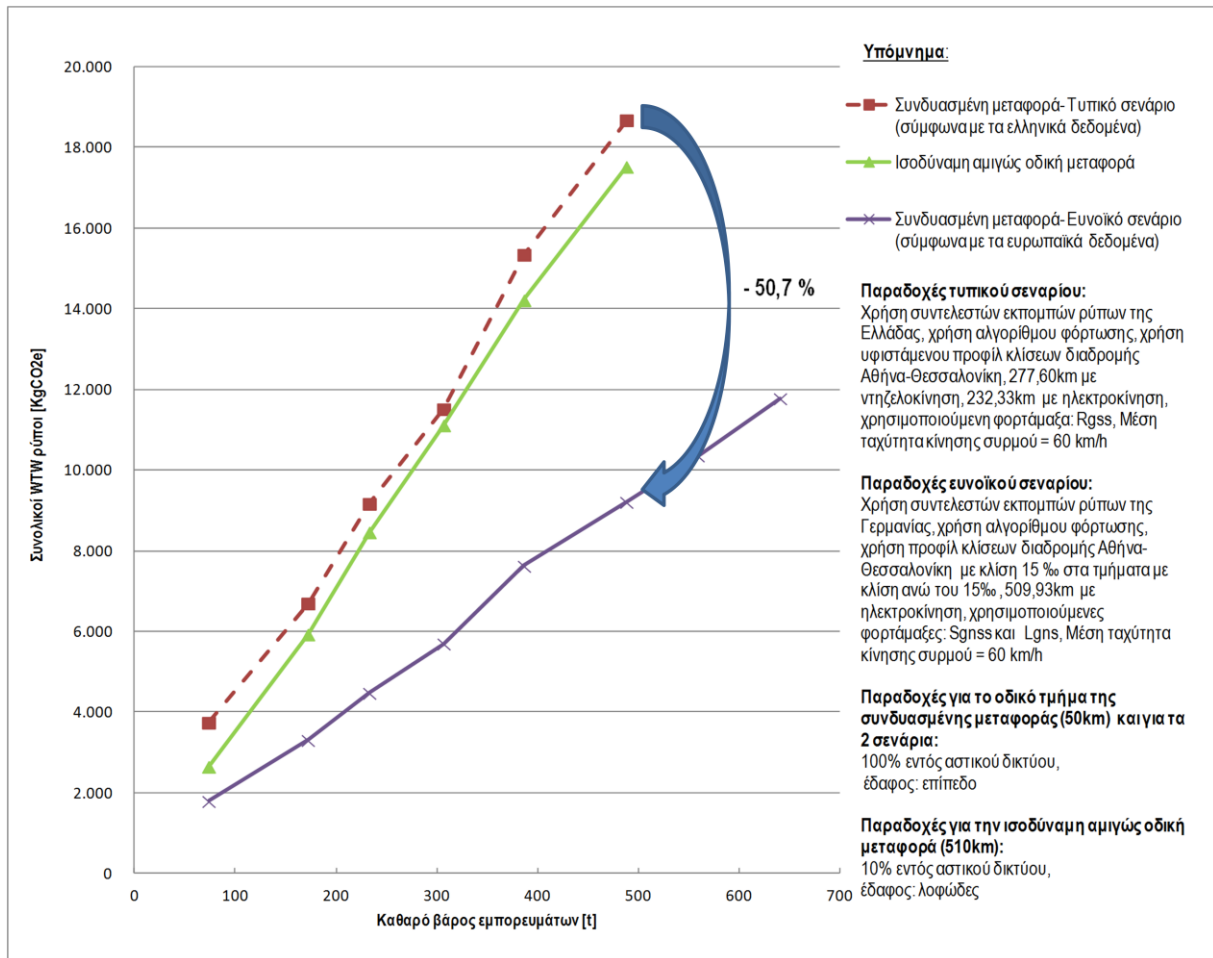
Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 44) παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή των ρύπων για τις οριακές τιμές των παραμέτρων που μελετήθηκαν για έναν τυπικό συρμό της εξεταζόμενης διαδρομής μικτής ελκόμενης μάζας περίπου 1000 t, μικτού φορτίου 500 t και καθαρού βάρους εμπορευμάτων περίπου 400t (Σενάριο #1(500)).

Πίνακας 44: Ποσοστιαία μεταβολή των συνολικών WTW ρύπων της συνδυασμένης μεταφοράς για τις οριακές τιμές των παραμέτρων που μελετήθηκαν για τυπικό συρμό της εξεταζόμενης διαδρομής

	Παράμετρος	Τιμές αναφοράς		Οριακές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στη διερεύνηση	Ποσοστιαία μεταβολή των εκπεμπόμενων ρύπων ανά τόνο ωφέλιμου φορτίου
#1	Καθαρό βάρος μεταφερόμενων εμπορευμάτων	400 t ωφέλιμο φορτίο (1000 t μικτό)	Εκπεμπόμενοι ρύποι ανά τόνο ωφέλιμου φορτίου, υπολογισμένοι για τις τιμές αναφοράς: 39,7 kg CO₂e/t	100t - 500t	+28,1% (100t) -3,6% (500t)
#2	Σενάριο φορτίων	Μίξη (Μέσο φορτίο: 7,5 t/TEU)		Ελαφριά-Βαριά (4 t/TEU - 23 t/TEU)	+58,1% (Ελαφριά) -36,3% (Βαριά)
#3	Τροχαίο υλικό (μήκος φόρτωσης, βάρος φορτάμαξας)	Rgss (60', 23,5t)		Σύνθεση που περιλαμβάνει φορτάμαξες Lgns και Sgnss (45', 11,5t και 60', 20t αντίστοιχα)	-21,6%
#4	Τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Συντελεστής εκπομπών ρύπων της Ελλάδας		Συντελεστής εκπομπών ρύπων της Γερμανίας	-10,6%
#5	Μέση ταχύτητα κίνησης συρμού	60 km/h		40 km/h – 80 km/h	-3,6% (40 km/h) +5,2% (80 km/h)
#6	Σύστημα έλξης*	277 km νηζελοκίνηση, 233 km ηλεκτροκίνηση		510 km νηζελοκίνηση*	-1,8%
				510 km ηλεκτροκίνηση*	+3,7%
#7	Προφίλ κλίσεων	Υφιστάμενες κλίσεις		Κλίση 0‰ σε όλη τη διαδρομή	-47,9%
				Κλίση 15‰ στα τμήματα με κλίση άνω του 15‰ (μήκους 113 km)	-13,9%

*Αθήνα –Δομοκός (277km): 2 μηχανές έλξης, Δομοκός-Θεσσαλονίκη (233 km): 1 μηχανή έλξης.

Πραγματοποιήθηκε, τέλος, μία ανάλυση για να διερευνηθεί η προσαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης στα ευρωπαϊκά δεδομένα. Γι' αυτό το λόγο, συγκρίθηκαν οι συνολικοί WTW ρύποι ενός τυπικού, για τα ελληνικά δεδομένα, σεναρίου με τους αντίστοιχους ενός ευνοϊκού σεναρίου που αντικατοπτρίζει τα ευρωπαϊκά δεδομένα. Παρατηρείται ότι η διαφορά των ρύπων για τα δύο αυτά σενάρια μπορεί να είναι της τάξης του 50%.



Διάγραμμα 20: Σύγκριση συνολικών WTW ρύπων συνδυασμένης και αμιγώς οδικής μεταφοράς για το σενάριο φορτίων #1 για τα ελληνικά και τα ευρωπαϊκά δεδομένα

6. Συμπεράσματα

Το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του προσδιορισμού του αποτυπώματος άνθρακα απασχολεί σημαντικά την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Η μεταφορά εμπορευμάτων με φιλικά προς το περιβάλλον μέσα, όπως είναι ο σιδηρόδρομος, τα πλοία, οι ποτάμιες φορηγίδες, κτλ, έχει πολύ θετικές επιπτώσεις στις προσπάθειες μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων. Αντίστοιχες επιπτώσεις έχει και η συνδυασμένη μεταφορά κατά την οποία το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής πραγματοποιείται με σιδηρόδρομο ή πλωτά μέσα, εφόσον πληρούνται οι κατάλληλες συνθήκες.

Έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα των μεταφορών, καθένα από τα οποία λαμβάνει υπόψη του διαφορετικές παραμέτρους. Το αναλυτικό μοντέλο υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας σιδηροδρομικού συρμού που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται στη διερεύνηση αυτή βασίστηκε σε εξισώσεις που υπολογίζουν τις αντιστάσεις που καλείται να υπερνικήσει ο συρμός κατά την κίνησή του. Επιπλέον, λαμβάνει υπόψη της περιορισμούς που τίθενται στη φόρτωση των φορταμαξών και οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα να μην εξαντλείται η μεταφορική τους ικανότητα επειδή σε έναν εκ των αξόνων εξαντλείται το επιτρεπόμενο αξονικό φορτίο. Η ενσωμάτωση της παραμέτρου αυτής βελτιώνει την ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος υπολογισμού των ρύπων έως και 10%. Ακόμη, σε σύγκριση με μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου συρμών της ΤΡΑΙΝΟΣΕ, δίνει πιο ακριβείς τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα της βιβλιογραφίας που εξετάστηκαν.

Η εφαρμογή στη γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης έδειξε ότι με την υφιστάμενη μορφολογία γραμμής, το υφιστάμενο τροχαίο υλικό και τον υφιστάμενο τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα η συνδυασμένη μεταφορά βαριών εμπορευματοκιβωτίων (μέσου ωφέλιμου φορτίου 23 t/TEU) που έχουν συνολικό ωφέλιμο φορτίο μεγαλύτερο των 300t παράγει λιγότερους ρύπους σε σχέση με την ισοδύναμή της αμιγώς οδική. Αντίθετα, η συνδυασμένη μεταφορά ελαφριών εμπορευματοκιβωτίων (μέσου ωφέλιμου φορτίου 4t/TEU) και συνήθους μίξης ελαφριών, μεσαίου βάρους και βαριών εμπορευματοκιβωτίων (μέσου ωφέλιμου φορτίου 7,5 t/TEU) δεν είναι περιβαλλοντικά φιλικότερη επιλογή έναντι της ισοδύναμης οδικής. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να ανατραπεί (δηλαδή η

σιδηροδρομική συνδυασμένη μεταφορά να παράγει λιγότερους ρύπους της ισοδύναμης οδικής), για συνήθη μίξη ελαφριών, μεσαίου βάρους και βαριών εμπορευματοκιβωτίων, αν χρησιμοποιηθεί κατάλληλο τροχαίο υλικό. Συμπεραίνεται, επομένως, ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος του φορτίου προς το συνολικό βάρος ενός σιδηροδρομικού συρμού συνδυασμένης μεταφοράς τόσο λιγότεροι είναι οι παραγόμενοι ρύποι από τη συγκεκριμένη συνδυασμένη μεταφορά. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί και με αυτά που προκύπτουν από αντίστοιχες εργασίες που υπάρχουν στην ευρωπαϊκή βιβλιογραφία [93].

Το φαινομενικά παράδοξο ότι η συνδυασμένη μεταφορά είναι περισσότερο ρυπογόνα σε σχέση με την ισοδύναμή της οδική στη γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης δικαιολογείται πλήρως από τα ελληνικά σημερινά δεδομένα και τις παραδοχές που έγιναν στην παρούσα διερεύνηση. Οι λόγοι είναι συνοπτικά οι εξής:

- Το ελληνικό δίκτυο στο τμήμα της διαδρομής Αθήνα - Δομοκός παρουσιάζει αρκετά **μεγάλες κλίσεις**, που όπως διαπιστώθηκε, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση καυσίμου και επομένως και την ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων. Για παράδειγμα ένας τυπικός συρμός με μικτή ελκόμενη μάζα περίπου 1000t έχει 21% μικρότερη κατανάλωση καυσίμου αν τα τμήματα της εξεταζόμενης διαδρομής με κλίση μεγαλύτερη του 15‰ αντικατασταθούν με τμήματα ίσου μήκους και σταθερής κλίσης ίσης με 15‰.
- Στο μήκος της διαδρομής που ο σιδηροδρομικός συρμός κινείται με ηλεκτροκίνηση (Δομοκός – Θεσσαλονίκη), οι ρύποι είναι αυξημένοι, σε σχέση με άλλες χώρες, λόγω του **αυξημένου συντελεστή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της Ελλάδας**. Ο λόγος που οδηγεί στον αυξημένο αυτό συντελεστή είναι ο τρόπος με τον οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα. Σχεδόν το 46% του ηλεκτρικού ρεύματος παράγεται με καύση λιγνίτη και ένα 24% με καύση φυσικού αερίου. Χώρες με τρόπους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας παρόμοιους με αυτούς της Ελλάδας (Τσεχία, Πολωνία, κ.α.) παρουσιάζουν αντίστοιχα αποτελέσματα στη σύγκριση των συνδυασμένων και των οδικών μεταφορών. Αν οι υπολογισμοί γίνονταν για έναν τυπικό συρμό μικτής ελκόμενης μάζας 1000 t χρησιμοποιώντας το συντελεστή εκπομπών ρύπων για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας οι ρύποι θα μειώνονταν κατά περίπου 11% [93], [119].

- Βάσει των παραδοχών που έχουν γίνει, η **συνολική απόσταση της συνδυασμένης μεταφοράς είναι αυξημένη κατά 50 km** έναντι της ισοδύναμης της οδικής λόγω των περιορισμένων κόμβων του ελληνικού σιδηροδρομικού δικτύου που δεν επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση των αποστάσεων του σιδηροδρομικού και οδικού τμήματος της συνδυασμένης μεταφοράς.
- Το **μοντέλο**, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διερεύνηση, για τον υπολογισμό της κατανάλωσης και των ρύπων **της οδικής μεταφοράς δεν έχει τον ίδιο βαθμό ακρίβειας με το αντίστοιχο** για τον υπολογισμό της **σιδηροδρομικής μεταφοράς** αφού η παράμετρος της ταχύτητας δε λαμβάνεται καθόλου υπόψη στους υπολογισμούς ενώ η παράμετρος της κλίσης του εδάφους λαμβάνεται υπόψη προσεγγιστικά.

Περαιτέρω βελτιώσεις θα μπορούσαν να επιτευχθούν είτε πραγματοποιώντας βελτιώσεις στη χάραξη της σιδηροδρομικής γραμμής είτε συρρικνώνοντας το μερίδιο του λιγνίτη και αυξάνοντας εκείνο του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο τελικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ή μειώνοντας τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας αποδοτικότερα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής, κτλ.

Τέλος, αν στην προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση εισαχθούν τιμές που αντικατοπτρίζουν συνθήκες σχεδιασμού και λειτουργίας προηγμένων ευρωπαϊκών χωρών (ηλεκτροκίνηση, κατάλληλο τροχαίο υλικό, ευνοϊκό προφίλ κλίσεων, μικρότερο συντελεστή εκπομπών ρύπων για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας) τα αποτελέσματα δίνουν καθαρή υπεροχή στις σιδηροδρομικές συνδυασμένες μεταφορές έναντι των ισοδύναμων τους οδικών. Η διαφορά των συνολικών ρύπων της συνδυασμένης μεταφοράς με την εφαρμογή των ελληνικών και των ευρωπαϊκών δεδομένων μπορεί να φτάνει έως και 50%.

7. Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα

Σαν συνέχεια αυτής της εργασίας, μπορούν να γίνουν αναλύσεις σεναρίων φορτίων βασισμένων σε πραγματικές συνθέσεις συρμών, στις οποίες να λαμβάνεται υπόψη και η διακίνηση κενών εμπορευματοκιβωτίων. Στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά σενάρια φορτίων της γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης επειδή το καθημερινό εμπορευματικό δρομολόγιο (ICS) της ΤΡΑΙΝΟΣΕ είναι σε πολύ πρώιμη φάση λειτουργίας και τα στοιχεία αυτή τη στιγμή συλλέγονται.

Ακόμη, ενδιαφέρον θα είχε η διερεύνηση της επιρροής των υπόλοιπων τύπων μεταφερόμενων μονάδων (ημι-ρυμουλκούμενα, ανταλλασσόμενα αμαξώματα) στους παραγόμενους ρύπους.

Θα μπορούσε ακόμα να επιχειρηθεί η επαλήθευση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας και των παραγόμενων ρύπων με μετρήσεις πεδίου.

Η παρούσα μεθοδολογία και ανάλυση θα μπορούσε να γίνει χρησιμοποιώντας για την οδική μεταφορά ένα μοντέλο πιο ακριβές, που να λαμβάνει υπόψη του την ταχύτητα και αναλυτικότερα την κλίση, ώστε να επιτευχθεί ο ίδιος βαθμός ανάλυσης των οδικών και των σιδηροδρομικών συνδυασμένων μεταφορών και η σύγκριση να είναι πιο ακριβής.

Τέλος, θα μπορούσε, με έναυσμα την παρούσα εργασία, να πραγματοποιηθεί μια οικονομικοτεχνική μελέτη που να λαμβάνει υπόψη της το κοινωνικό αλλά και το λειτουργικό κόστος των σιδηροδρομικών συνδυασμένων και των οδικών μεταφορών.

Βιβλιογραφία

- [1] European Commission, 2009. Panorama of Transport, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DA-09-001/EN/KS-DA-09-001-EN.PDF
- [2] Τσαμπούλας, Δ., 2010. Ο Αναπτυξιακός Ρόλος των Μεταφορών για την Ελλάδα. 12η Πανελλήνια Επιμελητηριακή Συνδιάσκεψη Μεταφορών με Θέμα «Μεταφορές – Μοχλός ανάπτυξης της Ελληνικής Οικονομίας και της Περιφέρειας: Προβληματισμοί και προκλήσεις», Κέρκυρα: 26 Ιουνίου 2010.
- [3] Μπαλλής, Θ., 2012. Ανάπτυξη εφαρμογής εύρεσης βέλτιστης διαδρομής σε περιβάλλον GIS – Εφαρμογή στο ευρωπαϊκό δίκτυο συνδυασμένων μεταφορών. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [4] European Commission, 2012. EU transport in figures (Statistical pocketbook 2012), Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/doc/2012/pocketbook2012.pdf>
- [5] Λυμπέρης, Κ., 2011. Σιδηροδρομική: Θεωρία και Εφαρμογές. Αθήνα, Συμμετρία
- [6] Πυργίδης, Χ., 2009. Συστήματα Σιδηροδρομικών Μεταφορών. Θεσσαλονίκη, ΖΗΤΗ.
- [7] Stathopoulos, A., Argyrakos, G., 1993. Control strategies for reducing environmental pollution from road traffic, *The science of the Total Environment* (134): 315-324.
- [8] International Energy Agency, 2012. Railway Handbook 2012: Energy Consumption and CO2 Emissions. Διαθέσιμο στη σελίδα: http://www.uic.org/com/IMG/pdf/iea-uic_2012final-lr.pdf.
- [9] Mitrovich, S., 2003. Περιβάλλον, ενέργεια και μεταφορές. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.eu-portal.net/material/downloadarea/kt5_wm_gr.pdf
- [10] Γραφικό σύμβολο του αποτυπώματος άνθρακα. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.impact sustainability.com.au/carbon-footprint-calculator/>
- [11] Γκόλιας, Ι., 2008. Μεταφορές και περιβάλλον: Κρίσιμα προβλήματα. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.greenbelt.gr/gr/solutions.php?action=view&id=17> .

- [12] Hanssen, T., Mathisen, T., Jørgensen, F., 2012. Generalized Transport Costs in Intermodal Freight Transport, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, (54): 189-200.
- [13] European Conference of Ministers of Transport (ECMT), United Nations, 2001. Terminology on combined transport.
- [14] Vasiliauskas, V.; Barysienė, J., 2008. An economic evaluation model of the logistic system based on container transportation. *Transport* 23(4): 311–315.
- [15] European Commission, 2010. European transport policy for 2010: time to decide, Luxembourg. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf.
- [16] Ballis, A., Golias, J., 2004. Towards the improvement of a combined transport chain performance. *European Journal of Operational Research*, 2(152):420-436.
- [17] Janic M., 2007. Modeling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research, Part D* (12): 33–44.
- [18] Τσιλιμπάρη, Ε., Αδαμόπουλος, Α., 2013. Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2012. ΥΠΕΚΑ. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=xYIP1FO6rlg%3D&tabid=490&language=el-GR>
- [19] Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαρίδου, Μ., Σουλακέλλης, Ν., 2000. Ατμοσφαιρική ρύπανση. Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, σελ. 1-53.
- [20] Μελάς, Δ., Ασωνίτης, Γ., Αμοιρίδης, Β, 2000. Κλιματική αλλαγή [Οδηγός εκπαιδευτικών]. Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, σελ. 1-41.
- [21] ΥΠΕΚΑ, 2014. Κλιματική αλλαγή > Διεθνείς διαπραγματεύσεις > Πρωτόκολλο του Κυότο. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.ypeka.gr/?tabid=443>
- [22] Κρεββαθιανάκη, Ε., 2012. Ρύπανση– Κλιματικές αλλαγές –Γεωργία. Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.
- [23] Ζάνης, Π., 2008. Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

- [24] Βαλαβανίδης, Α., Ευσταθίου, Κ., 2014. Όζον. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm.
- [25] European Environment Agency, 2012a. The contribution of transport to air quality, TERM 2012: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-air-quality-term-2012>
- [26] Βαλαβανίδης, Α., Ευσταθίου, Κ., 2014. Εξαφθοριούχο θείο. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_sf6.htm.
- [27] European Environment Agency, 2012b. Air quality in Europe — 2012 report. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Union. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2012>
- [28] Βαλαβανίδης, Α., Ευσταθίου, Κ., 2014. Μεθάνιο. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_CH4.htm
- [29] Βαλαβανίδης, Α., Ευσταθίου, Κ., 2014. Βενζο(α)πυρένιο. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_benzopyrene.htm
- [30] Βαλαβανίδης, Α., Ευσταθίου, Κ., 2014. Βενζόλιο. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_benzene.htm
- [31] Wikipedia, 2014. Αριθμός οκτανίων> Αντικροτικά πρόσθετα. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://goo.gl/Lpblq7>
- [32] World Health Organization, 2014. Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012: Summary of results. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf?ua=1
- [33] US Environmental Protection Agency, 2014. Glossary of Climate Change Terms. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.epa.gov/climatechange/glossary.html>
- [34] Auger, S., 2014. Carbon Footprint Versus Ecological Footprint. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://ezinearticles.com/?Carbon-Footprint-Versus-Ecological-Footprint&id=1501837>

- [35] CENEX, 2011. Fleet Carbon Reduction guidance. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.cofret-project.eu/downloads/pdf/Cenex+Fleet+Carbon+Reduction+Guidance.pdf>
- [36] Auvinen, H., Mäkelä, K., Lischke, A., Burmeister, A., De Ree, D., Ton, J., 2011. Existing methods and tools for calculation of carbon footprint of transport and logistics, Deliverable of the project COFRET.
- [37] European Committee for Standardization, 2012. Methodology for calculation and declaration on energy consumptions and GHG emissions in transport services (freight and passengers transport). Working Draft. Brussels.
- [38] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [39] Schmied, M., Knörr, W., 2012. Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services in accordance with EN 16258-Terms, Methods, Examples. European Association for forwarding, transport, logistics and customs services (CLECAT).
- [40] DEFRA, CILT, DfT, FTA, IGD, RHA, Rail Freight Group, Food Storage and Distribution Federation, Freight by Water, 2010. Guidance on Measuring and Reporting Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Freight Transport Operations. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/218574/ghg-freight-guide.pdf.
- [41] Ricardo-AEA, 2010. Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting (excel spreadsheet), Version 1.2.1(final). Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://archive.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/101006-guidelines-ghg-conversion-factors.xls>
- [42] Low Carbon Transport Steering Group, 2013. Scope 3 Third party Road Freight CO₂ emissions pilot model (excel spreadsheet), version 1 (Final). Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/218576/lct-steering-group-carbon-em.xls
- [43] Böhm, T., 2012. Calculation tools for the documentation of the environmental performance of freight transport alternatives: a comparative analysis. Master's degree thesis, Molde University College.

- [44] IFEU Heidelberg, Öko-Institut, IVE & RMCN, 2010. EcoTransIT World. Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports. Methodology and Data. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.ecotransit.org/download/ecotransit_background_report.pdf
- [45] The GHG Protocol Initiative, 2013. Calculation tools>All Tools >Downloads. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>
- [46] World Resources Institute, 2008. GHG Protocol tool for mobile combustion, Version 2.2.
- [47] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2011. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Greenhouse Gas Protocol.
- [48] The GHG Protocol Initiative, 2013. Mobile Combustion GHG Emissions Calculation Tool, Version 2.3. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Transport_Tool_v2%205-1_0.xlsm
- [49] Connekt, 2010. CO₂ in perspective: a guide to calculating CO₂ and other emissions of logistics. Διαθέσιμο στη ιστοσελίδα: <http://issuu.com/sdcom/docs/co2inperspective>
- [50] Walsh, C., Carroll, S., Speers, P., & Porter, B., 2011. Comparison of Low Carbon Vehicle Technologies in Fleet Use Using the Cenex Fleet Carbon Reduction Tool. Cenex Fleet Carbon Reduction. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.cenex.co.uk/wp-content/uploads/2014/02/2011-05-Cenex-fleet-carbon-reduction-tool-technology-comparison.pdf>
- [51] ADEME, 2010. Bilan Carbone:Methodology guide (version 6.1), Paris.
- [52] Mäkelä, K., Auvinen, H., 2010. LIPASTO website - a calculation system for traffic exhaust emissions and energy consumption in Finland. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://lipasto.vtt.fi>.
- [53] Network for Transport and Environment, 2010. NTM Calc website. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.ntmcalc.se/index.html>.
- [54] INFRAS, 2014. Handbook of Emission Factors for Road Transport. Διαθέσιμο στη ιστοσελίδα: <http://www.hbefa.net/e/index.html> .
- [55] Joint Research Centre, Eucar & Concawe, 2007. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Well-to-wheels report, Version 2c.

- [56] Joint Research Centre, Eucar & Concawe, 2008. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Tank-to-wheels report, Version 3.
- [57] Joint Research Centre (JEC), 2014. Well-to-wheels analyses (WTW). Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/jec-well-wheels-analyses-wtw>.
- [58] Vestlandsforskning, 2010. Transport, energy og miljø, transport emission database. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://transport.vestforsk.no/>.
- [59] IFEU Heidelberg , 2006. TREMOD: Transport Emission Model, Energy Consumption and Emissions of Transport in Germany 1960-2030, Final Report – Summary, Dessau, UFOPLAN Nr. 204 45 139.
- [60] IFEU Heidelberg, 2012. TREMOD - Transport Emission Model. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://www.ifeu.de/english/index.php?bereich=ver&seite=projekt_tremod
- [61] Ligterink, N. et al., 2009. Refined vehicle and driving-behaviour dependencies in the Versit + emission model.
- [62] US Environmental Protection Agency, 2011. SmartWay Transport Overview. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.epa.gov/smartway/>
- [63] Hannappel, B., Martinez A. D., Van Schaik, C., Horowitz, P., 2012. SmartWay Europe Initiative, COFRET Workshop, Berlin: 19 January 2012. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.cofret-project.eu/downloads/pdf/120119_SWEP_COFRET_v6_sent.pdf.
- [64] Μπασέτας, Ε., 2012. Εμπορευματικές Σιδηροδρομικές Μεταφορές: Ανάπτυξη αλγορίθμων φόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων σε συρμό. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [65] Βλάχος, Γ., Νικολαΐδης, Μ., 1999. Βασικές Αρχές της Ναυτιλιακής Επιστήμης, Τόμος Α'. Πειραιάς, Εκδόσεις ΤΖΕΪ & ΤΖΕΪ.
- [66] Σαμπράκος, Ε., 2005. Σημειώσεις Συνδυασμένων Μεταφορών, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- [67] Αμπακούμιν, Κ. 1990. Μοναδοποιημένα Φορτία - Συνδυασμένες Μεταφορές Εμπορευμάτων. Αθήνα, Συμμετρία.

- [68] International Union of combined road-rail transport companies, 2011. Statistics 2011. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.uirr.com/media-centre/annual-reports/statistics/mediacentre/517-uirr-statistics-2011.html>
- [69] Sid'Ahmed, O. (UNECE), Barreto, M. (ITF), Strelow, H. (Eurostat), 2009. Glossary for Transport Statistics, fourth edition. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp6/pdfdocs/glossen4.pdf>
- [70] Αντωνοπούλου, Δ., 2010. Συγκριτική Αξιολόγηση Συστημάτων Διακίνησης Εμπορευματοκιβωτίων σε Λιμενικές Εγκαταστάσεις. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [71] BMT Surveys, 2014. Container handbook. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.cargohandbook.com/index.php/Containers_%28freight%29
- [72] C. Martin Taylor & Co., Inc., 2014. Equipment specification. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://cmartintaylor.com/public_html/equipment_specs.htm.
- [73] Pedersen, J. (LogIT), Lindstad, H. (MARINTEK), Fiedler, R. (BMT-TS), 2005. Intermodal Loading Units, Final Report. Maritime Transport Coordination Platform Project. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://ebookbrowse.net/mtcp-report-intermodal-loading-unit-study-pdf-d42845680>
- [74] Vasiliauskas, V.; Bazaras, D., 2006. Analysis of problems with containers as intermodal loading unit. Transport and Telecommunication 7(2): 232–239.
- [75] Wikipedia, 2014. Swap body. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://en.wikipedia.org/wiki/Swap_body
- [76] Široký, J., 2012. The trends of road trailers systems for railways. Perner's Contacts VII (4) Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://pernerscontacts.upce.cz/28_2012/Siroky.pdf
- [77] Euroimpex, 2014. 20 t truck with 40 ft container. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.euroimpex.lv/en/external-dimensions-of-trucks.html>
- [78] ΟΣΕ, 2009. Γενικός Κανονισμός Κινήσεως, Τόμος Β. Αθήνα, 2009.
- [79] UIC, 2009. 2005 / 2015 Report on Intermodal Rolling Stock in Europe, Report for project DIOMIS (Developing Infrastructure and Operating Models for Intermodal Shift) Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.uic.org/diomis/IMG/pdf/C_DIOMIS_2_wagon_module_final-2.pdf

- [80] Beth, M., 2014. Intermodal Freight Operations> Carrier wagons. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.railway-technical.com/intermo.shtml>
- [81] KombiConsult GmbH, 2013. Good Practice N°12: Efficient intermodal wagons. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.intermodal-cosmos.eu/content/e4/e251/e259/e270/COSMOS_WP1_Good-Practice-Manual_12_Efficient-Intermodal-Wagons_KC-HC_20130430_eng.pdf
- [82] Burg, Mauck, 2007. Public-State of the art report on rolling stock. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.retrack.eu/downloadables/Deliverables/D2.5-Public-State%20of%20the%20art%20report%20on%20rolling%20stock-Final%20V3-Burg-14122007.pdf>
- [83] AAE, 2013. Intermodal Wagons. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.aae.ch/index.cfm?hID=420&sprache=4>
- [84] ΟΣΕ, 2013. Διαθέσιμο τροχαίο υλικό ΟΣΕ προς εκμετάλλευση.
- [85] Carrillo Zanuy, A., Kendra, M., Čamaj, J., Mašek, J., Stolz, S., Márton, P., 2011. Intermodal application of VEL-Wagon (Versatile, Efficient and Longer Wagon for European Transportation), Deliverable report. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.vel-wagon.eu/index.php/downloads>
- [86] International Union of Railways, 1998. Regolamento Internazionale dei Veicoli (RIV).
- [87] ΟΣΕ, 2014. Δήλωση δικτύου 2014
- [88] Αμπακούμκιν, Κ., Λυμπέρης, Κ., 2001. Ειδικά θέματα σιδηροδρομικής, Σημειώσεις κατά την παράδοση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [89] Λυμπέρης, Κ., 2010. Σημειώσεις μαθήματος «Λειτουργία Δικτύων Μέσων Μαζικής Μεταφοράς», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [90] Pacht, J., 2011. Systemtechnik des Schienenverkehrs. Vieweg + Teubner.
- [91] Καρλαύτης, Μ., Λυμπέρης, Κ., 2009. Συστήματα Αστικών Συγκοινωνιών. Αθήνα, Συμμετρία.
- [92] Association of American Railroads, 2013. Freight Railroads Help Reduce Greenhouse Gas Emissions. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.aar.org/keyissues/Documents/Background-Papers/RRs-and-Greenhouse-Gas-emissions.pdf>.

- [93] IFEU, SGKV, 2002. Comparative analysis of energy consumption and CO2 emissions of road transport and combined transport road/rail. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.iru.org/cms-filesystem-action?file=PPP/en_Comparative-study-CO2.pdf
- [94] Lukaszewicz, P.,2001. Energy consumption and running time for trains: Modelling of running resistance and driver behaviour based on full scale testing, Doctoral thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [95] Parajuli, A., 2005. Modeling road and rail freight energy consumption: a comparative analysis, Master's thesis, Queensland University of Technology.
- [96] Nolte, R., Wurtenberger, F., 2003. Evaluation of Energy Efficiency Technologies for Rolling Stock and Train Operation of railways, Final Report. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://goo.gl/FLqjPk>
- [97] International Council on Clean Transportation, DieselNet, 2014a. EU: Locomotives: Emissions. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://transportpolicy.net/index.php?title=EU: Locomotives: Emissions>
- [98] Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., Sorenson,S.,1999. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, Deliverable 22 for the project MEET(Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport).
- [99] Helms, H., Lambrecht, U., Höpfner, U., 2003. Energy savings by light-weighting, Final report. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/fl0000125.pdf
- [100] Den Boer, E., Otten, M., van Essen, H.,2011. Comparison of various transport modes on a EU scale with the STREAM database, Report. STREAM International Freight. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.shortsea.be/html_nl/publicaties/documents/CEdelft-STREAMInternationalFreight2011.pdf
- [101] Altmann, S., Biesenack, H., Eisenhuth, J., Hellige, B., Hoffmann, J., Kahler, P., Kindler,H., Otto, J., Pietzsch, H., Scherz,J., Schlechter, E., Schmidt, P., Sittnik, G., Tischer,H., Zschech, R., 1975. Energieversorgung elektrischer Bahen. Berlin, VEB Verlag Technik.
- [102] Δενδρινός, Α., Λεοντίου, Μ.,2003. Λειτουργικό κόστος οχημάτων. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

- [103] Ζωγραφίδης, Ν., 2007. Ανάπτυξη Προτύπου Υπολογισμού Κόστους Λειτουργίας Βυτιοφόρων Οχημάτων Δ.Χ.. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [104] Coyle, M., 2007. Effects of Payload on the Fuel Consumption of Trucks. Department for Transport (DfT) . Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.scribd.com/doc/130012093/RR5-Effects-of-Payload-on-the-Fuel-Consumption-of-Trucks>
- [105] Goodyear , 2014. Factors Affecting Truck Fuel Economy. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.goodyear.com.jm/tyres/truck/fuel_economy.html
- [106] Περιοδικό ΤΡΟΧΟΙ & ΤΙΡ, 2013. Μέτρα περιορισμού κυκλοφορίας φορτηγών αυτοκινήτων σε τμήματα των Εθνικών Οδών κατά τη διάρκεια του έτους 2013. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://troxoikaitir.gr/periorismoi-kikloforias/ellada-gr>.
- [107] Mitsubishi Fuso Truck and Bus Corporation, 2014b. Technology> Save energy. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.mitsubishi-fuso.com/en/technology/save_energy/index.html?c1.
- [108] Automobile Association, 2014. Home> Driving>Motoring advice> Fuels and environment>Eco-driving advice. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.theaa.com/motoring_advice/fuels-and-environment/drive-smart.html.
- [109] Energy Saving Trust, 2014. Home >Travel>Driving. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.energysavingtrust.org.uk/Travel/Driving>.
- [110] International Council on Clean Transportation, DieselNet, 2014b. EU: Heavy-duty: Emissions. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://transportpolicy.net/index.php?title=EU: Heavy-duty: Emissions>
- [111] Wikipedia, 2014. European emission standards. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards
- [112] Lindqvist, K., 2012. AirClim Factsheet N° 25: Emission standards for light and heavy road vehicles. Air Pollution & Climate Secretariat. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.airclim.org/sites/default/files/documents/Factsheet-emission-standards.pdf>
- [113] European Commission, 2014. Climate Action> Policies> Transport> Road Transport>Reducing CO2 emissions from vehicles. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm

- [114] Truck Editions, 2014. Les normes Euro 6 représentent un défi énorme pour les constructeurs de camions. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.truckeditions.com/Les-normes-Euro-6-representent-un.html#.UtLK2Z6SxTo>
- [115] Pi Innovo, 2014. Engine Emission Control. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.pi-innovo.com/engineering/engine-emission-control>
- [116] Πλεύρης, Ε., 1999. Πρόγραμμα γραμμικής ανάλυσης επίπεδων ραβδωτών φορέων Beam!2D. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://users.civil.ntua.gr/papadrakakis/gr/courses/u_statics_3.html
- [117] Φωτογραφίες διαθέσιμες στην ιστοσελίδα: <http://www.amnizia.org/>
- [118] European Environmental Agency, 2011. CO₂ (g) per kWh in 2009 (electricity only). Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/co2-electricity-g-per-kwh>
- [119] UIRR, Nestear, SGKV, Lugmair, 2003. Combined Transport CO₂ Reduction, Report for project PACT (Pilot Actions for Combined Transport). Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://goo.gl/sAlc99>

Παράρτημα Ι

**Ενδεικτικό Παράδειγμα υπολογισμού κατανάλωσης
ενέργειας σιδηροδρομικού συρμού στη διαδρομή
Αθηνών-Θεσσαλονίκης με το Προτεινόμενο
Αναλυτικό Μοντέλο**

Παράρτημα II

Υπολογισμοί διαγραμμάτων αναλύσεων διερεύνησης

Συγκεντρωτική εικόνα των παραμέτρων και των παραδοχών για το σύνολο των σεναρίων που διερευνήθηκαν

Δ	Υ	Ε	Φ	Μ	Σ	Α	Ρ	ΑΦ	Κ	Τ
1	WTW	E1	Φ1	M1	Σ2	A1	P1	AΦ1+AΦ2	K1	T1
2	WTW	E1	Φ3	M1	Σ2	A1	P1	AΦ1+AΦ2	K1	T1
3	TTW	E1 + E2	Φ2	M1	Σ1 + Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
4	WTW	E1 + E2	Φ1	M1	Σ1 + Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
5	WTW	E1 + E2	Φ2	M1	Σ1 + Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
6	WTW	E1 + E2	Φ3	M1	Σ1 + Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
7	WTW	E1+E2	Φ1+Φ2+Φ3	M1	Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
8	WTW	E1 + E2	Φ1	M1	Σ2	A1	P1+P2	AΦ1	K1	T1
9	WTW	E2 + E3	Φ1	M1	Σ1 + Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
10	WTW	E2 + E3	Φ2	M1	Σ1 + Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
11	WTW	E2 + E3	Φ3	M1	Σ1 + Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
12	WTW	E1 + E2	Φ1	M1	Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1+T2
13	WTW	E3	Φ1	M1+M2	Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
14	WTW	E3	Φ2	M1+M2	Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
15	WTW	E3	Φ3	M1+M2	Σ2	A1	P1	AΦ1	K1	T1
16	WTW	E3	Φ1	M1+M2+M3	Σ2	A1	P1	AΦ1	K1+K2	T1
17	WTW	E3	Φ1	M1+M2+M3	Σ2	A1	P1	AΦ1	K1+K3	T1
18	WTW	E3	Φ1	M1+M2+M3	Σ2	A1	P1	AΦ1	K4+K5	T1
19	WTW	E1 + E2	Φ1	M1	Σ2	A1+A2+A3	P1	AΦ1	K1	T1
20	WTW	E1 + E2	Φ1	M1	Σ2	A1+A2	P1+P2	AΦ1	K1+K2	T1+T2

Υπόμνημα:

Δ: Αριθμός Διαγράμματος	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
Υ: Είδος ρύπων που υπολογίζονται	TTW: Tank-to-wheels
	WTW: Well-to-wheels
Ε: Είδη μεταφορών που μελετώνται	E1: Συνδυασμένη μεταφορά
	E2: Αμγώς οδική μεταφορά
	E3: Σιδηροδρομική μεταφορά
Φ: Σενάριο φορτίων	Φ1: Συνήθης μίξη φορτίων
	Φ2: Μόνο ελεφριά φορτία
	Φ3: Μόνο βαριά και πολύ βαριά φορτία
Μ: Μεταβλητές διαγράμματος	M1: Καθαρό Βάρος εμπορευμάτων [t]
	M2: Μέση ταχύτητα κίνησης σιδηροδρομικού συρμού [km/h]
	M3: Προφίλ κλίσεων
Σ: Σιδηροδρομικό μοντέλο που χρησιμοποιείται	Σ1: Μοντέλο IFEU&SGKV
	Σ2: Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο
Α: Απόσταση κάθε συστήματος έλξης του σιδηροδρομικού τμήματός	A1: 277,60 Km ντηζελοκίνησης και 232,33 Km ηλεκτροκίνησης
	A2: 509,93 Km ηλεκτροκίνησης
	A3: 509,93 Km ντηζελοκίνησης
Ρ: Συντελεστής εκπομπών ρύπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	P1: Συντελεστής Ελλάδος
	P2: Συντελεστής Γερμανίας
ΑΦ: Χρήση αλγορίθμου φόρτωσης	AΦ1: Με χρήση αλγορίθμου φόρτωσης
	AΦ2: Χωρίς χρήση αλγορίθμου φόρτωσης
Κ: Προφίλ κλίσεων διαδρομής	K1: Υφιστάμενες κλίσεις
	K2: Κλίση 15% στα τμήματα με κλίση άνω του 15%
	K3: Κλίση 0% στα τμήματα με κλίση άνω του 15%
	K4: Σταθερή κλίση 0% σε όλη τη διαδρομή
	K5: Σταθερή κλίση 5% σε όλη τη διαδρομή
Τ: Χρησιμοποιούμενο τροχαίο υλικό	T1: Φορτάμαξα Rgss
	T2: Φορτάμαξες Lgns και Sgns

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 1

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός με αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
E[Wh/t*km]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1640,9	2254,3	2829,5	3507,3	4583,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Νηξελοκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [lit/t*km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [lit]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός χωρίς αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια						
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)
Ηλεκτροκίνηση							
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/t*km]	15,0	14,3	14,1	13,9	13,8	14,1	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1600,8	2226,8	2813,6	3505,4	4530,3	5106,2
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1568,8	2182,2	2757,4	3435,2	4439,6	5004,0
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Νηξελοκίνηση							
Σταθμισμένη κατανάλωση [lit/t*km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090	0,0090
Συνολική κατανάλωση [lit]	796,3	1321,4	1812,2	2272,3	3150,8	3684,5	4136,0
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4189,0	5744,7	7203,2	9988,1	11679,9	13111,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3356,5	4603,0	5771,6	8003,1	9358,7	10505,5

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια						
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)
Συνολική κατανάλωση [lit]	95,9	212,7	306,1	402,0	515,2	632,8	727,9
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5	1943,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	310,7	689,1	991,9	1302,6	1669,2	2050,1	2358,3

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για τον υπολογισμό με αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3747,4	6701,7	9173,7	11518,0	15347,4	18679,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2278,7	4070,8	5566,9	6991,5	9525,1	11341,1

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για τον υπολογισμό χωρίς αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια						
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3747,4	6446,9	8918,9	11263,1	15092,6	18169,7	20473,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2278,7	3924,3	5420,4	6845,1	9378,6	11048,1	12448,9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 2

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός με αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Ηλεκτροκίνηση												
Ε[Wh/t*km]	15,1	14,5	14,2	14,0	13,9	13,9	14,1	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9
Συνολική κατανάλωση [KWh]	874,7	1331,6	1862,2	2319,1	2849,6	3306,6	4181,3	4638,2	5168,8	5625,7	6156,2	6758,7
WTW ρύποι [Kg CO2e]	857,2	1305,0	1824,9	2272,7	2792,6	3240,5	4097,6	4545,5	5065,4	5513,2	6033,1	6623,6
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Νηξελοκίνηση												
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/t*km]	0,0094	0,0092	0,0091	0,0090	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090
Συνολική κατανάλωση [t]	752,2	1110,4	1526,3	1884,6	2300,5	2658,8	3410,9	3769,2	4185,1	4543,4	4959,3	5767,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2384,3	3520,0	4838,5	5974,2	7292,6	8428,3	10812,6	11948,3	13266,8	14402,4	15720,9	18284,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1910,5	2820,5	3876,9	4786,9	5843,3	6753,3	8663,8	9573,7	10630,2	11540,1	12596,6	14650,4

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός χωρίς αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια													
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)	#3(1300)	#3(1400)
Ηλεκτροκίνηση														
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/t*km]	15,3	14,6	14,3	14,1	14,0	13,9	13,8	14,1	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9	13,8
Συνολική κατανάλωση [KWh]	801,1	1258,1	1715,0	2172,0	2629,0	3085,9	3542,9	4344,0	4801,0	5258,0	5714,9	6317,4	6774,4	7231,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	785,1	1232,9	1680,7	2128,6	2576,4	3024,2	3472,1	4257,1	4705,0	5152,8	5600,6	6191,1	6638,9	7086,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Νηξελοκίνηση														
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/t*km]	0,0094	0,0092	0,0091	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0091	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090
Συνολική κατανάλωση [t]	694,5	1052,8	1411,0	1769,3	2127,5	2485,8	3180,3	3538,5	3896,8	4255,0	4613,3	5085,6	5780,1	6138,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2201,6	3337,2	4472,9	5608,6	6744,2	7879,9	10081,5	11217,1	12352,8	13488,5	14624,1	16121,5	18323,1	19458,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1764,0	2674,0	3584,0	4493,9	5403,9	6313,9	8077,9	8987,8	9897,8	10807,8	11717,8	12917,5	14681,6	15591,5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 2 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια													
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)	#3(1300)	#3(1400)
Συνολική κατανάλωση [lt]	82,1	164,1	246,2	328,2	410,3	492,3	574,4	656,4	738,5	820,6	902,6	1004,8	1086,9	1168,9
TTW ρύποι [Kg CO2e]	219,1	438,2	657,3	876,4	1095,4	1314,5	1533,6	1752,7	1971,8	2190,9	2410,0	2682,8	2901,9	3121,0
WTW ρύποι [Kg CO2e]	265,9	531,7	797,6	1063,4	1329,3	1595,2	1861,0	2126,9	2392,8	2658,6	2924,5	3255,6	3521,4	3787,3

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για τον υπολογισμό με αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3507,4	5356,7	7461,0	9310,3	11414,6	13263,9	16771,3	18620,7	20724,9	22574,3	24678,5	28163,3
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2129,6	3258,6	4534,2	5663,2	6938,7	8067,8	10197,4	11326,4	12602,0	13731,0	15006,5	17333,2

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για τον υπολογισμό χωρίς αλγόριθμο φόρτωσης

	Σενάρια													
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)	#3(1300)	#3(1400)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3252,5	5101,9	6951,2	8800,6	10649,9	12499,3	15414,5	17601,2	19450,5	21299,9	23149,2	25568,1	28483,4	30332,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1983,1	3112,2	4241,2	5370,3	6499,3	7628,4	9611,5	10740,6	11869,6	12998,7	14127,7	15600,4	17583,5	18712,5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ 3 ΚΑΙ 5

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
Ηλεκτροκίνηση				
E[Wh/£km]	29,5	23,4	20,6	23,7
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2549,1	3608,4	4389,3	7100,3
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2498,1	3536,2	4301,5	6958,3
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0
Ντηζελοκίνηση				
EC[Wh/£km]	76,6	61,8	54,6	62,5
EC[£/tkm]	0,0077	0,0062	0,0055	0,0063
Συνολική κατανάλωση [t]	882,7	1217,1	1466,4	2397,2
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2798,0	3858,3	4648,6	7599,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2241,9	3091,5	3724,7	6088,9

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
Ηλεκτροκίνηση				
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/£km]	14,6	14,1	13,9	14,1
Συνολική κατανάλωση [KWh]	1256,5	2168,9	2970,1	4226,7
WTW ρύποι [Kg CO2e]	1231,4	2125,5	2910,7	4142,1
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0
Ντηζελοκίνηση				
Σταθμισμένη κατανάλωση [t/£km]	0,0092	0,0091	0,0090	0,0091
Συνολική κατανάλωση [t]	1051,5	1766,8	2395,0	3446,5
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3333,3	5600,8	7592,1	10925,4
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2670,9	4487,7	6083,3	8754,1

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
Συνολική κατανάλωση [t]	143,2	286,5	412,0	555,3
TTW ρύποι [Kg CO2e]	382,5	765,0	1100,2	1482,6
WTW ρύποι [Kg CO2e]	464,1	928,3	1335,0	1799,2

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (σιδ. μετ.: Μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	5760,2	8322,9	10285,1	16356,6
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2624,4	3856,5	4824,9	7571,6

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (σιδ. μετ.: Προτειν. αναλ. μοντέλο)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	5028,8	8654,5	11837,9	16866,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	3053,3	5252,6	7183,4	10236,8

Πίνακας Δ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
Συνολική κατανάλωση [t]	1165,9	2331,8	3353,8	4519,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	3113,0	6225,9	8954,6	12067,6
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3777,5	7555,0	10866,3	14643,8

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 4

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
E[Wh/£km]	33,7	26,1	22,9	20,8	19,0	22,7
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2093,2	3064,7	3743,9	4312,9	4925,2	7565,6
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2051,3	3003,4	3669,0	4226,7	4826,7	7414,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ντηζελοκίνηση						
EC[Wh/£km]	86,1	68,5	60,4	55,2	64,3	60,0
EC[£/tkm]	0,0087	0,0069	0,0061	0,0056	0,0065	0,0061
Συνολική κατανάλωση [l]	741,1	1044,7	1260,3	1442,0	2293,9	2545,3
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2349,3	3311,8	3995,0	4571,1	7271,8	8068,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1882,4	2653,6	3201,1	3662,6	5826,6	6465,1

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/£km]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1640,9	2254,3	2829,5	3507,3	4583,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ντηζελοκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [l/£km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [l]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Συνολική κατανάλωση [l]	95,9	212,7	306,1	402,0	515,2	632,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5
WTW ρύποι [Kg CO2e]	310,7	689,1	991,9	1302,6	1669,2	2050,1

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (σιδ. μετ.: Μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	4711,3	7004,3	8656,0	10100,4	13767,7	17533,0
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2138,4	3221,5	4018,5	4736,1	7202,1	8154,6

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (σιδ. μετ.: Προτειν. αναλ. μοντέλο)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3747,4	6701,7	9173,7	11518,0	15347,4	18679,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2278,7	4070,8	5566,9	6991,5	9525,1	11341,1

Πίνακας Δ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Συνολική κατανάλωση [l]	818,8	1830,9	2612,0	3430,8	4387,7	5408,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2186,2	4888,4	6974,2	9160,4	11715,1	14440,8
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2652,9	5932,0	8463,0	11115,9	14216,1	17523,7

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 6

Πίνακας A1: Σιδηροδρομική μεταφορά (μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Ηλεκτροκίνηση												
E[Wh/£km]	34,6	28,8	25,0	22,8	20,9	19,7	23,8	22,8	21,8	21,0	20,3	19,5
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2007,5	2646,6	3278,2	3763,0	4278,1	4690,5	7052,3	7525,9	8052,0	8487,4	8974,9	9508,0
WTW ρύποι [Kg CO2e]	1967,3	2593,7	3212,7	3687,7	4192,5	4596,7	6911,3	7375,4	7891,0	8317,7	8795,4	9317,9
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Νηζελοκίνηση												
EC[Wh/£km]	88,2	74,9	65,7	60,2	55,5	52,4	62,8	60,2	57,7	55,8	53,9	59,7
EC[l/£km]	0,0089	0,0076	0,0066	0,0061	0,0056	0,0053	0,0063	0,0061	0,0058	0,0056	0,0054	0,0060
Συνολική κατανάλωση [lt]	714,8	913,2	1112,3	1266,3	1430,8	1563,0	2382,0	2532,7	2700,5	2839,7	2995,7	3845,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2265,8	2894,8	3526,0	4014,3	4535,7	4954,6	7550,9	8028,6	8560,6	9001,7	9496,4	12191,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1815,5	2319,5	2825,2	3216,5	3634,3	3969,9	6050,2	6433,0	6859,3	7212,7	7609,1	9768,6

Πίνακας A2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Ηλεκτροκίνηση												
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/£km]	15,1	14,5	14,2	14,0	13,9	13,9	14,1	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9
Συνολική κατανάλωση [KWh]	874,7	1331,6	1862,2	2319,1	2849,6	3306,6	4181,3	4638,2	5168,8	5625,7	6156,2	6758,7
WTW ρύποι [Kg CO2e]	857,2	1305,0	1824,9	2272,7	2792,6	3240,5	4097,6	4545,5	5065,4	5513,2	6033,1	6623,6
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Νηζελοκίνηση												
Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/£km]	0,0094	0,0092	0,0091	0,0090	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090
Συνολική κατανάλωση [lt]	752,2	1110,4	1526,3	1884,6	2300,5	2658,8	3410,9	3769,2	4185,1	4543,4	4959,3	5767,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2384,3	3520,0	4838,5	5974,2	7292,6	8428,3	10812,6	11948,3	13266,8	14402,4	15720,9	18284,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1910,5	2820,5	3876,9	4786,9	5843,3	6753,3	8663,8	9573,7	10630,2	11540,1	12596,6	14650,4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 6 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Συνολική κατανάλωση [lt]	82,1	164,1	246,2	328,2	410,3	492,3	574,4	656,4	738,5	820,6	902,6	1004,8
TTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	219,1	438,2	657,3	876,4	1095,4	1314,5	1533,6	1752,7	1971,8	2190,9	2410,0	2682,8
WTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	265,9	531,7	797,6	1063,4	1329,3	1595,2	1861,0	2126,9	2392,8	2658,6	2924,5	3255,6

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (σιδ. μετ.: Μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
WTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	4499,0	6020,3	7536,2	8765,5	10057,5	11146,5	16323,1	17530,9	18844,3	19978,0	21216,3	24764,9
TTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	2034,6	2757,7	3482,5	4092,9	4729,7	5284,4	7583,8	8185,8	8831,1	9403,6	10019,1	12451,4

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (σιδ. μετ.: Προτειν. αναλ. μοντέλο)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
WTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	3507,4	5356,7	7461,0	9310,3	11414,6	13263,9	16771,3	18620,7	20724,9	22574,3	24678,5	28163,3
TTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	2129,6	3258,6	4534,2	5663,2	6938,7	8067,8	10197,4	11326,4	12602,0	13731,0	15006,5	17333,2

Πίνακας Δ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Συνολική κατανάλωση [lt]	746,6	1493,1	2239,7	2986,3	3732,9	4479,4	5226,0	5972,6	6719,2	7465,7	8212,3	9140,4
TTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	1993,4	3986,7	5980,1	7973,4	9966,8	11960,1	13953,5	15946,8	17940,2	19933,5	21926,9	24404,9
WTW ρύποι [Kg CO _{2e}]	2418,9	4837,8	7256,7	9675,6	12094,5	14513,4	16932,3	19351,2	21770,1	24189,0	26607,9	29614,9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 8

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός με συντελεστές εκπομπών ρύπων της Γερμανίας

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/€km]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	490,6	882,4	1212,3	1521,6	1886,1	2465,0
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0	0	0
Ντηζελοκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [l/€km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [l]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός με συντελεστές εκπομπών ρύπων της Ελλάδας

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/€km]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1640,9	2254,3	2829,5	3507,3	4583,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0	0	0
Ντηζελοκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [l/€km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [l]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Συνολική κατανάλωση [l]	95,9	212,7	306,1	402,0	515,2	632,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5
WTW ρύποι [Kg CO2e]	310,7	689,1	991,9	1302,6	1669,2	2050,1

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς -Υπολογισμός με συντελεστές εκπομπών ρύπων της Γερμανίας

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3325,7	5943,3	8131,7	10210,1	13726,2	16560,6
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2278,7	4070,8	5566,9	6991,5	9525,1	11341,1

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς -Υπολογισμός με συντελεστές εκπομπών ρύπων της Ελλάδας

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3747,4	6701,7	9173,7	11518,0	15347,4	18679,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2278,7	4070,8	5566,9	6991,5	9525,1	11341,1

Πίνακας Δ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Συνολική κατανάλωση [l]	818,8	1830,9	2612,0	3430,8	4387,7	5408,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2186,2	4888,4	6974,2	9160,4	11715,1	14440,8
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2652,9	5932,0	8463,0	11115,9	14216,1	17523,7

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 9

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
E[Wh/t*km]	33,7	26,1	22,9	20,8	19,0	22,7
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2093,2	3064,7	3743,9	4312,9	4925,2	7565,6
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2051,3	3003,4	3669,0	4226,7	4826,7	7414,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Νηξελοκίνηση						
EC[Wh/tkm]	86,1	68,5	60,4	55,2	64,3	60,0
EC[l/tkm]	0,0087	0,0069	0,0061	0,0056	0,0065	0,0061
Συνολική κατανάλωση [lt]	741,1	1044,7	1260,3	1442,0	2293,9	2545,3
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2349,3	3311,8	3995,0	4571,1	7271,8	8068,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1882,4	2653,6	3201,1	3662,6	5826,6	6465,1

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/t*km]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1640,9	2254,3	2829,5	3507,3	4583,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Νηξελοκίνηση						
Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/t*km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [lt]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Β1: Συνολικοί ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς (Μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	4400,6	6315,2	7664,0	8797,7	12098,4	15482,9
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1882,4	2653,6	3201,1	3662,6	5826,6	6465,1

Πίνακας Β2: Συνολικοί ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς (Προτειν. αναλ. μοντέλο)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3436,7	6012,6	8181,8	10215,4	13678,2	16629,3
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Γ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Συνολική κατανάλωση [lt]	818,8	1830,9	2612,0	3430,8	4387,7	5408,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2186,2	4888,4	6974,2	9160,4	11715,1	14440,8
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2652,9	5932,0	8463,0	11115,9	14216,1	17523,7

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 10

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)

Ηλεκτροκίνηση

E[Wh/£km]	29,5	23,4	20,6	23,7
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2549,1	3608,4	4389,3	7100,3
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2498,1	3536,2	4301,5	6958,3
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0

Ντηζελοκίνηση

EC[Wh/£km]	76,6	61,8	54,6	62,5
EC[l/£km]	0,0077	0,0062	0,0055	0,0063
Συνολική κατανάλωση [l]	882,7	1217,1	1466,4	2397,2
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2798,0	3858,3	4648,6	7599,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2241,9	3091,5	3724,7	6088,9

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)

Ηλεκτροκίνηση

Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/£km]	14,6	14,1	13,9	14,1
Συνολική κατανάλωση [KWh]	1256,5	2168,9	2970,1	4226,7
WTW ρύποι [Kg CO2e]	1231,4	2125,5	2910,7	4142,1
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0

Ντηζελοκίνηση

Σταθμισμένη κατανάλωση [l/£km]	0,0092	0,0091	0,0090	0,0091
Συνολική κατανάλωση [l]	1051,5	1766,8	2395,0	3446,5
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3333,3	5600,8	7592,1	10925,4
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2670,9	4487,7	6083,3	8754,1

Πίνακας Β1: Συνολικοί ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς (Μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	5296,1	7394,6	8950,1	14557,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2241,9	3091,5	3724,7	6088,9

Πίνακας Β2: Συνολικοί ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς (Προτειν. αναλ. μοντέλο)

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	4564,7	7726,3	10502,8	15067,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2670,9	4487,7	6083,3	8754,1

Πίνακας Γ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια			
	#2(100)	#2(200)	#2(300)	#2(400)
Συνολική κατανάλωση [l]	1165,9	2331,8	3353,8	4519,7
TTW ρύποι [Kg CO2e]	3113,0	6225,9	8954,6	12067,6
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3777,5	7555,0	10866,3	14643,8

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 11

Πίνακας A1: Σιδηροδρομική μεταφορά (μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Ηλεκτροκίνηση												
E[Wh/t*km]	34,6	28,8	25,0	22,8	20,9	19,7	23,8	22,8	21,8	21,0	20,3	19,5
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2007,5	2646,6	3278,2	3763,0	4278,1	4690,5	7052,3	7525,9	8052,0	8487,4	8974,9	9508,0
WTW ρύποι [Kg CO2e]	1967,3	2593,7	3212,7	3687,7	4192,5	4596,7	6911,3	7375,4	7891,0	8317,7	8795,4	9317,9
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ντηζελokίνηση												
EC[Wh/t*km]	88,2	74,9	65,7	60,2	55,5	52,4	62,8	60,2	57,7	55,8	53,9	59,7
EC[l/t*km]	0,0089	0,0076	0,0066	0,0061	0,0056	0,0053	0,0063	0,0061	0,0058	0,0056	0,0054	0,0060
Συνολική κατανάλωση [lt]	714,8	913,2	1112,3	1266,3	1430,8	1563,0	2382,0	2532,7	2700,5	2839,7	2995,7	3845,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2265,8	2894,8	3526,0	4014,3	4535,7	4954,6	7550,9	8028,6	8560,6	9001,7	9496,4	12191,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1815,5	2319,5	2825,2	3216,5	3634,3	3969,9	6050,2	6433,0	6859,3	7212,7	7609,1	9768,6

Πίνακας A2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Ηλεκτροκίνηση												
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/t*km]	15,1	14,5	14,2	14,0	13,9	13,9	14,1	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9
Συνολική κατανάλωση [KWh]	874,7	1331,6	1862,2	2319,1	2849,6	3306,6	4181,3	4638,2	5168,8	5625,7	6156,2	6758,7
WTW ρύποι [Kg CO2e]	857,2	1305,0	1824,9	2272,7	2792,6	3240,5	4097,6	4545,5	5065,4	5513,2	6033,1	6623,6
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ντηζελokίνηση												
Σταθμισμένη κατανάλωση [l/t*km]	0,0094	0,0092	0,0091	0,0090	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090
Συνολική κατανάλωση [lt]	752,2	1110,4	1526,3	1884,6	2300,5	2658,8	3410,9	3769,2	4185,1	4543,4	4959,3	5767,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2384,3	3520,0	4838,5	5974,2	7292,6	8428,3	10812,6	11948,3	13266,8	14402,4	15720,9	18284,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1910,5	2820,5	3876,9	4786,9	5843,3	6753,3	8663,8	9573,7	10630,2	11540,1	12596,6	14650,4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 11 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Πίνακας Β1: Συνολικοί ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς (Μοντέλο IFEU&SGKV)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
WTW ρύποι [Kg CO ₂ e]	4233,1	5488,5	6738,6	7702,0	8728,2	9551,3	14462,1	15404,1	16451,6	17319,4	18291,8	21509,3
TTW ρύποι [Kg CO ₂ e]	1815,5	2319,5	2825,2	3216,5	3634,3	3969,9	6050,2	6433,0	6859,3	7212,7	7609,1	9768,6

Πίνακας Β2: Συνολικοί ρύποι σιδηροδρομικής μεταφοράς (Προτειν. αναλ. μοντέλο)

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
WTW ρύποι [Kg CO ₂ e]	3241,5	4825,0	6663,4	8246,9	10085,3	11668,8	14910,3	16493,8	18332,1	19915,6	21754,0	24907,7
TTW ρύποι [Kg CO ₂ e]	1910,5	2820,5	3876,9	4786,9	5843,3	6753,3	8663,8	9573,7	10630,2	11540,1	12596,6	14650,4

Πίνακας Γ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια											
	#3(100)	#3(200)	#3(300)	#3(400)	#3(500)	#3(600)	#3(700)	#3(800)	#3(900)	#3(1000)	#3(1100)	#3(1200)
Συνολική κατανάλωση [lt]	746,6	1493,1	2239,7	2986,3	3732,9	4479,4	5226,0	5972,6	6719,2	7465,7	8212,3	9140,4
TTW ρύποι [Kg CO ₂ e]	1993,4	3986,7	5980,1	7973,4	9966,8	11960,1	13953,5	15946,8	17940,2	19933,5	21926,9	24404,9
WTW ρύποι [Kg CO ₂ e]	2418,9	4837,8	7256,7	9675,6	12094,5	14513,4	16932,3	19351,2	21770,1	24189,0	26607,9	29614,9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 12

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός με υφιστάμενο τροχαίο υλικό

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
E[Wh/τ'km]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1640,9	2254,3	2829,5	3507,3	4583,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ντηζελοκίνηση

Σταθμισμένη κατανάλωση [l/τ'km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [l]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Υπολογισμός με βελτιστοποιημένο τροχαίο υλικό

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
Ηλεκτροκίνηση								
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/τ'km]	15,2	14,4	14,2	14,0	13,9	13,8	14,1	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	834,0	1442,7	1907,5	2397,4	2927,9	3574,2	4370,6	4934,0
WTW ρύποι [Kg CO2e]	817,3	1413,9	1869,4	2349,4	2869,3	3502,7	4283,2	4835,3
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ντηζελοκίνηση								
Σταθμισμένη κατανάλωση [l/τ'km]	0,0094	0,0092	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [l]	720,3	1197,5	1561,9	1945,9	2361,9	3204,8	3559,4	4001,1
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2283,2	3796,2	4951,3	6168,6	7487,1	10159,2	11283,2	12683,4
TTW ρύποι [Kg CO2e]	1829,5	3041,7	3967,3	4942,7	5999,1	8140,2	9040,8	10162,7

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
Συνολική κατανάλωση [l]	95,9	212,7	306,1	402,0	515,2	632,8	727,9	841,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5	1943,4	2246,7
WTW ρύποι [Kg CO2e]	310,7	689,1	991,9	1302,6	1669,2	2050,1	2358,3	2726,3

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για τον υπολογισμό με το υφιστάμενο τροχαίο υλικό

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3747,4	6701,7	9173,7	11518,0	15347,4	18679,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2278,7	4070,8	5566,9	6991,5	9525,1	11341,1

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για τον υπολογισμό με το βελτιστοποιημένο τροχαίο υλικό

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3411,2	5899,1	7812,6	9820,6	12025,6	15712,1	17924,8	20245,1
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2085,5	3609,6	4784,7	6016,1	7374,7	9829,7	10984,2	12409,4

Πίνακας Δ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
Συνολική κατανάλωση [l]	818,8	1830,9	2612,0	3430,8	4387,7	5408,5	6218,5	7181,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2186,2	4888,4	6974,2	9160,4	11715,1	14440,8	16603,5	19173,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2652,9	5932,0	8463,0	11115,9	14216,1	17523,7	20148,0	23267,2

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 13

Σενάριο #1(100)

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	14,1	875,0	857,5	0,0091	779,1	2469,7	3327,3
50	14,5	900,3	882,3	0,0092	786,9	2494,4	3376,6
60	15,0	931,0	912,4	0,0093	796,3	2524,4	3436,7
70	15,6	967,2	947,9	0,0095	807,5	2559,7	3507,6
80	16,2	1009,0	988,8	0,0096	820,3	2600,4	3589,2

Σενάριο #1(200)

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,2	1553,1	1522,0	0,0089	1341,8	4253,5	5775,5
50	13,7	1607,7	1575,6	0,0090	1358,6	4306,8	5882,3
60	14,3	1674,4	1640,9	0,0091	1379,1	4371,8	6012,6
70	14,9	1753,0	1718,0	0,0093	1403,3	4448,5	6166,5
80	15,7	1843,7	1806,8	0,0095	1431,2	4537,0	6343,8

Σενάριο #1(300)

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	2124,1	2081,6	0,0088	1815,6	5755,6	7837,2
50	13,5	2203,5	2159,4	0,0089	1840,1	5833,0	7992,4
60	14,0	2300,3	2254,3	0,0090	1869,9	5927,5	8181,8
70	14,7	2414,7	2366,4	0,0092	1905,1	6039,1	8405,5
80	15,5	2546,6	2495,7	0,0094	1945,7	6167,7	8663,4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 13 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #1(400)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	2659,4	2606,3	0,0087	2259,9	7163,8	9770,1
50	13,3	2762,0	2706,7	0,0089	2291,4	7263,8	9970,6
60	13,9	2887,2	2829,5	0,0090	2330,0	7386,0	10215,4
70	14,6	3035,1	2974,4	0,0092	2375,5	7530,2	10504,6
80	15,5	3205,6	3141,5	0,0094	2427,9	7696,6	10838,1

Σενάριο #1(500)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,7	3290,4	3224,6	0,0088	3118,3	9885,2	13109,8
50	13,2	3420,3	3351,9	0,0089	3158,9	10013,8	13365,7
60	13,8	3578,9	3507,3	0,0091	3208,5	10170,9	13678,2
70	14,6	3766,3	3690,9	0,0092	3267,0	10356,3	14047,3
80	15,4	3982,4	3902,7	0,0094	3334,4	10570,1	14472,9

Σενάριο #1(600)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	4318,2	4231,8	0,0088	3689,3	11695,2	15927,0
50	13,4	4479,9	4390,3	0,0089	3739,1	11852,9	16243,3
60	14,0	4677,4	4583,8	0,0090	3799,9	12045,5	16629,3
70	14,7	4910,5	4812,3	0,0092	3871,6	12273,0	17085,3
80	15,5	5179,4	5075,8	0,0094	3954,3	12535,2	17611,0

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 14

Σενάριο #2(100)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,6	1171,9	1148,5	0,0090	1025,5	3250,8	4399,3
50	14,0	1210,1	1185,8	0,0091	1037,2	3288,0	4473,9
60	14,6	1256,5	1231,4	0,0092	1051,5	3333,3	4564,7
70	15,2	1311,3	1285,1	0,0094	1068,4	3386,8	4671,9
80	15,9	1374,5	1347,0	0,0095	1087,8	3448,4	4795,4

Σενάριο #2(200)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	2004,2	1964,1	0,0088	1716,1	5440,2	7404,3
50	13,5	2078,4	2036,8	0,0089	1739,0	5512,5	7549,3
60	14,1	2168,9	2125,5	0,0091	1766,8	5600,8	7726,3
70	14,8	2275,8	2230,3	0,0092	1799,7	5705,0	7935,3
80	15,6	2399,0	2351,0	0,0094	1837,6	5825,3	8176,3

Σενάριο #2(300)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	2735,1	2680,4	0,0087	2322,7	7362,8	10043,2
50	13,3	2840,9	2784,1	0,0088	2355,2	7466,1	10250,2
60	13,9	2970,1	2910,7	0,0090	2395,0	7592,1	10502,8
70	14,6	3122,8	3060,3	0,0092	2441,9	7741,0	10801,3
80	15,5	3298,8	3232,8	0,0094	2496,1	7912,6	11145,4

Σενάριο #2(400)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	3907,0	3828,9	0,0088	3348,2	10613,7	14442,6
50	13,5	4051,0	3969,9	0,0089	3392,5	10754,1	14724,0
60	14,1	4226,7	4142,1	0,0091	3446,5	10925,4	15067,5
70	14,8	4434,1	4345,4	0,0092	3510,33	11127,8	15473,2
80	15,6	4673,3	4579,8	0,0094	3583,9	11361,1	15940,9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 15

Σενάριο #3(100)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	14,2	823,6	807,1	0,0092	736,5	2334,6	3141,7
50	14,6	846,6	829,7	0,0093	743,5	2357,0	3186,7
60	15,1	874,7	857,2	0,0094	752,2	2384,3	3241,5
70	15,7	907,7	889,5	0,0095	762,3	2416,6	3306,1
80	16,3	945,7	926,8	0,0096	774,0	2453,7	3380,5

Σενάριο #3(200)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,5	1240,5	1215,7	0,0090	1082,4	3431,1	4646,7
50	13,9	1281,5	1255,9	0,0091	1095,0	3471,2	4727,1
60	14,5	1331,6	1305,0	0,0092	1110,4	3520,0	4825,0
70	15,1	1390,7	1362,9	0,0093	1128,6	3577,7	4940,6
80	15,9	1458,9	1429,7	0,0095	1149,6	3644,1	5073,8

Σενάριο #3(300)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,1	1724,4	1689,9	0,0088	1484,0	4704,1	6394,0
50	13,6	1786,4	1750,7	0,0089	1503,0	4764,6	6515,3
60	14,2	1862,2	1824,9	0,0091	1526,3	4838,5	6663,4
70	14,9	1951,5	1912,5	0,0093	1553,8	4925,7	6838,2
80	15,7	2054,6	2013,5	0,0094	1585,5	5026,2	7039,7

Σενάριο #3(400)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	2141,2	2098,4	0,0088	1829,9	5800,7	7899,1
50	13,4	2221,3	2176,9	0,0089	1854,5	5878,8	8055,7
60	14,0	2319,1	2272,7	0,0090	1884,6	5974,2	8246,9
70	14,7	2434,6	2385,9	0,0092	1920,1	6086,8	8472,7
80	15,5	2567,7	2516,4	0,0094	1961,1	6216,6	8733,0

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 15 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #3(500)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	2625,2	2572,7	0,0087	2231,4	7073,7	9646,4
50	13,3	2726,2	2671,7	0,0089	2262,5	7172,3	9844,0
60	13,9	2849,6	2792,6	0,0090	2300,5	7292,6	10085,3
70	14,6	2995,4	2935,5	0,0092	2345,4	7434,8	10370,2
80	15,5	3163,5	3100,2	0,0094	2397,1	7598,7	10698,9

Σενάριο #3(600)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	3042,0	2981,2	0,0087	2577,4	8170,2	11151,4
50	13,3	3161,1	3097,9	0,0088	2614,0	8286,4	11384,3
60	13,9	3306,6	3240,5	0,0090	2658,8	8428,3	11668,8
70	14,6	3478,4	3408,9	0,0092	2711,6	8595,9	12004,7
80	15,4	3676,6	3603,1	0,0094	2772,6	8789,2	12392,2

Σενάριο #3(700)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	3865,6	3788,3	0,0088	3313,8	10504,8	14293,1
50	13,5	4007,8	3927,6	0,0089	3357,5	10643,4	14571,0
60	14,1	4181,3	4097,6	0,0091	3410,9	10812,6	14910,3
70	14,8	4386,1	4298,4	0,0092	3474,0	11012,4	15310,8
80	15,6	4622,3	4529,9	0,0094	3546,6	11242,8	15772,7

Σενάριο #3(800)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	4282,5	4196,8	0,0088	3659,7	11601,3	15798,2
50	13,4	4442,7	4353,8	0,0089	3709,0	11757,6	16111,4
60	14,0	4638,2	4545,5	0,0090	3769,2	11948,3	16493,8
70	14,7	4869,2	4771,8	0,0092	3840,2	12173,5	16945,3
80	15,5	5135,5	5032,7	0,0094	3922,2	12433,3	17466,0

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 15 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #3(900)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,9	4766,4	4671,1	0,0088	4061,3	12874,3	17545,4
50	13,4	4947,6	4848,6	0,0089	4117,0	13051,0	17899,7
60	14,0	5168,8	5065,4	0,0090	4185,1	13266,8	18332,1
70	14,7	5430,0	5321,4	0,0092	4265,5	13521,5	18842,9
80	15,5	5731,2	5616,6	0,0094	4358,2	13815,4	19431,9

Σενάριο #3(1000)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	5183,3	5079,6	0,0087	4407,2	13970,9	19050,5
50	13,3	5382,5	5274,8	0,0089	4468,5	14165,2	19440,0
60	13,9	5625,7	5513,2	0,0090	4543,4	14402,4	19915,6
70	14,6	5913,0	5794,7	0,0092	4631,8	14682,6	20477,4
80	15,5	6244,3	6119,4	0,0094	4733,7	15005,8	21125,3

Σενάριο #3(1100)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	5667,2	5553,9	0,0087	4808,8	15243,9	20797,8
50	13,3	5887,4	5769,6	0,0088	4876,5	15458,7	21228,3
60	13,9	6156,2	6033,1	0,0090	4959,3	15720,9	21754,0
70	14,6	6473,8	6344,3	0,0092	5057,0	16030,6	22375,0
80	15,4	6840,1	6703,3	0,0094	5169,7	16387,9	23091,1

Σενάριο #3(1200)

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,7	6216,8	6092,5	0,0088	5599,8	17751,2	23843,7
50	13,2	6460,8	6331,6	0,0089	5675,5	17991,2	24322,8
60	13,9	6758,7	6623,6	0,0090	5767,9	18284,2	24907,7
70	14,6	7110,7	6968,5	0,0092	5877,0	18630,1	25598,6
80	15,4	7516,6	7366,3	0,0094	6002,9	19029,1	26395,4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 16

Σενάριο #1(100)-Προφίλ με μέγιστη κλίση 15‰

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελokίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	14,1	875,0	857,5	0,0081	689,4	2185,3	3042,8
50	14,5	900,3	882,3	0,0082	697,1	2209,9	3092,2
60	15,0	931,0	912,4	0,0083	706,6	2239,9	3152,3
70	15,6	967,2	947,9	0,0084	717,8	2275,3	3223,2
80	16,2	1009,0	988,8	0,0086	730,6	2316,0	3304,8

Σενάριο #1(200)-Προφίλ με μέγιστη κλίση 15‰

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελokίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,2	1553,1	1522,0	0,0078	1182,8	3749,4	5271,4
50	13,7	1607,7	1575,6	0,0079	1199,6	3802,7	5378,2
60	14,3	1674,4	1640,9	0,0081	1220,1	3867,7	5508,5
70	14,9	1753,0	1718,0	0,0082	1244,3	3944,4	5662,3
80	15,7	1843,7	1806,8	0,0084	1272,2	4032,8	5839,7

Σενάριο #1(300)-Προφίλ με μέγιστη κλίση 15‰

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελokίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	2124,1	2081,6	0,0077	1598,3	5066,5	7148,1
50	13,5	2203,5	2159,4	0,0078	1622,7	5143,9	7303,3
60	14,0	2300,3	2254,3	0,0080	1652,5	5238,4	7492,7
70	14,7	2414,7	2366,4	0,0082	1687,7	5349,9	7716,4
80	15,5	2546,6	2495,7	0,0084	1728,3	5478,6	7974,3

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 16 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #1(400)-Προφίλ με μέγιστη κλίση 15‰

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	2659,4	2606,3	0,0077	1987,8	6301,3	8907,5
50	13,3	2762,0	2706,7	0,0078	2019,3	6401,3	9108,0
60	13,9	2887,2	2829,5	0,0079	2057,9	6523,4	9352,9
70	14,6	3035,1	2974,4	0,0081	2103,4	6667,7	9642,0
80	15,5	3205,6	3141,5	0,0083	2155,8	6834,0	9975,5

Σενάριο #1(500)-Προφίλ με μέγιστη κλίση 15‰

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,7	3290,4	3224,6	0,0076	2446,9	7756,7	10981,3
50	13,2	3420,3	3351,9	0,0078	2486,9	7883,3	11235,2
60	13,8	3578,9	3507,3	0,0079	2535,7	8038,1	11545,4
70	14,6	3766,3	3690,9	0,0081	2593,3	8220,8	11911,7
80	15,4	3982,4	3902,7	0,0083	2659,8	8431,6	12334,3

Σενάριο #1(600)-Προφίλ με μέγιστη κλίση 15‰

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	4318,2	4231,8	0,0076	2947,6	9343,8	13575,6
50	13,4	4479,9	4390,3	0,0077	2996,7	9499,5	13889,8
60	14,0	4677,4	4583,8	0,0079	3056,7	9689,8	14273,6
70	14,7	4910,5	4812,3	0,0081	3127,6	9914,5	14726,8
80	15,5	5179,4	5075,8	0,0083	3209,4	10173,7	15249,5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 17

Σενάριο #1(100)-Προφίλ με θεώρηση σπράγγων

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	14,1	875,0	857,5	0,0030	255,7	810,6	1668,2
50	14,5	900,3	882,3	0,0031	263,5	835,3	1717,5
60	15,0	931,0	912,4	0,0032	273,0	865,3	1777,6
70	15,6	967,2	947,9	0,0033	284,1	900,6	1848,5
80	16,2	1009,0	988,8	0,0035	296,9	941,3	1930,1

Σενάριο #1(200)-Προφίλ με θεώρηση σπράγγων

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,2	1553,1	1522,0	0,0027	414,2	1313,0	2835,0
50	13,7	1607,7	1575,6	0,0028	431,0	1366,3	2941,8
60	14,3	1674,4	1640,9	0,0030	451,5	1431,3	3072,1
70	14,9	1753,0	1718,0	0,0031	475,7	1508,0	3225,9
80	15,7	1843,7	1806,8	0,0033	503,6	1596,4	3403,3

Σενάριο #1(300)-Προφίλ με θεώρηση σπράγγων

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	2124,1	2081,6	0,0026	547,6	1736,0	3817,6
50	13,5	2203,5	2159,4	0,0028	572,0	1813,4	3972,8
60	14,0	2300,3	2254,3	0,0029	601,9	1907,9	4162,2
70	14,7	2414,7	2366,4	0,0031	637,1	2019,4	4385,9
80	15,5	2546,6	2495,7	0,0033	677,6	2148,1	4643,8

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 17 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #1(400)-Προφίλ με θεώρηση σπράγγων

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,8	2659,4	2606,3	0,0026	672,7	2132,6	4738,8
50	13,3	2762,0	2706,7	0,0027	704,3	2232,6	4939,3
60	13,9	2887,2	2829,5	0,0029	742,8	2354,7	5184,2
70	14,6	3035,1	2974,4	0,0030	788,3	2499,0	5473,3
80	15,5	3205,6	3141,5	0,0032	840,8	2665,3	5806,8

Σενάριο #1(500)-Προφίλ με θεώρηση σπράγγων

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,7	3290,4	3224,6	0,0026	820,2	2600,0	5824,6
50	13,2	3420,3	3351,9	0,0027	860,1	2726,7	6078,5
60	13,8	3578,9	3507,3	0,0028	909,0	2881,4	6388,7
70	14,6	3766,3	3690,9	0,0030	966,6	3064,1	6755,1
80	15,4	3982,4	3902,7	0,0032	1033,1	3274,9	7177,6

Σενάριο #1(600)-Προφίλ με θεώρηση σπράγγων

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Νηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	13,0	4318,2	4231,8	0,0025	981,0	3109,7	7341,5
50	13,4	4479,9	4390,3	0,0027	1030,1	3265,5	7655,8
60	14,0	4677,4	4583,8	0,0028	1090,1	3455,7	8039,5
70	14,7	4910,5	4812,3	0,0030	1161,0	3680,4	8492,8
80	15,5	5179,4	5075,8	0,0032	1242,8	3939,7	9015,5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 18

Σενάριο #1(100)-Σταθερή κλίση 0%

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	12,2	756,9	741,7	0,0035	301,2	954,7	1696,4
50	12,8	794,8	778,9	0,0037	313,5	993,9	1772,8
60	13,5	841,1	824,3	0,0038	328,6	1041,6	1865,9
70	14,4	895,6	877,7	0,0041	346,3	1097,9	1975,6
80	15,4	958,4	939,2	0,0043	366,8	1162,7	2101,9

Σενάριο #1(200)-Σταθερή κλίση 0%

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	10,9	1280,2	1254,6	0,0031	471,6	1495,0	2749,6
50	11,6	1362,4	1335,1	0,0033	498,4	1579,8	2914,9
60	12,5	1462,6	1433,4	0,0035	531,0	1683,3	3116,7
70	13,5	1581,0	1549,3	0,0038	569,5	1805,4	3354,8
80	14,6	1717,4	1683,0	0,0041	614,0	1946,2	3629,3

Σενάριο #1(300)-Σταθερή κλίση 0%

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	10,5	1721,0	1686,6	0,0030	615,1	1950,0	3636,5
50	11,2	1840,3	1803,5	0,0032	654,0	2073,2	3876,7
60	12,1	1986,0	1946,3	0,0034	701,5	2223,6	4169,9
70	13,2	2158,1	2114,9	0,0037	757,5	2401,2	4516,2
80	14,4	2356,5	2309,4	0,0040	822,1	2606,1	4915,4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 18 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #1(400)-Σταθερή κλίση 0‰

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	10,3	2134,2	2091,5	0,0029	749,7	2376,5	4468,0
50	11,0	2288,4	2242,6	0,0031	799,9	2535,7	4778,4
60	11,9	2476,7	2427,2	0,0033	861,3	2730,2	5157,4
70	13,0	2699,2	2645,2	0,0036	933,7	2959,8	5605,0
80	14,3	2955,7	2896,6	0,0039	1017,2	3224,6	6121,2

Σενάριο #1(500)-Σταθερή κλίση 0‰

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	10,1	2621,2	2568,8	0,0028	908,3	2879,3	5448,1
50	10,9	2816,5	2760,2	0,0030	971,9	3080,9	5841,1
60	11,8	3055,1	2994,0	0,0033	1049,6	3327,2	6321,2
70	12,9	3336,9	3270,2	0,0036	1141,4	3618,2	6888,3
80	14,2	3662,0	3588,7	0,0039	1247,2	3953,7	7542,5

Σενάριο #1(600)-Σταθερή κλίση 0‰

Ταχυτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	10,0	3152,3	3089,2	0,0028	1081,2	3427,6	6516,8
50	10,8	3392,4	3324,6	0,0030	1159,5	3675,5	7000,1
60	11,7	3685,8	3612,1	0,0032	1255,0	3978,3	7590,4
70	12,8	4032,4	3951,7	0,0035	1367,9	4336,1	8287,8
80	14,1	4432,1	4343,5	0,0039	1498,0	4748,8	9092,3

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 18 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #1(100) - Σταθερή κλίση 5%

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	26,1	1620,7	1588,3	0,0073	624,5	1979,8	3568,1
50	26,7	1658,7	1625,5	0,0075	636,9	2019,0	3644,5
60	27,4	1704,9	1670,8	0,0076	652,0	2066,8	3737,6
70	28,3	1759,4	1724,2	0,0078	669,7	2123,0	3847,3
80	29,3	1822,2	1785,8	0,0081	690,2	2187,8	3973,6

Σενάριο #1(200) - Σταθερή κλίση 5%

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	24,8	2911,0	2852,8	0,0069	1044,8	3311,9	6164,7
50	25,5	2993,2	2933,3	0,0071	1071,5	3396,7	6330,0
60	26,4	3093,4	3031,6	0,0073	1104,2	3500,2	6531,7
70	27,4	3211,8	3147,5	0,0076	1142,7	3622,3	6769,8
80	28,5	3348,2	3281,2	0,0078	1187,1	3763,1	7044,3

Σενάριο #1(300) - Σταθερή κλίση 5%

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελοκίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	24,4	3997,7	3917,7	0,0068	1398,6	4433,6	8351,3
50	25,1	4117,0	4034,7	0,0070	1437,5	4556,8	8591,5
60	26,0	4262,7	4177,5	0,0072	1484,9	4707,2	8884,7
70	27,1	4434,8	4346,1	0,0075	1541,0	4884,9	9231,0
80	28,3	4633,2	4540,5	0,0078	1605,6	5089,7	9630,2

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 18 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σενάριο #1(400) - Σταθερή κλίση 5%

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελokίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	24,2	5016,3	4916,0	0,0067	1730,4	5485,2	10401,3
50	24,9	5170,6	5067,2	0,0069	1780,6	5644,5	10711,6
60	25,8	5358,9	5251,7	0,0071	1841,9	5838,9	11090,6
70	26,9	5581,4	5469,7	0,0074	1914,4	6068,5	11538,2
80	28,2	5837,9	5721,1	0,0077	1997,9	6333,3	12054,5

Σενάριο #1(500) - Σταθερή κλίση 5%

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελokίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	24,0	6217,0	6092,7	0,0066	2121,4	6724,8	12817,5
50	24,8	6412,4	6284,1	0,0068	2185,0	6926,4	13210,6
60	25,7	6651,0	6517,9	0,0071	2262,7	7172,7	13690,7
70	26,8	6932,8	6794,1	0,0074	2354,5	7463,6	14257,8
80	28,1	7257,8	7112,7	0,0077	2460,3	7799,2	14911,9

Σενάριο #1(600) - Σταθερή κλίση 5%

Ταχύτητα [km/h]	Ηλεκτροκίνηση			Ντηζελokίνηση			Συνολικοί WTW ρύποι [Kg CO2e]
	Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/tkm]	Συνολική κατανάλωση [KWh]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/tkm]	Συνολική κατανάλωση [lt]	WTW ρύποι [Kg CO2e]	
40	23,9	7526,4	7375,9	0,0066	2547,8	8076,5	15452,3
50	24,7	7766,6	7611,2	0,0068	2626,0	8324,4	15935,6
60	25,6	8059,9	7898,7	0,0070	2721,5	8627,2	16526,0
70	26,7	8406,5	8238,4	0,0073	2834,4	8985,0	17223,4
80	28,0	8806,3	8630,1	0,0077	2964,6	9397,7	18027,9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 19

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (ηλεκτροκίνηση σε όλο το μήκος της διαδρομής)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Τμήμα Αθήνα-Δομοκός						
E[Wh/t*km]	33,9	33,2	33,0	33,2	33,1	33,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2514,3	4652,6	6453,3	8967,5	10957,3	13127,1
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2464,0	4559,5	6324,2	8788,2	10738,1	12864,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τμήμα Δομοκός-Θεσσαλονίκη						
EC[Wh/tkm]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1640,9	2254,3	2829,5	3507,3	4583,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (νηζελοκίνηση σε όλο το μήκος της διαδρομής)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Τμήμα Αθήνα-Δομοκός						
Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/t*km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [lt]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6
Τμήμα Δομοκός-Θεσσαλονίκη						
Σταθμισμένη κατανάλωση [lt/t*km]	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0038	0,0038
Συνολική κατανάλωση [lt]	299,3	501,9	672,5	832,5	1021,0	1226,6
WTW ρύποι [Kg CO2e]	948,8	1591,1	2131,9	2638,9	3236,5	3888,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	760,3	1274,9	1708,2	2114,5	2593,3	3115,5

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Συνολική κατανάλωση [lt]	95,9	212,7	306,1	402,0	515,2	632,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5
WTW ρύποι [Kg CO2e]	310,7	689,1	991,9	1302,6	1669,2	2050,1

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (ηλεκτροκίνηση σε όλο το μήκος της διαδρομής)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3687,0	6889,5	9570,4	12920,2	15914,7	19498,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς (νηζελοκίνηση σε όλο το μήκος της διαδρομής)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3783,9	6651,9	9051,3	11327,5	15076,6	17983,9
TTW ρύποι [Kg CO2e]	3039,0	5345,7	7275,1	9106,0	12118,4	14456,5

Πίνακας Δ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Συνολική κατανάλωση [lt]	818,8	1830,9	2612,0	3430,8	4387,7	5408,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2186,2	4888,4	6974,2	9160,4	11715,1	14440,8
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2652,9	5932,0	8463,0	11115,9	14216,1	17523,7

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 20

Πίνακας Α1: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)-Τυπικό σενάριο (σύμφωνα με τα ελληνικά δεδομένα)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
Ηλεκτροκίνηση						
E[Wh/t*km]	15,0	14,3	14,0	13,9	13,8	14,0
Συνολική κατανάλωση [KWh]	931,0	1674,4	2300,3	2887,2	3578,9	4677,4
WTW ρύποι [Kg CO2e]	912,4	1640,9	2254,3	2829,5	3507,3	4583,8
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Νηξελοκίνηση

Σταθμισμένη κατανάλωση [l/t*km]	0,0093	0,0091	0,0090	0,0090	0,0091	0,0090
Συνολική κατανάλωση [l]	796,3	1379,1	1869,9	2330,0	3208,5	3799,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2524,4	4371,8	5927,5	7386,0	10170,9	12045,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2022,7	3502,9	4749,5	5918,1	8149,6	9651,6

Πίνακας Α2: Σιδηροδρομική μεταφορά (Προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο)- Ευνοϊκό σενάριο (σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά δεδομένα)

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
Ηλεκτροκίνηση								
Σταθμισμένη κατανάλωση [Wh/t*km]	23,3	22,6	22,4	22,2	22,5	22,4	22,3	22,2
Συνολική κατανάλωση [KWh]	2815,9	4967,6	6610,4	8341,7	11301,5	13585,9	15184,5	17175,8
WTW ρύποι [Kg CO2e]	1484,0	2617,9	3483,7	4396,1	5955,9	7159,8	8002,2	9051,6
TTW ρύποι [Kg CO2e]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Πίνακας Β: Οδικό τμήμα συνδυασμένης μεταφοράς

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
Συνολική κατανάλωση [l]	95,9	212,7	306,1	402,0	515,2	632,8	727,9	841,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5	1943,4	2246,7
WTW ρύποι [Kg CO2e]	310,7	689,1	991,9	1302,6	1669,2	2050,1	2358,3	2726,3

Πίνακας Γ1: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για το τυπικό σενάριο (σύμφωνα με τα ελληνικά δεδομένα)

	Σενάρια					
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	3747,4	6701,7	9173,7	11518,0	15347,4	18679,5
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2278,7	4070,8	5566,9	6991,5	9525,1	11341,1

Πίνακας Γ2: Συνολικοί ρύποι συνδυασμένης μεταφοράς για το ευνοϊκό σενάριο (σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά)

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
WTW ρύποι [Kg CO2e]	1794,7	3307,0	4475,6	5698,7	7625,1	9209,9	10360,5	11778,0
TTW ρύποι [Kg CO2e]	256,0	567,9	817,4	1073,4	1375,6	1689,5	1943,4	2246,7

Πίνακας Δ: Ισοδύναμη αμιγώς οδική μεταφορά

	Σενάρια							
	#1(100)	#1(200)	#1(300)	#1(400)	#1(500)	#1(600)	#1(700)	#1(800)
Συνολική κατανάλωση [l]	818,8	1830,9	2612,0	3430,8	4387,7	5408,5	6218,5	7181,2
TTW ρύποι [Kg CO2e]	2186,2	4888,4	6974,2	9160,4	11715,1	14440,8	16603,5	19173,9
WTW ρύποι [Kg CO2e]	2652,9	5932,0	8463,0	11115,9	14216,1	17523,7	20148,0	23267,2