



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΩΝ ΟΔΙΚΩΝ – ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ  
ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

υπό

**ΚΕΡΑΣΟΒΙΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

Επιβλέπων

Καθηγητής Ζηλιασκόπουλος Αθανάσιος

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2020

© 2020 Νικόλαος Κερασοβίτης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Αθανάσιο Ζηλιασκόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Επιπλέον, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Γεώργιο Σαχαρίδη και Επίκουρο Λέκτορα κ. Αθανάσιο Λόη, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Επιπρόσθετα, ευχαριστώ θερμά τον κ. Ζήση Δουγαλή, Διευθυντή Διακίνησης της εταιρείας «Αθηναϊκή Ζυθοποιία Α.Ε.», ο οποίος συντέλεσε στην ανάπτυξη και εξέλιξη της ιδέας της διπλωματικής εργασίας μου.

Επίσης, ευχαριστώ την κ. Βασιλική Περιστερά, Διευθύντρια Εμπορευματικών Μεταφορών της «ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε.», και την κ. Παρασκευή Πατσιά, οι οποίες συνέβαλλαν καθοριστικά στην εξέλιξη της διπλωματικής εργασίας μου, καταδεικνύοντάς μου τη λειτουργία των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, Κωνσταντίνο και Σταυρούλα, για την αμέριστη υποστήριξη, ηθική και υλική, αλλά και την αγάπη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Κερασοβίτης Νικόλαος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η αύξηση του κόστους μεταφοράς, καθώς και η ρύπανση του περιβάλλοντος, που συνδέονται με τη χρήση των οδικών μέσων, είναι ορισμένες μόνο από τις αιτίες που οδήγησαν στην ανάγκη εύρεσης νέων μεθόδων εμπορευματικών μεταφορών. Οι διατροπικές μεταφορές, αν και δεν αποτελούν καινοτομία της σύγχρονης εποχής, επαναπροσδιόρισαν τη θέση τους στην αγορά των εμπορευματικών μεταφορών, ξεχωρίζοντας για τους χρόνους μεταφοράς, τους περιβαλλοντικούς ρύπους, αλλά και το κόστος που συνεπάγονται. Ειδικότερα, οι διατροπικές μεταφορές που χρησιμοποιούν τον σιδηρόδρομο ως δεύτερο μέσο μεταφοράς αποτελούν έντονο σημείο ενδιαφέροντος για εμπορευματικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων.

Στο αρχικό μέρος της εργασίας, γίνεται ανάλυση των εμπορευματικών μεταφορών τόσο στην Ελλάδα όσο και στην υπόλοιπη Ευρώπη, εκ των οποίων αναλύονται εκτενέστερα οι σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές. Ακολουθεί μία εκτενής ανάλυση των συνδυασμένων οδικών – σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών, καθώς και των βασικών δομικών τους στοιχείων, όπως είναι τα διατροπικά εμπορευματοκιβώτια και οι διατροπικοί σταθμοί μεταφοράς.

Στο τελευταίο μέρος, γίνεται ανάλυση των βασικών αλλαγών που είναι απαραίτητο να γίνουν στον κλάδο των μεταφορών, όπως και των τεχνολογιών που οφείλουν να ενσωματωθούν σε αυτόν, προκειμένου να γίνει εφικτή η μετάβαση σε μια πιο σύγχρονη και καινοτόμα αλυσίδα μεταφοράς.

# Πίνακας περιεχομένων

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>i</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>ii</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>iv</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>v</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Στόχος και Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	1
1.2. Εμπορευματικές μεταφορές.....	1
1.3. Ορισμός του προβλήματος.....	4
<b>ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ Ο ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ .....</b>	<b>5</b>
2.1. Διατροπικές εμπορευματικές μεταφορές .....	5
2.2. Διατροπικά εμπορευματοκιβώτια.....	8
2.3. Ο σιδηρόδρομος ως μέσο εμπορευματικών μεταφορών .....	12
2.4. Οδική - σιδηροδρομική διατροπική μεταφορά εμπορευμάτων .....	14
2.5. Πλεονεκτήματα.....	18
<b>ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ .....</b>	<b>19</b>
3.1. Ορισμός .....	19
3.2. Δομή .....	21
3.3. Αρχή λειτουργίας.....	23
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ .....</b>	<b>26</b>
4.1. Ανάλυση κόστους .....	26
4.2. Εγχώριες και διεθνείς εμπορευματικές διατροπικές μεταφορές .....	29
4.3. Εξίσωση κόστους οδικών και διατροπικών μεταφορών .....	30
4.4. Περιπτώσεις που οδηγούν στη μείωση του κόστους διατροπικής μεταφοράς .....	32
4.4.1. Αύξηση διανυόμενης απόστασης.....	32
4.4.2. Μείωση ή εξάλειψη First Mile / Last Mile.....	33
<b>ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ .....</b>	<b>36</b>
5.1. Ορισμός .....	36
5.2. Το πολιτικό πλαίσιο.....	37
5.3. Ασφάλεια.....	38
5.4. Οργανωτικές καινοτομίες.....	39
5.5. Τεχνολογικές καινοτομίες .....	41
5.5.1. Αυτοματοποιημένα και ευφυή συστήματα μεταφορών .....	41
5.5.2. Εναλλακτικά καύσιμα και ηλεκτροκίνηση.....	44
<b>ΣΥΝΟΨΗ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ .....</b>	<b>50</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>51</b>

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.</b> Εξέλιξη των οδικών εμπορευματικών μεταφορών στην Ελλάδα κατά τα έτη 2007 – 2015 (εκατομμύρια τονοχιλιόμετρα).....	2
<b>Εικόνα 2.</b> Μεταφερόμενα εμπορευματοκιβώτια μέσω διατροφικής μεταφοράς κατά τα έτη 2005 – 2017 στην Ευρώπη (εκατομμύρια TEUs).....	7
<b>Εικόνα 3.</b> Αυτοκινητάμαξες με αποσπώμενα (α, β) και μη αποσπώμενα (γ, δ) φορτία: (α) αποσπώμενο tank container (αριστερά) και εμπορευματοκιβώτιο ανοιχτής οροφής (δεξιά), (β) διατροφικό εμπορευματοκιβώτιο σε flatcar, (γ) εμπορευματοκιβώτιο για μεταφορά μη τυποποιημένου φορτίου (bulk cargo), (δ) μη αποσπώμενο tank container για μεταφορά υγρού φορτίου.....	9
<b>Εικόνα 4.</b> Χάρτης του σιδηροδρομικού δικτύου της Ελλάδας.....	12
<b>Εικόνα 5.</b> Σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές, Ευρωπαϊκή Ένωση, 2006 – 2017 (Δισεκατομμύρια τονοχιλιόμετρα) .....	14
<b>Εικόνα 6.</b> Διαγραμματική αναπαράσταση συστήματος οδικής - σιδηροδρομικής διατροφικής μεταφοράς.....	15
<b>Εικόνα 7.</b> Εξέλιξη των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών στην Ευρώπη κατά τα έτη 2005 – 2016 .....	17
<b>Εικόνα 8.</b> Χάρτης με ποσοστά διατροφικών μεταφορών στο σύνολο των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών ανά χώρα στην Ευρώπη το έτος 2016 .....	17
<b>Εικόνα 9.</b> Σύστημα «hub – and – spoke», O: Origin, D: Destination .....	21
<b>Εικόνα 10.</b> Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού οδικού – σιδηροδρομικού διατροφικού σταθμού μεταφοράς .....	24
<b>Εικόνα 11.</b> Κάτοψη ενός τυπικού οδικού – σιδηροδρομικού διατροφικού σταθμού μεταφοράς.....	24
<b>Εικόνα 12.</b> Καμπύλες κόστους ανάλογα της επιλεγόμενης μεθόδου μεταφοράς .....	27
<b>Εικόνα 13.</b> Σύγκριση κόστους φορτίου μέσω οδικής και διατροφικής μεταφοράς.....	31
<b>Εικόνα 14.</b> Ηλεκτροκίνηση μέσω ρευματολήπτη μετακινούμενου ηλεκτροκινητήρα για οχήματα βαρέου τύπου από τη Siemens.....	48

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.</b> Μεταφορικό έργο σε τόνους και τονοχιλιόμετρα των οδικών εμπορευματικών μεταφορών, εθνικών και διεθνών, στην Ελλάδα, α' τρίμηνο 2018-2019.....	3
<b>Πίνακας 2.</b> Διατροφικά μεταφερόμενοι όγκοι εμπορευματοκιβωτίων (εκατομμύρια τόνοι).....	7
<b>Πίνακας 3.</b> Μεταβολή στις ασυνόδευτες εγχώριες εμπορευματικές μεταφορές για τα κράτη Γερμανία, Ιταλία και Ηνωμένο Βασίλειο κατά τα έτη 2015 – 2017.....	8
<b>Πίνακας 4.</b> Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθους των κυρίως χρησιμοποιούμενων εμπορευματοκιβωτίων «ξηρού τύπου».....	11
<b>Πίνακας 5.</b> Σύγκριση μεταφερόμενου βάρους και κόστους οδικής και οδικής - σιδηροδρομικής διατροφικής μεταφοράς.....	30



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Στόχος και Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην ανάλυση των διατροπικών εμπορευματικών μεταφορών και, ειδικότερα, σε αυτές που αφορούν στη χρήση οδικού και σιδηροδρομικού μέσου μεταφοράς. Στόχος της είναι η ανάδειξη της βασικής λειτουργικής δομής των διατροπικών εμπορευματικών μεταφορών, καθώς και η εύρεση των σημείων που υπερέχει έναντι των υπολοίπων μεθόδων μεταφοράς, σημειώνοντας, ταυτόχρονα, τα σημεία υστέρησης.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια παρουσίαση των εμπορευματικών μεταφορών στην Ελλάδα και την Ευρώπη.

Στο κεφάλαιο 2 εισάγεται η έννοια των διατροπικών μεταφορών και παρουσιάζεται ο τρόπος στον οποίο μεταφέρονται τα εμπορεύματα. Επιπλέον, ορίζεται ο σιδηρόδρομος ως μέθοδος εμπορευματικών μεταφορών.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται η ανάλυση της οδικής – σιδηροδρομικής μεταφοράς εμπορευμάτων και των πλεονεκτημάτων της.

Στο κεφάλαιο 4 ορίζονται οι σταθμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία των διατροπικών μεταφορών, οι διατροπικοί σταθμοί μεταφοράς.

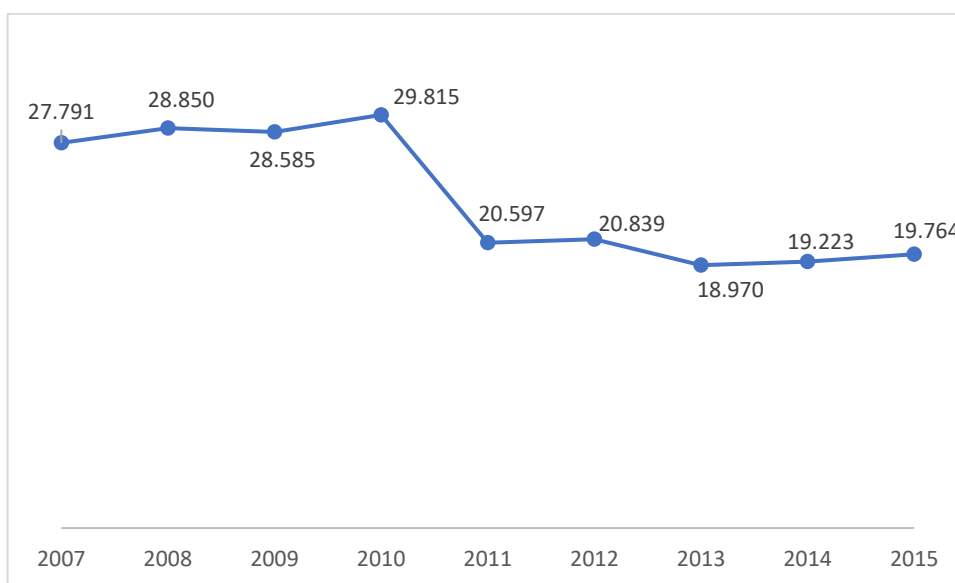
Στο κεφάλαιο 5 γίνεται ανάλυση κόστους της μεθόδου των διατροπικών εμπορευματικών μεταφορών και ερευνώνται τρόποι και διαδικασίες που οδηγούν στην ελαχιστοποίησή του.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για τη μετάβαση στη σύγχρονη αλυσίδα μεταφορών.

### 1.2. Εμπορευματικές μεταφορές

Οι εμπορευματικές μεταφορές αποτελούσαν ανέκαθεν έναν από τους σημαντικότερους τομείς του σύγχρονου επιχειρηματικού κόσμου, καθώς αποτελούν

ζωτικό στοιχείο για τις οικονομίες των κρατών, των επιμέρους περιοχών, των πόλεων και των ίδιων των επιχειρήσεων. Αναλυτικότερα, το χαμηλό κόστος και η αποτελεσματική μεταφορά των εμπορευμάτων κρίνουν σε σημαντικό βαθμό την ανταγωνιστικότητα της κάθε επιχείρησης. Για τον λόγο αυτό, και τα ίδια τα κράτη προσπαθούν να εξασφαλίσουν την ομαλή κυκλοφορία και διακίνηση των αγαθών, μέσω της προσπάθειας ελαχιστοποίησης των μεταφορικών δαπανών.



*Εικόνα 1. Εξέλιξη των οδικών εμπορευματικών μεταφορών στην Ελλάδα κατά τα έτη 2007 – 2015 (εκατομμύρια τονοχιλιόμετρα) [1].*

Τις τελευταίες δεκαετίες ο κλάδος των εμπορευματικών μεταφορών βρίσκεται σε διαρκή ανάπτυξη, κυρίως λόγω των αυξημένων απαιτήσεων των καταναλωτών και της προσπάθειας των επιχειρήσεων να γίνονται περισσότερο ανταγωνιστικές, προσφέροντας γρηγορότερες και οικονομικότερες μεταφορές των προϊόντων τους. Χαρακτηριστικά της σημασίας αυτής είναι πως ο κλάδος των εμπορευματικών μεταφορών στην Ευρώπη γνώρισε σταθερή αύξηση κατά τη δεκαετία του 1990, σημειώνοντας ποσοστό αύξησης 23% έως το έτος 2007. Έπειτα, συνεχίστηκε η ανοδική αυτή πορεία και αξιοσημείωτη είναι η ενίσχυση του κλάδου κατά 2,8% σε ένα μόλις έτος, από το 2015 έως το 2016 [2].

Η κάθε επιχείρηση, αντιλαμβανόμενη τη σημασία των εμπορευματικών μεταφορών, προσπαθεί να επιλέξει την περισσότερο συμφέρουσα για εκείνη λύση, βρίσκοντας τη χρυσή τομή ανάμεσα στην ταχύτητα παράδοσης και τα κόστη. Στη σημερινή εποχή, ο βασικά χρησιμοποιούμενος τρόπος μεταφοράς προϊόντων είναι ο

οδικός, παράλα τα συνεχώς αυξανόμενης έντασης μειονεκτήματα που αυτός συνεπάγεται. Στον Πίνακα 1, γίνεται σύγκριση των εμπορευματικών ποσοτήτων που μεταφέρθηκαν κατά το πρώτο τρίμηνο των ετών 2018 και 2019 στην Ελλάδα μέσω εθνικών, διεθνών, αλλά και συνολικών εμπορευματικών μεταφορών.

Είδη οδικών εμπορευματικών μεταφορών	Βάρος μεταφερθέντων εμπορευμάτων (χιλ. τόνοι)			Τονοχιλιόμετρα (χιλ. τχμ.)		
	2018	2019	Μεταβολή %	2018	2019	Μεταβολή %
Εθνικές	82.502,9	83.708	1,5	3.734.090,8	3.628.909,6	-2,8
Διεθνείς	2.712,9	2.498,5	-7,9	3.395.717,3	3.461.262,6	1,9
Σύνολο	85.215,8	86.206,6	1,2	7.129.808	7.090.172,2	-0,6

*Πίνακας 1. Μεταφορικό έργο σε τόνους και τονοχιλιόμετρα των οδικών εμπορευματικών μεταφορών, εθνικών και διεθνών, στην Ελλάδα, α' τρίμηνο 2018-2019 [3].*

Επιπλέον, κατά την ίδια χρονική περίοδο εμφανίστηκε άνοδος στη μεταφορά εμπορευμάτων σε παλέτες με φορτηγά οδικών εμπορευματικών μεταφορών, της τάξεως του 27,2% [3]. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, οι συνολικά μεταφερόμενοι όγκοι εμπορευμάτων το 2016 ήταν κατά ένα πέμπτο υψηλότεροι σε σχέση με το 2000.

Τα παραπάνω στοιχεία αποδεικνύουν διττός τη σημασία των εμπορευματικών μεταφορών στη χώρα μας. Αρχικά, επιβεβαιώνουν τη θέση που διατυπώθηκε προηγουμένως, δηλαδή πως οι εθνικές οδικές μεταφορές ολοένα και ενδυναμώνουν τη θέση τους στην ελληνική αγορά. Επιπλέον, καταδεικνύουν πως ο κλάδος μεταφορών και logistics αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της ελληνικής οικονομίας. Εξάλλου, σύμφωνα με τον Σύνδεσμο Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών (ΣΕΒ), ο κλάδος παράγει περίπου το 6% του ΑΕΠ της Ελλάδος και προσφέρει το 4,7% των θέσεων εργασίας της χώρας, δηλαδή περιλαμβάνει περίπου 200.000 εργαζομένους. Μάλιστα, συμπεριλαμβάνοντας τις υπηρεσίες logistics που παρέχονται εσωτερικά από αρκετές επιχειρήσεις, ο κλάδος υπολογίζεται ότι παράγει το 9,5% του ΑΕΠ [4].

### 1.3. Ορισμός του προβλήματος

Παρόλη τη συνεχή αύξηση χρήσης του οδικού δικτύου ως αποκλειστικού μέσου εμπορευματικών μεταφορών, αρκετά είναι και τα αρνητικά στοιχεία τα οποία αυτή περιλαμβάνει. Αναλυτικότερα, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι κανονισμοί κυκλοφορίας και στάθμευσης αυτοκινήτων, η ασφάλεια τόσο του εμπορεύματος όσο και του μεταφορέα, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες, αλλά και η καθημερινή αύξηση των τιμών των καυσίμων αποτελούν ορισμένα μόνο από τα ζητήματα αυτά [5]. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μεγάλη τάση για τη μείωση της αποκλειστικής χρήσης οδικών μεταφορών, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι φθορές των οδικών υποδομών που προκύπτουν από τη διαρκή κίνηση, η ζήτηση για τη δημιουργία νέων αυτοκινητοδρόμων, αλλά και τα κόστη μεταφοράς. Εξάλλου, το οδικό δίκτυο εμπεριέχει και μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τους χρόνους παράδοσης, εφόσον η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα πολύ συχνά εμφανιζόμενο πρόβλημα παγκοσμίως, αυξάνοντας, παράλληλα, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Αν και η αναζήτηση οικονομικότερων και φιλικότερων προς το περιβάλλον καυσίμων, η δημιουργία μεγαλύτερων αυτοκινητοδρόμων και η τεχνολογία για την αύξηση της ασφάλειας των προϊόντων παρουσιάζει έξαρση στη σύγχρονη εποχή, τα αρνητικά στοιχεία που συνεπάγονται οι αποκλειστικές οδικές εμπορευματικές μεταφορές δεν παρουσιάζουν καμπή. Για τους λόγους αυτούς, η αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων μεταφοράς κρίνεται αναγκαία. Εξάλλου, η εγκαθίδρυση ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών είναι και ο βασικός στόχος της πολιτικής μεταφορών εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με βάση όλα τα παραπάνω, το ερευνητικό ενδιαφέρον για το μέλλον των εμπορευματικών μεταφορών εστιάζεται στη χρήση των συνδυασμένων ή διατροπικών μεταφορών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ**

### **ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ Ο ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ**

#### **2.1. Διατροφικές εμπορευματικές μεταφορές**

Σύμφωνα με τον νόμο 3333/2005, η διατροφική μεταφορά ορίζεται ως η μεταφορά μοναδοποιημένων φορτίων με χρήση δύο ή περισσότερων μέσων μεταφοράς σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα μεταφορικής αλυσίδας από αποστολέα σε παραλήπτη («πόρτα - πόρτα»). Η εναλλαγή από τον ένα τρόπο στον άλλο γίνεται σε διατροφικό σταθμό μεταφοράς. Σημαντικό είναι, επίσης, και το γεγονός πως κατά την αλλαγή των μεθόδων μεταφοράς δεν πραγματοποιείται κανένας χειρισμός του φορτίου.

Ο όρος αυτός είναι αρκετά γενικός και, έτσι, μπορεί να έχει αρκετές ερμηνείες, όπως: μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με συνδυασμό φορτηγού, σιδηροδρόμου ή πλοίου, αποκλειστική χρήση σιδηροδρομικής μεταφοράς για μεγάλες ποσότητες εμπορευματοκιβωτίων και ρυμουλκούμενων σε μεγάλες αποστάσεις και ούτω καθεξής.

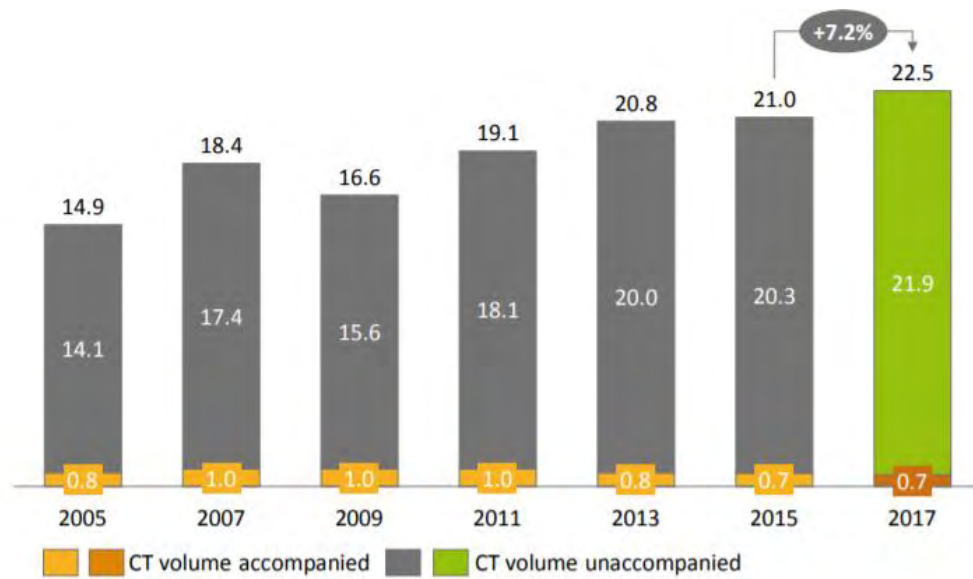
Οι συνηθέστεροι τύποι συνδυασμένων ή διατροφικών μεταφορών είναι ο συνδυασμός του οδικού μέσου (φορτηγό), για την κάλυψη μικρών αποστάσεων (short haul), με θαλάσσιο, σιδηροδρομικό ή αεροπορικό μέσο για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους της διανυόμενης απόστασης (long haul). Ωστόσο, στο παρόν σύγγραμμα θα γίνει αναφορά αποκλειστικά σε διατροφική μεταφορά φορτίων με τη χρήση φορτηγού και σιδηροδρόμου.

Η δομή ενός συστήματος διατροφικής μεταφοράς περιλαμβάνει τρία βασικά μέρη [6]:

- I. Ένα σωστά οργανωμένο δίκτυο συγκέντρωσης και διανομής.
- II. Ένα αυστηρά τηρούμενο σύστημα μακρινών μεταφορών.
- III. Διατροφικούς τερματικούς σταθμούς.

Οι διατροφικές μεταφορές παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον, διεκδικώντας μεγάλο ποσοστό των εμπορευματικών μεταφορών, με ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις και οργανισμούς να τις επιλέγουν για τη μεταφορά των προϊόντων τους, αν και δεν αποτελούν μια καινούργια ανακάλυψη. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται λόγω πληθώρας παραγόντων, οι οποίοι αναμένεται να οδηγήσουν τις επιχειρήσεις που επιλέγουν τις μεταφορές αυτές σε αποδοτικότερες και πιο βιώσιμες λύσεις. Συγκεκριμένα, η εξάλειψη του χειρισμού του φορτίου ελαττώνει τις πιθανότητες φθοράς και απώλειας του εμπορεύματος και, ταυτόχρονα, επιταχύνει τη μεταφορά, εφόσον δεν υπάρχουν καθυστερήσεις στη μεταφόρτωση και την αναδιάταξη του μεταφερόμενου εμπορεύματος. Επίσης, κατά τη διάρκεια των διατροφικών μεταφορών ο χρόνος χρήσης του οδικού μέσου μειώνεται, εφόσον οι αποστάσεις τις οποίες καλούνται να καλύψουν είναι αρκετά μικρότερες. Έτσι, η χρήση του φορτηγού ως οδικό μέσο μειώνεται στο ελάχιστο δυνατό και χρησιμοποιείται για την κάλυψη μικρών αποστάσεων, κυρίως εντός του αστικού ιστού, για την κάλυψη του αρχικού και τελικού, συνήθως, μέρους της μεταφοράς (first / last mile), το οποίο δεν μπορεί να καλύψει άλλο μεταφορικό μη οδικό μέσο. Εξάλλου, κατά τη διατροφική μεταφορά γίνεται αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της κάθε μεθόδου, μέσω της χρησιμοποίησής της σε εκείνο το είδος μεταφοράς που αρμόζει, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους, της συμφόρησης και της καταπόνησης των χρησιμοποιούμενων υποδομών.

Τις τελευταίες δεκαετίες στην Ευρώπη, η διατροφική μεταφορά εμπορευμάτων θεωρείται ένας εν δυνάμει μεγάλος ανταγωνιστής της οδικής μεταφοράς, λόγω των περιβαλλοντικών και όχι μόνο πλεονεκτημάτων της. Σημαντική απόδειξη αποτελεί το γεγονός ότι μόνο κατά τα έτη 2015 – 2017 υπήρξε αύξηση 7,2% των εμπορευματοκιβωτίων που μεταφέρθηκαν στην Ευρώπη με διατροφικές μεταφορές, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2. Μεταφερόμενα εμπορευματοκιβώτια μέσω διατροφικής μεταφοράς κατά τα έτη 2005 – 2017 στην Ευρώπη (εκατομμύρια TEUs) [7]. Ωστόσο, η επέκταση αυτή στη μεταφορική αλυσίδα δεν έχει σταματήσει με την πάροδο των ετών, αλλά αντιθέτως έχει συνεχιστεί αδιάκοπα.



*Εικόνα 2. Μεταφερόμενα εμπορευματοκιβώτια μέσω διατροφικής μεταφοράς κατά τα έτη 2005 – 2017 στην Ευρώπη (εκατομμύρια TEUs) [7].*

Η μεγάλη αυτή αύξηση των διατροφικά μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων εμφανίζεται και σε όρους βάρους, όπου μία παράθεσή τους ανά έτος γίνεται στον Πίνακα 2. Διατροφικά μεταφερόμενοι όγκοι εμπορευματοκιβωτίων (εκατομμύρια τόνοι) [7]. Όπως γίνεται αντιληπτό, οι μεταφερόμενοι όγκοι παρουσιάζουν αύξηση κυρίως στις ασυνόδευτες μεταφορές, στην περίπτωση δηλαδή που αποστέλλεται αποκλειστικά το φορτίο, χωρίς τη μεταφορά του φορτηγού που έχει πραγματοποιήσει τη μεταφορά του έως το διατροφικό σταθμό.

Είδος μεταφοράς	Έτος						
	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017
Ασυνόδευτη	145,5	181,5	164,6	191,8	203	218	241,8
Συνοδευόμενη	10,2	13,6	15,1	14,9	10,8	13	11,5
Σύνολο	155,7	195,1	179,7	206,7	213,8	231	253,4

*Πίνακας 2. Διατροφικά μεταφερόμενοι όγκοι εμπορευματοκιβωτίων (εκατομμύρια τόνοι) [7].*

Η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις συνοδευόμενες και τις ασυνόδευτες εμπορευματικές διατροφικές μεταφορές αντικατοπτρίζεται και στις παρεχόμενες υπηρεσίες στην αγορά της εφοδιαστικής αλυσίδας. Συγκεκριμένα, μόνο ένα πολύ μικρό

ποσοστό εταιρειών με υπηρεσίες logistics παρέχουν αποκλειστικά συνοδευόμενες διατροφικές μεταφορές (της τάξεως του 1%), ενώ ένα ποσοστό μικρότερο του 5% παρέχει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ ασυνόδευτων και συνοδευόμενων μεταφορών [7]. Έτσι, το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς επικεντρώνεται στις αποκλειστικά ασυνόδευτες εμπορευματικές διατροφικές μεταφορές.

Στην κορυφή της Ευρώπης όσον αφορά τις εγχώριες διατροφικές εμπορευματικές μεταφορές παραμένουν η Γερμανία, η Ιταλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Όπως γίνεται κατανοητό και από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, η Γερμανία προηγείται σημαντικά των υπολοίπων χωρών, ενώ η Ιταλία παρουσίασε μία σημαντική μείωση ανάμεσα στα έτη 2015 και 2017, κυρίως λόγω των υποδομών της χώρας [7]. Επίσης, και στο Ηνωμένο Βασίλειο υπήρξε μία μείωση των μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων, ωστόσο σημαντικά μικρότερη της Ιταλίας.

Χώρα	TEUs			Τόνοι		
	2015	2017	Μεταβολή	2015	2017	Μεταβολή
<b>Γερμανία</b>	3.334.870	4.141.373	24,2%	35.629.640	41.377.684	16,1%
<b>Ιταλία</b>	1.554.882	1.074.009	-30,9%	12.318.072	11.251.200	-8,7%
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	1.446.514	1.422.974	-1,6%	24.955.867	21.709.181	-13,0%

*Πίνακας 3. Μεταβολή στις ασυνόδευτες εγχώριες εμπορευματικές μεταφορές για τα κράτη Γερμανία, Ιταλία και Ηνωμένο Βασίλειο κατά τα έτη 2015 – 2017 [7].*

## 2.2. Διατροφικά εμπορευματοκιβώτια

Στις διατροφικές εμπορευματικές μεταφορές, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μεταφερόμενο φορτίο δεν επιδέχεται κανένα χειρισμό κατά τη μεταφορά του και κατά την εναλλαγή των μεθόδων μεταφοράς. Έτσι, απαιτείται η μεταφορά του σε συγκεκριμένες μονάδες, τα ITUs (Intermodal Transport Units). Αυτή η τυποποίηση απαιτείται προκειμένου να καθίσταται δυνατή η γρήγορη και ανεμπόδιστη μεταφορά των φορτίων κατά την εναλλαγή της μεθόδου μεταφοράς.

Οι τυποποιημένες μονάδες μεταφοράς χωρίζονται σε αρκετές κατηγορίες, αναλόγως το χρησιμοποιούμενο μέσο μεταφοράς, καθώς ο σιδηρόδρομος προσφέρει τη δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερου εύρους μονάδων από τα υπόλοιπα μέσα.



Χαρακτηριστικό αποτελεί το γεγονός ότι το Γερμανικό σιδηροδρομικό δίκτυο διαχωρίζει τις διατροφικές μονάδες μεταφοράς σε 23 διαφορετικούς τύπους [8]. Ορισμένες από αυτές τις κατηγορίες αποσπώμενων (α, β) και μη αποσπώμενων (γ, δ) μονάδων παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.

Τα κυρίως χρησιμοποιούμενα είδη των διατροφικών μονάδων μεταφοράς είναι τα εμπορευματοκιβώτια (containers), τα swap bodies, τα trailers και τα semi-trailers. Ωστόσο, ακόμη και ένα ολόκληρο μέσο μεταφοράς, όπως ένα φορτηγό, θα μπορούσε να αποτελέσει μία μονάδα διατροφικής μεταφοράς εάν μεταφερθεί αυτούσιο με τα εμπορεύματα που εμπεριέχονται σε αυτό, με άλλο μέσο μεταφοράς, όπως για παράδειγμα με σιδηρόδρομο, πραγματοποιώντας συνοδευόμενη διατροφική μεταφορά. Η τυποποίηση των μονάδων, εκτός από ευκολία και αμεσότητα στη μεταφορά, προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως αύξηση της ασφάλειας μεταφοράς, καθώς εκλείπουν φαινόμενα απωλειών ή φθοράς των εμπορευμάτων, μεγαλύτερη διευκόλυνση στην αποθήκευσή τους, αλλά και ευκολότερη συλλογή και διαχείριση των απαιτούμενων πληροφοριών που σχετίζονται με ολόκληρη τη διαδικασία μεταφοράς [5].



*Εικόνα 3. Αυτοκινητάμαξες με αποσπώμενα (α, β) και μη αποσπώμενα (γ, δ) φορτία: (α) αποσπώμενο tank container (αριστερά) και εμπορευματοκιβώτιο ανοιχτής οροφής (δεξιά), (β) διατροφικό εμπορευματοκιβώτιο σε flatcar, (γ) εμπορευματοκιβώτιο για μεταφορά μη*

τυποποιημένου φορτίου (*bulk cargo*), (δ) μη αποσπώμενο *tank container* για μεταφορά υγρού φορτίου [8].

Η χρήση των τυποποιημένων μονάδων εμπορευματικών μεταφορών έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Βέβαια, η αύξηση αυτή διαφέρει ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο μεταφοράς. Συγκεκριμένα, στις σιδηροδρομικές αλλά και στις θαλάσσιες μεταφορές παρατηρείται πολύ μεγάλο ποσοστό χρήσης των ITUs, τόσο σε ευρωπαϊκό επίπεδο όσο και στα περισσότερα κράτη – μέλη ξεχωριστά. Αντιθέτως, στις οδικές μεταφορές το ποσοστό αυτό παραμένει αρκετά χαμηλό τα τελευταία χρόνια, εφόσον τα περισσότερα εμπορεύματα μεταφέρονται είτε σε παλέτες είτε χωρίς να ομαδοποιούνται.

Τα χρησιμοποιούμενα εμπορευματοκιβώτια διακρίνονται σε αυτά των 20, 40 και 45 ποδών. Τα *swap bodies* μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους, τα “Class A” *swap bodies*, με μήκη 12,5 και 13,6 μέτρα και τα “Class C” *swap bodies* με μήκη 7,15, 7,45 και 7,82 μέτρα. Τέλος, τα *semi-trailers* έχουν ένα μέγιστο μήκος τα 13,6 μέτρα [9].

Όσον αφορά τα εμπορευματοκιβώτια, τα οποία αποτελούν και το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο ITU, η χρήση τους στις εμπορευματικές μεταφορές ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1950, αποτελώντας μια σημαντική τεχνολογική εξέλιξη με αρκετές συνέπειες και στην οικονομική ανάπτυξη της εποχής [10]. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν στη ναυτιλία και το γεγονός αυτό υπήρξε εφαλτήριο για την ανάπτυξη των διατροφικών μεταφορών, καθώς κατέστησε δυνατή τη γρήγορη εναλλαγή των φορτίων κατά τη διαδικασία μεταφοράς. Το σημαντικό τους πλεονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα μέσα εμπορευματικών μεταφορών, δηλαδή οδικά, σιδηροδρομικά, θαλάσσια και εναέρια. Επιπλέον, προσφέρουν ασφαλέστερες μεταφορές, καθώς το περιεχόμενό τους δεν μπορεί να φθαρεί ή να κλαπεί κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, αλλά και ευκολία σε τυχόν αποθήκευσή τους ενδιάμεσα της εναλλαγής των μεθόδων μεταφοράς.

Λόγω των συνήθων μεγεθών των εμπορευματοκιβωτίων, έχει επικρατήσει η χρησιμοποίηση των όρων TEU (Twenty Foot Equivalent Unit) και FEU (Forty Foot Equivalent Unit) ως μονάδα μέτρησης των εμπορευματοκιβωτίων. Μία μονάδα είκοσι ποδών (TEU) αντιστοιχεί σε εξωτερικές διαστάσεις περίπου έξι μέτρων, ενώ μία μονάδα σαράντα ποδών (FEU) σε αντίστοιχες διαστάσεις 12 μέτρων. Τις περισσότερες

φορές, όμως, το κάθε εμπορευματοκιβώτιο σαράντα ποδών (FEU) αναφέρεται ως δύο TEUs. Έτσι, είναι σύνηθες και οι διαδικασίες κοστολόγησης και αναφορών των εμπορευματοκιβωτίων από τις εταιρείες που παρέχουν υπηρεσίες logistics να γίνεται ανά TEU.

Τα εμπορευματοκιβώτια χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά διαφόρων ειδών εμπορευμάτων και, έτσι, υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι για την ικανοποίηση όλων των αναγκών. Αναλυτικότερα, τα εμπορευματοκιβώτια μπορεί να είναι «ξηρού τύπου» (dry containers) ή και ψυχόμενα και να μεταφέρουν το φορτίο τους αυτούσιο ή χωρισμένο σε παλέτες. Οι δύο βασικές κατηγορίες των παλετών που χρησιμοποιούνται είναι οι βιομηχανικές παλέτες, με διαστάσεις 1,2m x 1m, και οι ευρωπαϊκές με διαστάσεις 0,8m x 1,2m. Τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθους των κυρίως χρησιμοποιούμενων εμπορευματοκιβωτίων «ξηρού τύπου» παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

	<b>Τύπος Εμπορευματοκιβωτίου</b>		
	20 ft	40 ft	45 ft
<b>ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)</b>			
Μήκος	5.900	12.034	13.556
Πλάτος	2.352	2.352	2.352
Ύψος	2.393	2.395	2.700
<b>ΒΑΡΟΣ (kg)</b>			
Μέγιστο μικτό βάρος	30.480	30.480	30.480
Μέσο απόβαρο	2.230	3.740	4.700
Μέγιστο φορτίο	28.250	26.740	25.780
<b>ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΑΛΕΤΕΣ</b>			
Βιομηχανικές	10	21	24
Ευρωπαϊκές	11	25	27

*Πίνακας 4. Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθους των κυρίως χρησιμοποιούμενων εμπορευματοκιβωτίων «ξηρού τύπου».*

### 2.3. Ο σιδηρόδρομος ως μέσο εμπορευματικών μεταφορών

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί ένα μέσο μεταφοράς με αρκετά μεγάλη ιστορία, καθώς η προσπάθεια εφεύρεσης αυτού του μέσου μεταφοράς είχε ξεκινήσει από την αρχαιότητα με αυτοσχέδια βαγόνια. Σήμερα, αποτελεί ένα άρρηκτα συνδεδεμένο με τη σύγχρονη εποχή μέσο, λόγω της πληθώρας δυνατοτήτων που προσφέρει. Οι δυνατότητες αυτές επικεντρώνονται στην ευελιξία, την αξιοπιστία στους χρόνους μεταφοράς και την ασφάλεια των εμπορευμάτων, καθώς και στα μειωμένα κόστη που προσφέρει. Εξάλλου, ο σιδηρόδρομος αποτελεί και ένα αρκετά φιλικότερο προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς. Όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) υπολογίζονται σε περισσότερο από τέσσερις φορές υψηλότερες ανά τονοχιλιόμετρο στις οδικές έναντι των σιδηροδρομικών μεταφορών. Ωστόσο, στο μεγαλύτερο μέρος του σιδηροδρομικού δικτύου της Ευρώπης τα εμπορευματικά και τα επιβατικά τρένα συνυπάρχουν. Τα εμπορευματικά τρένα, λόγω της χαμηλότερης μέγιστης ταχύτητάς τους, μειώνουν τη διαθεσιμότητα του δικτύου και, έτσι, επιβάλλονται συνήθως στον περιορισμό πραγματοποίησης των δρομολογίων τους στη διάρκεια της νύκτας [11, 12].



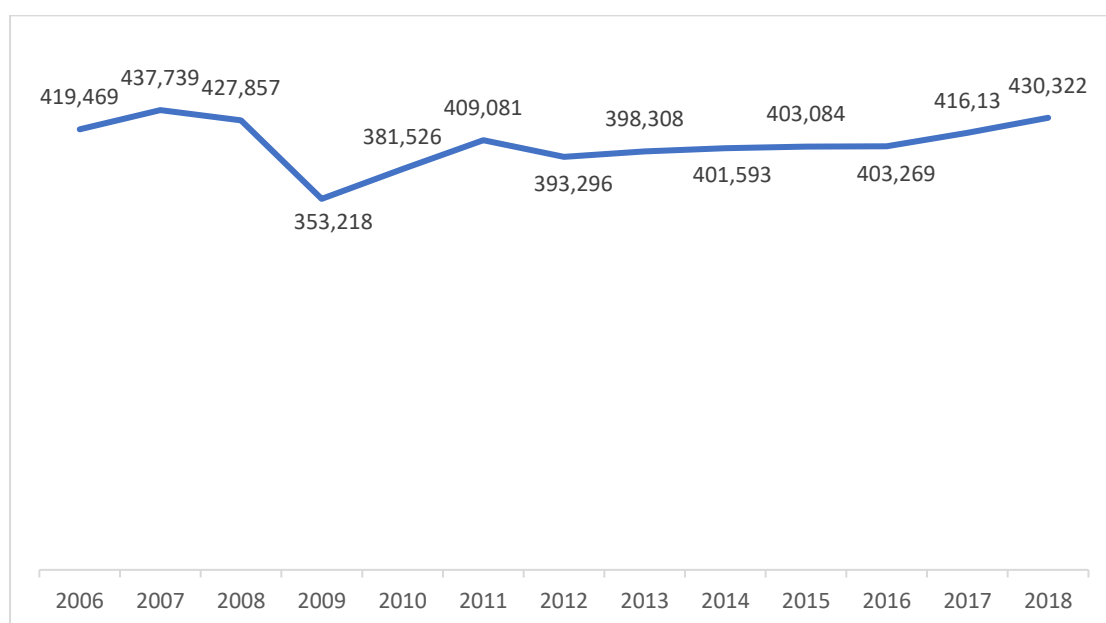
*Εικόνα 4. Χάρτης του σιδηροδρομικού δικτύου της Ελλάδας. [13]*

Τις τελευταίες δεκαετίες είναι γεγονός πως ο κλάδος των σιδηροδρομικών μεταφορών παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερο ενδιαφέρον από ότι τα παλαιότερα χρόνια. Αυτό συμβαίνει, διότι ο ίδιος ο κλάδος έχει πραγματοποιήσει αρκετά βήματα για την επίτευξη του εκσυγχρονισμού των παρεχόμενων υπηρεσιών και τον επαναπροσδιορισμό της θέσης του στην εφοδιαστική αλυσίδα της σημερινής εποχής. Η σύγχρονη εφοδιαστική αλυσίδα απαιτεί λύσεις που χαρακτηρίζονται από αποδοτικότητα, οικονομία και βιωσιμότητα. Όλες οι τεχνολογικές εξελίξεις που έχει εντάξει στην καθημερινή λειτουργία του ο σιδηρόδρομος, όπως και η ηλεκτροκίνηση, αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία που το καθιστούν ένα από τα πιο ταχέως αναπτυσσόμενα μέσα μεταφοράς.

Η αναβάθμιση του σιδηροδρομικού δικτύου είναι γεγονός πως είχε άμεσο αντίκτυπο στον τομέα των εμπορευματικών μεταφορών, καθώς παρατηρείται αρκετά μεγαλύτερο ενδιαφέρον της αγοράς προς τη χρησιμοποίησή του ως μέθοδο εμπορευματικών μεταφορών. Αυτό αποδεικνύεται και ποσοτικά, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5, για την εξέλιξη των σιδηροδρομικών μεταφορών στην Ευρωπαϊκή Ένωση (με 28 κράτη – μέλη) ανάμεσα στα έτη 2006 και 2017. Αναλυτικότερα, οι Ευρωπαϊκές σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές έφτασαν στο μέγιστο σημείο τους το 2007, με αύξηση 4,17% σε σχέση με το 2006. Ανάμεσα στα έτη 2008 και 2009 παρουσιάστηκε μια έντονη ύφεση, της τάξεως του 17,4%, η οποία συνδέεται άρρηκτα με το ξέσπασμα της διεθνούς οικονομικής κρίσης. Ανάκαμψη της αγοράς των σιδηροδρόμων, ωστόσο, παρουσιάστηκε τα έτη 2010 και 2011 με αυξήσεις 7,4% και 6,7% σε σχέση με τα έτη 2009 και 2010, αντίστοιχα. Έπειτα, αν και υπήρξε μια ύφεση 3,9% το έτος 2012, το 2013 υπήρξε ανάπτυξη 1,3% και σταθερότητα ανάμεσα στα έτη 2014 και 2016. Τέλος, αξιοσημείωτες ήταν οι αυξήσεις της αγοράς κατά τα έτη 2017 και 2018, με ποσοστά 3,1% και 3,3% αντίστοιχα, με αποτέλεσμα την επαναφορά της κοντά στο επίπεδο του 2007 [14]. Αξιο αναφοράς είναι, επίσης, το γεγονός πως στις ΗΠΑ οι σιδηροδρομικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 40% του συνόλου των εμπορευματικών μεταφορών της χώρας, σε αντίθεση με την Ευρώπη που αντιπροσωπεύουν μόλις το 8%.

Σύμφωνα με ανάλυση του UIC με δεδομένα του 2016 και περιλαμβάνοντας τις εμπορευματικές μεταφορές μεταξύ των 28 κρατών – μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και 5 Ασιατικών κρατών (Ιαπωνία, Νότια Κορέα, Κίνα, Μογγολία και Καζακστάν), η δυναμική των σιδηροδρομικών μεταφορών προβλέπεται να αγγίξει τα 636.000 TEUs

για το 2027. Το ποσό αυτό υπολογίζεται σε 21 δρομολόγια τρένων ανά ημέρα, με βάση την υπόθεση ότι μεταφέρονται 82 TEUs ανά συρμό και σημειώνεται αύξηση 14,7% από τις αντίστοιχες μεταφερόμενες ποσότητες κατά το έτος 2016. Μάλιστα, το έτος 2030 προβλέπεται πως οι σιδηροδρομικά μεταφερόμενες ποσότητες θα φθάσουν τα 810.000 TEUs. Επίσης, η πρόβλεψη για το συγκεκριμένο μέγεθος μεταφοράς προέρχεται από ανάπτυξη των ήδη υπαρχόντων δικτύων εμπορευματικών μεταφορών (330.000 TEUs), μια μικρή εναλλαγή από αεροπορικό μέσο μεταφοράς σε σιδηροδρομικό (30.00 TEUs), αλλά και μια αρκετά σημαντική εναλλαγή από θαλάσσιο μέσο σε σιδηροδρομικό (276.000 TEUs) [15].



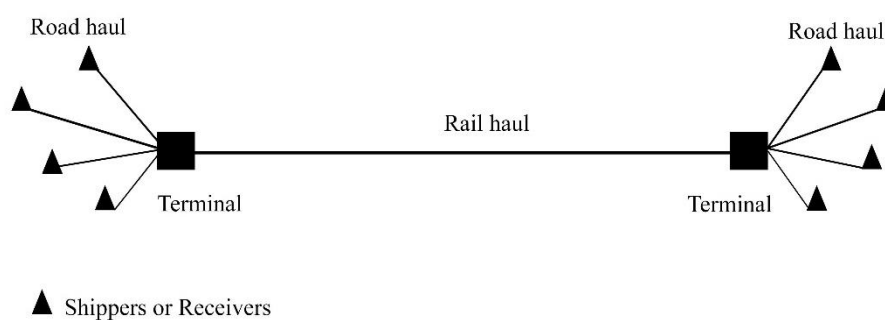
*Εικόνα 5. Σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές, Ευρωπαϊκή Ένωση, 2006 – 2017 (Δισεκατομμύρια τονοχιλιόμετρα) [14].*

Στην περίπτωση της Ελλάδας, το 2017, οι σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές άγγιξαν τα 358 εκατομμύρια τονοχιλιόμετρα, έναντι 254 εκατομμύρια ένα χρόνο νωρίτερα. Καθοριστικό, ωστόσο, εμπόδιο στην ανάπτυξη των εμπορευματικών μεταφορών κατείχε και το ξέσπασμα της διεθνούς οικονομικής κρίσης, καθώς το 2008 στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκαν συνολικά σιδηροδρομικές μεταφορές μεγέθους 786 εκατομμυρίων τονοχιλιομέτρων, αριθμός που μειώθηκε στα 552 εκατομμύρια το 2009.

## 2.4. Οδική - σιδηροδρομική διατροπική μεταφορά εμπορευμάτων

Η διατροφική μεταφορά εμπορευμάτων με τη χρήση φορτηγού και σιδηροδρόμου καθίσταται σημείο ενδιαφέροντος του παγκόσμιου κλάδου μεταφορών, καθώς αποτελεί μία μέθοδο διατροφικής μεταφοράς που μπορεί να βρει εφαρμογή στις περισσότερες χώρες του κόσμου και, ιδίως, εντός της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Καθοριστικό παράγοντα ανάπτυξης αυτού του είδους διατροφικών μεταφορών συνιστά το γεγονός πως ο σιδηρόδρομος είναι ένα μέσο μεταφοράς το οποίο κρίνεται απολύτως συμφέρον για μεγάλες αποστάσεις. Από την άλλη, οι οδικές μεταφορές προσφέρουν προσβασιμότητα, καθώς μπορούν εύκολα να προσεγγίσουν μέρη τα οποία δεν είναι δυνατόν να έχουν πρόσβαση σε σιδηροδρομικό σταθμό. Δηλαδή, ο σιδηρόδρομος καλείται να καλύψει μεταφορές μεγάλων ποσοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις (long haul), ενώ η οδική μεταφορά συλλέγει και διανέμει τα εμπορεύματα σε μικρές ή μεσαίες αποστάσεις από τον διατροφικό σταθμό μεταφοράς και αντιστρόφως (short haul) [16].

Από την άλλη, οι διατροφικές εμπορευματικές μεταφορές αποτελούν και ένα αρκετά οικολογικό μέσο μεταφοράς, καθώς οι εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι σημαντικά χαμηλότερες έναντι της αποκλειστικά οδικής μεταφοράς. Ένας από τους στόχους της Ευρωπαϊκής πολιτικής μεταφορών είναι η επίτευξη μείωσης της τάξεως του 60% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), που οφείλονται στις μεταφορές, έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Ένα από τα μέτρα που θα χρησιμοποιηθούν είναι η εναλλαγή τουλάχιστον του 30% των μεταφορών, για αποστάσεις 300 χιλιομέτρων και άνω, από οδικά σε άλλα μέσα με χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> [17]. Ως βασικό μέσο για την επίτευξη αυτού του στόχου κρίνεται, αναμφίβολα, η εναλλαγή σε διατροφικές μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων με τη χρήση σιδηροδρομικών ή και θαλάσσιων μεταφορών[17].



*Εικόνα 6. Διαγραμματική αναπαράσταση συστήματος οδικής - σιδηροδρομικής διατροφικής μεταφοράς [18].*

Επιπλέον, οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα σύγχρονα εμπορευματικά τρένα έχουν οδηγήσει σε σημαντική μείωση των χρόνων μεταφοράς, σε αντίθεση με τα συμβατικά τρένα που έβρισκαν χρήση σε εμπορευματικές μεταφορές παλαιότερων ετών. Εκτός όμως από την εξοικονόμηση χρόνου, σημαντικό σημείο ενδιαφέροντος της σύγχρονης βιομηχανίας μεταφορών αποτελεί και η μείωση του κόστους, η οποία συνδέεται άρρηκτα με την ανεξάρτηση των μεταφορών από τον άνθρακα. Η ηλεκτροκίνηση στα τρένα, σήμερα, είναι και το σημαντικότερο περιβαλλοντικό επίτευγμα, το οποίο παράλληλα μειώνει σημαντικά τους χρόνους, αλλά και το κόστος μεταφοράς.

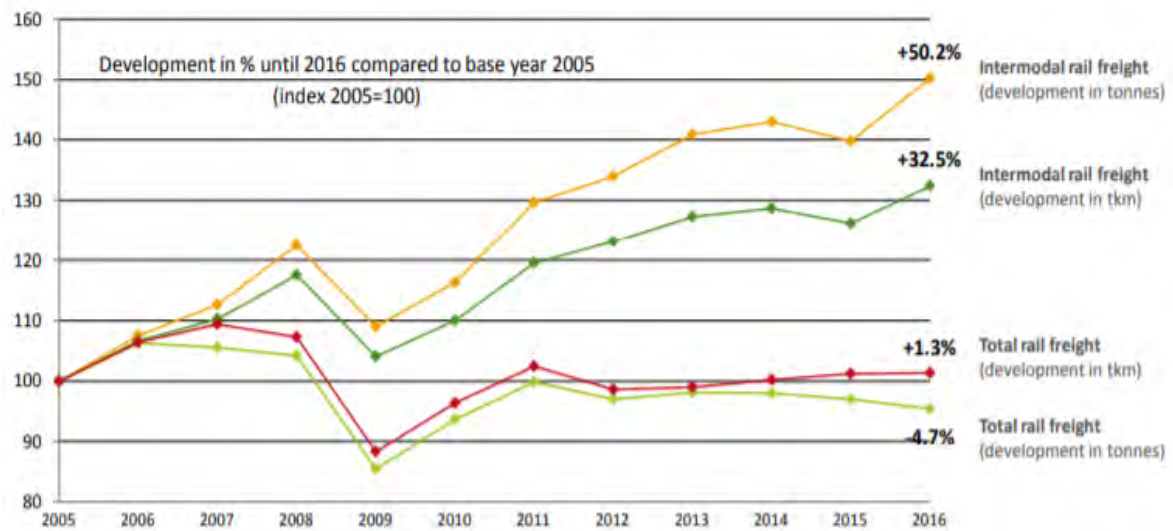
Τα στάδια της σιδηροδρομικής - οδικής διατροπικής μεταφοράς εμπορευμάτων είναι τα εξής [6]:

- I. Συλλογή του εμπορεύματος, στο αρχικό σημείο του αποστολέα, και μεταφορά του με φορτηγό στον χώρο του μεταφορέα, στον διατροπικό σταθμό μεταφοράς. Προκειμένου να γίνει αποδοτικότερη η μεταφορά των εμπορευμάτων μεταξύ των μεθόδων μεταφοράς, τα προϊόντα μεταφέρονται σε τυποποιημένα φορτία, τα οποία ονομάζονται διατροπικές μονάδες μεταφοράς (Intermodal Transport Units – ITUs), όπως είναι τα διατροπικά εμπορευματοκιβώτια.
- II. Μεταφόρτωση του εμπορεύματος από το φορτηγό στο δεύτερο, «μη οδικό» μέσο μεταφοράς, δηλαδή τον σιδηρόδρομο.
- III. Μεταφορά από τον αρχικό στον τελικό διατροπικό σταθμό μέσω του σιδηροδρόμου.
- IV. Μεταφόρτωση του φορτίου σε φορτηγά στο χώρο του παραλήπτη στον τελικό διατροπικό σταθμό.
- V. Διανομή από τον διατροπικό σταθμό στον τελικό προορισμό του εμπορεύματος, μέσω οδικής μεταφοράς.

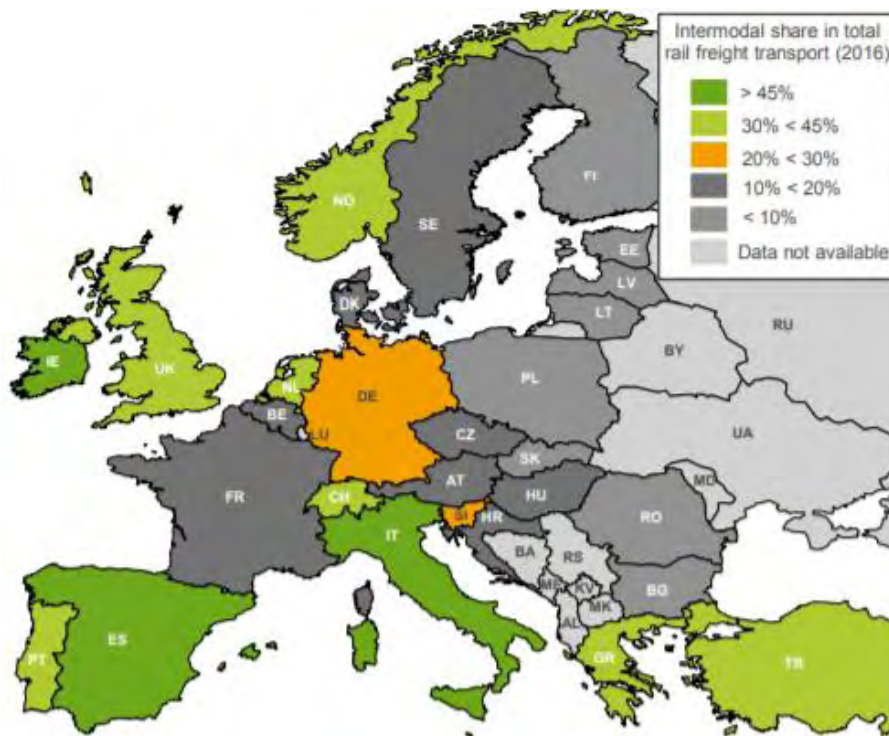
Ο τομέας των διατροπικών εμπορευματικών μεταφορών με τη χρήση του σιδηρόδρομου επηρεάστηκε καθοριστικά από τη διεθνή οικονομική κρίση του 2009, αλλά γνώρισε σημαντική ανάπτυξη τα αμέσως επόμενα χρόνια. Αναλυτικότερα, η αύξηση σημειώθηκε τόσο σε όρους ποσοτήτων (50,2%) όσο και σε όρους τονοχιλιομέτρων (32,5%), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7. Η ανάπτυξη αυτή είναι



αρκετά σημαντική, ειδικά εάν συγκριθεί με την αντίστοιχη αύξηση των αποκλειστικών σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών, η οποία είναι αρκετά χαμηλή.



Εικόνα 7. Εξέλιξη των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών στην Ευρώπη κατά τα έτη 2005 – 2016 [7].



Εικόνα 8. Χάρτης με ποσοστά διατροπικών μεταφορών στο σύνολο των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών ανά χώρα στην Ευρώπη το έτος 2016 [7].

## 2.5. Πλεονεκτήματα

Η διατροφική μεταφορά εμπορευμάτων με τη χρήση οδικού και σιδηροδρομικού μέσου μπορεί να επιφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- I. Διάκριση των εργασιών μεταξύ των μεθόδων μεταφοράς, σύμφωνα με τις ανάγκες μεταφοράς για κοντινές ή μακρινές αποστάσεις. Η διατροφική μεταφορά δεν αποτελεί απλώς τον συνδυασμό των δύο μεθόδων μεταφοράς, αλλά περιλαμβάνει και την κατανομή καθηκόντων σχετικά με τη μεταφορά βραχείας και μακρινής διαδρομής, συγχρονίζοντας τα δρομολόγιά τους. Επιπλέον, ο σιδηρόδρομος αναλαμβάνει τη μεταφορά μεγάλων και ομαδοποιημένων εμπορευματικών ποσοτήτων, προκειμένου να επιτευχθεί ο κοινός στόχος όλων των εμπλεκόμενων φορέων, δηλαδή η μείωση του κόστους.
- II. Συγχρονισμός των χρονοδιαγραμμάτων μεταφοράς, προκειμένου να μην υπάρχουν οποιεσδήποτε καθυστερήσεις. Η ακρίβεια στις αναχωρήσεις και αφίξεις των συρμών, σε συνδυασμό με την αξιοπιστία στον χρόνο και την ποιότητα μεταφοράς, καθιστούν εφικτή τη μείωση του συνολικού χρόνου μεταφοράς, εφόσον αυτός μπορεί να μεταβληθεί μόνο από το μέρος της οδικής μεταφοράς. Ο συγχρονισμός αυτός υποδηλώνει, επιπλέον, πως δεν θα προκύψει η ανάγκη αποθήκευσης ή χειρισμού του φορτίου κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του από τον αρχικό στον τελικό προορισμό.
- III. Χρησιμοποίηση διατροφικών εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία αυξάνουν την αποδοτικότητα της αλυσίδας μεταφοράς. Τα φορτία αυτά δεν χρειάζονται ειδικό χειρισμό και μπορούν με ευκολία να μεταφερθούν, μέσω τυποποιημένου μηχανισμού, από το αρχικό μέσο μεταφοράς στο επόμενο. Αντίθετα, τα μη ομαδοποιημένα φορτία απαιτούν χειρισμό με εξειδικευμένο εξοπλισμό, δυσκολεύοντας και καθυστερώντας τη συνολική διαδικασία μεταφοράς.
- IV. Ο σιδηρόδρομος ανέκαθεν αποτελούσε πιο ασφαλή μέθοδο μεταφοράς σε σχέση με την οδική. Με τις σιδηροδρομικές μεταφορές, παρέχεται μεγαλύτερη ασφάλεια αφενός στο μεταφερόμενο μέσο, το οποίο βρίσκεται

εντός διατροφικής μονάδας μεταφοράς, και αφετέρου στον οδηγό, καθώς οι πιθανότητες για κάποιο ατύχημα είναι σημαντικά μικρότερες από τις οδικές μεταφορές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

### ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

#### 3.1. Ορισμός

Το βασικότερο δομικό στοιχείο των διατροφικών μεταφορών είναι οι σταθμοί, στους οποίους γίνεται η φυσική συνάντηση και αλληλεπίδραση των αγαθών και των παρόχων υπηρεσιών μεταφοράς, καθώς είναι το μέρος στο οποίο γίνεται η αλλαγή της χρησιμοποιούμενης μεθόδου μεταφοράς. Οι σταθμοί αυτοί ονομάζονται διατροφικοί τερματικοί σταθμοί μεταφοράς και κατέχουν θέση μείζονος σημασίας στην πραγματοποίηση και την ανταγωνιστικότητα των διατροφικών μεταφορών, εφόσον οι διαδικασίες που ακολουθούνται σε αυτούς έχουν άμεσο αντίκτυπο στο κόστος και τους χρόνους μεταφοράς [8].

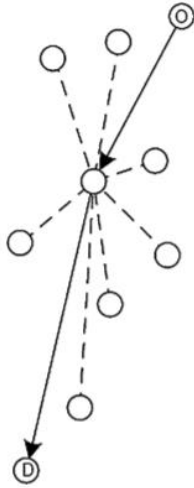
Σε αντίθεση με τους κλασσικούς σιδηροδρομικούς σταθμούς, όπου τα εμπορευματικά τρένα αποσυναρμολογούνται και ανασυντίθενται, στους διατροφικούς σταθμούς μεταφοράς υπάρχει μια διαφορετική οργάνωση. Συγκεκριμένα, τα εμπορευματοκιβώτια εναλλάσσουν μέσο μεταφοράς όσο το δυνατόν γρηγορότερα, μεταφερόμενα είτε από το οδικό μέσο στο σιδηροδρομικό και αντιστρόφως είτε από τρένο σε τρένο.

Η περίπτωση, στην οποία τα εμπορευματοκιβώτια μεταφέρονται από τρένο σε τρένο, βασίζεται σε τρεις βασικές αρχές [8]:

- I. Για τη μεταφορά των εμπορευμάτων χρησιμοποιούνται διατροφικά εμπορευματοκιβώτια.
- II. Η φόρτωση / εκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων ανάμεσα στους συρμούς πρέπει να είναι όσο το δυνατόν γρηγορότερη.
- III. Κατά την αλλαγή των συρμών η σύνθεση τους δεν μεταβάλλεται, εφόσον η μεταφορά γίνεται άμεσα στους σύγχρονους και αυτοματοποιημένους διατροφικούς σταθμούς.

Δηλαδή, ένας διατροπικός σταθμός μεταφοράς μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη χρήση του [8]:

- I. Ως διασύνδεση της διατροπικής μεταφοράς, προκειμένου οι αποστολές των προϊόντων να μπορούν να εναλλαχθούν μεταξύ του σιδηροδρόμου και της άλλης μεθόδου μεταφοράς. Συνήθως, ο σιδηρόδρομος εξυπηρετεί το τμήμα των μεγάλων αποστάσεων (long haul), ενώ τα φορτηγά αναλαμβάνουν τη διακίνηση μεταξύ σταθμού και εξυπηρετούμενου πελάτη (first / last mile). Εναλλακτικά, ένας τέτοιου τύπου διατροπικός σταθμός μεταφοράς μπορεί να βρίσκεται κοντά σε λιμάνι, ώστε να χρησιμοποιηθεί και θαλάσσιο μέσο για το επόμενο μέρος της μεταφοράς των εμπορευμάτων.
- II. Ως κόμβος σε ένα σύστημα «hub – and – spoke», ώστε τα εμπορευματοκιβώτια, ή ακόμη και τα ίδια το οχήματα, να εναλλάσσονται μεταξύ των συρμών. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του συνολικού κόστους μεταφοράς, καθώς δρομολόγια με μικρότερα τρένα μπορούν να ενοποιηθούν σε συρμούς μεγαλύτερου μεγέθους, δηλαδή μπορεί να επιτευχθεί μείωση των απαιτούμενων δρομολογίων. Χωρίς αυτούς τους κόμβους οι συρμοί εκτελούν το εκάστοτε δρομολόγιο ανεξάρτητα, από το σημείο εκκίνησης στο σημείο προορισμού τους (point – to – point system). Επίσης, η χρησιμοποίηση του σιδηροδρόμου συνεπάγεται ένα μεγάλο σταθερό κόστος, οπότε οι αποστολές point – to – point αποτελούν οικονομική επιλογή μόνο για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων. Έτσι, τα συστήματα hub – and – spoke κρίνονται περισσότερο συμφέροντα για μικρότερους μεταφερόμενους όγκους σε σχετικά μικρές αποστάσεις [5, 18, 19].



Εικόνα 9. Σύστημα «hub – and – spoke», O: Origin, D: Destination [21].

### 3.2. Δομή

Οι διατροπικοί σταθμοί μεταφοράς μεταξύ οδικής – σιδηροδρομικής εμπορευματικής μεταφοράς αποτελούν, κυρίως, χώρους διασύνδεσης των δύο μεθόδων μεταφοράς, όπου οι χρησιμοποιούμενοι γερανοί αναλαμβάνουν τη μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων μεταξύ τρένων και φορτηγών. Ωστόσο, ένας διατροπικός σταθμός μεταφοράς μπορεί να αποτελεί και ένα πιο σύνθετο κέντρο διασύνδεσης, παρέχοντας περισσότερες υπηρεσίες, όπως χώρους αποθήκευσης ή και χώρους συντήρησης και επισκευής των οχημάτων. Ένας τυπικός διατροπικός τερματικός σταθμός σιδηροδρομικής – οδικής μεταφοράς περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία [11, 18, 21, 22]:

- I. Σιδηροτροχιές για την άφιξη και την επιθεώρηση αμαξοστοιχιών και βαγονιών.
- II. Αποθηκευτικό χώρο για την αποθήκευση των ITUs.
- III. Πλατφόρμες μεταφόρτωσης για τη φόρτωση και την εκφόρτωση του τρένου. Οι μονάδες αυτές αποτελούνται από αυτόματες γέφυρες που κινούνται κάθετα στο σιδηροδρομικό όχημα, ασφαλίζοντας, έτσι, τη μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων μεταξύ του τρένου και του αποθηκευτικού χώρου.
- IV. Λωρίδες για τη φόρτωση των φορτηγών.
- V. Πύλες και εσωτερικό οδικό δίκτυο.

Είναι σαφές πως η επιτυχής λειτουργία όλων των διατροφικών σταθμών μεταφοράς βασίζεται σε ορισμένες βασικές αρχές, οι οποίες οφείλουν να πληρούνται. Οι τρεις βασικές αυτές αρχές είναι [20]:

- I. **Τοποθεσία.** Ο βασικός παράγοντας που καθορίζει την τοποθεσία στην οποία θα κατασκευαστεί ένας διατροφικός σταθμός μεταφοράς είναι η απαίτηση για την ικανοποίηση του μεγαλύτερου ποσοστού τόσο των βιομηχανιών όσο και των καταναλωτών της συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Ωστόσο, συχνά συναντάται και ένας άλλος περιορισμός ως προς την τοποθεσία, ο οποίος είναι η συσχέτισή του με κάποιο λιμάνι ή και αεροδρόμιο, με στόχο την περαιτέρω μεταφορά εμπορευμάτων. Τέλος, οι σύγχρονοι διατροφικοί σταθμοί μεταφοράς βρίσκονται, κυρίως, εκτός του αστικού ιστού, προκειμένου να αποφεύγεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση αλλά και να μειώνονται τα κόστη υποδομής.
- II. **Προσβασιμότητα.** Η διασύνδεση του σταθμού με άλλους διατροφικούς σταθμούς, αλλά και η εύκολη πρόσβαση σε αυτό από τα μεταφορικά μέσα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία του. Παραδείγματος χάρη, σε ένα διατροφικό σταθμό στον οποίο γίνεται χρήση θαλάσσιων μέσων μεταφοράς απαιτείται η ομαλή σύνδεση του τόσο με οδικά όσο και με σιδηροδρομικά μέσα, προκειμένου να μπορεί να συνεχιστεί ανεμπόδιστα η μεταφορά των εμπορευμάτων.
- III. **Υποδομή.** Η υποδομή των διατροφικών τερματικών σταθμών καθορίζει τη λειτουργικότητά τους, αλλά και την απόδοση ολόκληρης της αλυσίδας μεταφοράς. Απαιτείται, λοιπόν, η δημιουργία σταθμών με υψηλά επίπεδα χρησιμοποιούμενων τεχνολογικών συστημάτων και υπηρεσιών, αλλά και επάρκεια χώρου. Έτσι, οι σύγχρονοι σταθμοί κατασκευάζονται σε αρκετά μεγάλες εκτάσεις, ώστε η οι υποδομές τους να χρησιμοποιούνται σε ποσοστό περίπου 75%, προκειμένου να διατηρούν υψηλά επίπεδα απόδοσης, αποφεύγοντας συμφορήσεις στους διάφορους χώρους του σταθμού.

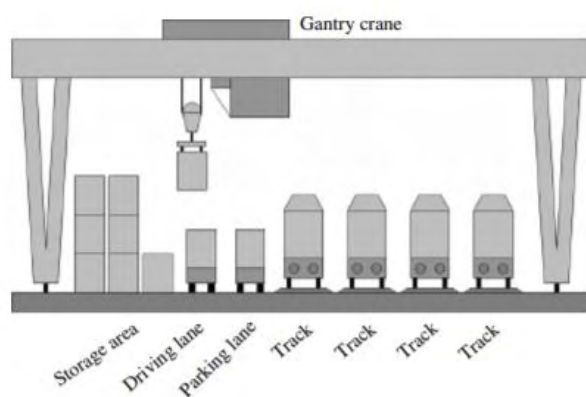
### 3.3. Αρχή λειτουργίας

Οι διατροφικοί σταθμοί μεταφοράς, σύμφωνα με τις ανάγκες και τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, οργανώνουν διαφορετικά τη λειτουργία τους με τα χρόνια. Τις προηγούμενες δεκαετίες ήταν σύνηθες οι συρμοί που κατέφθαναν στον σταθμό να αποσυναρμολογούνται και, μεμονωμένα πλέον, τα βαγόνια τους να οδηγούνται στην αποβάθρα όπου θα μεταφορτωθούν στο συρμό ή το φορηγό που θα αναλάμβανε το επόμενο στάδιο της μεταφοράς τους. Αντίθετα, στη σημερινή εποχή οι τυπικοί διατροφικοί σταθμοί μεταφοράς χρησιμοποιούν διαφορετική οργάνωση, κυρίως στην περίπτωση της εναλλαγής ανάμεσα στη σιδηροδρομική και την οδική μεταφορά. Αναλυτικότερα, τα βαγόνια πλέον δεν αποσυναρμολογούνται, καθώς μεταφέρονται μόνο τα εμπορευματοκιβώτια μέσω των γερανών που βρίσκονται στις αυτόματες γέφυρες, οι οποίες καλύπτουν πολλές παράλληλες σιδηροδρομικές γραμμές. Σε αυτού του είδους τους σταθμούς συνήθως εμπεριέχονται και επιπρόσθετα στοιχεία, όπως αποθηκευτικοί χώροι για την ενδιάμεση τοποθέτηση των εμπορευματοκιβωτίων, αλλά και παρακείμενες λωρίδες φορηγών για την άμεση μεταφορά των εμπορευμάτων από ή προς το τρένο. Βέβαια, στο στάδιο φόρτωσης και εκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων καταναλώνεται αρκετή ενέργεια και, έτσι, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας αυτής είναι έντονο [5, 21].

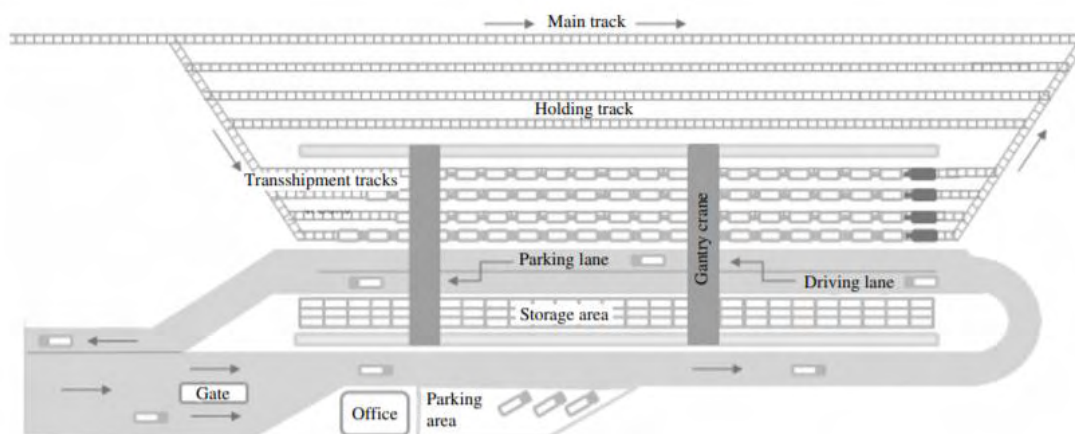
Όσον αφορά τους συρμούς, βρίσκονται στις παράλληλες γραμμές μεταφόρτωσης του σταθμού. Τυπικά, ένας διατροφικός σταθμός αποτελείται από δύο έως τέσσερις παράλληλες γραμμές. Τα εμπορευματικά τρένα στην Ευρώπη συνήθως έχουν μέγιστο μήκος 600 – 750 μέτρα [11], οπότε και η αποβάθρα η οποία είναι προσβάσιμη από τους γερανούς για τη μεταφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων έχει αντίστοιχο μήκος. Από την άλλη, τα φορηγά φθάνουν στις κατάλληλες παράλληλες γραμμές, οι οποίες συνήθως χωρίζονται σε γραμμές στάθμευσης και γραμμές φόρτωσης. Επιπλέον, υπάρχει και ένας χώρος αποθήκευσης, προκειμένου να αποθηκεύονται τα εμπορευματοκιβώτια που δεν είναι δυνατό να μεταφορτωθούν απευθείας στο εξερχόμενο τρένο ή φορηγό.

Κατά την αποθήκευση των εμπορευματοκιβωτίων στον ενδιάμεσο χώρο στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο, οπότε υπόκεινται σε επιπλέον περιορισμούς για το διαχωρισμό τους ανάλογα με το βάρος, το σχήμα, το περιεχόμενο και την ώρα

αναχώρησής τους από τον σταθμό. Ωστόσο, όταν υπάρχει η δυνατότητα, τα εμπορευματοκιβώτια εναλλάσσονται απευθείας κατά την άφιξη του εισερχόμενου μέσου στο σταθμό, χωρίς να υπάρχει το ενδιάμεσο βήμα της αποθήκευσής τους. Οι μεταφορτώσεις αυτές γίνονται με τη βοήθεια των γερανών, οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι σε αυτοματοποιημένες γέφυρες. Οι συνήθως χρησιμοποιούμενοι γερανοί έχουν δυνατότητα μέγιστης μεταφοράς 41 τόνων και μπορούν να μεταφέρουν από 20 έως 25 εμπορευματοκιβώτια την ώρα. Μία σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού οδικού – σιδηροδρομικού σταθμού μεταφοράς απεικονίζεται στις Εικόνα 10 και Εικόνα 11.



*Εικόνα 10.* Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού οδικού – σιδηροδρομικού διατροπικού σταθμού μεταφοράς [8].



*Εικόνα 11.* Κάτοψη ενός τυπικού οδικού – σιδηροδρομικού διατροπικού σταθμού μεταφοράς [8].



Επομένως, γίνεται κατανοητό πως η λειτουργία ενός διατροφικού σταθμού μεταφοράς γίνεται με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, αλλά η διοίκησή τους χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα προβλήματα απόφασης [8]:

- I. Επιλογή του χώρου αποθήκευσης των εμπορευματοκιβωτίων που δεν εναλλάσσουν απευθείας μέσο μεταφοράς.
- II. Ανάθεση κατάλληλης θέσης στάθμευσης σε κάθε φορτηγό.
- III. Καθορισμός της θέσης των εξερχόμενων εμπορευματοκιβωτίων στους συρμούς.
- IV. Ανάθεση της μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων στους γερανούς.
- V. Καθορισμός της αλληλουχίας κινήσεων των γερανών για τη μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων.

Χαρακτηριστικό της σπουδαιότητας των διατροφικών σταθμών οδικών – σιδηροδρομικών μεταφορών αποτελεί το γεγονός ότι στη Γερμανία το 2010 υπήρχαν 24 διαφορετικοί σταθμοί σε όλη τη χώρα, οι οποίοι με την πάροδο των χρόνων γίνονται μέρη του συστήματος hub – and – spoke για τη σύνδεση της χώρας με τα υπόλοιπα κράτη της Ευρωπαϊκής ηπείρου [8].

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

## ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

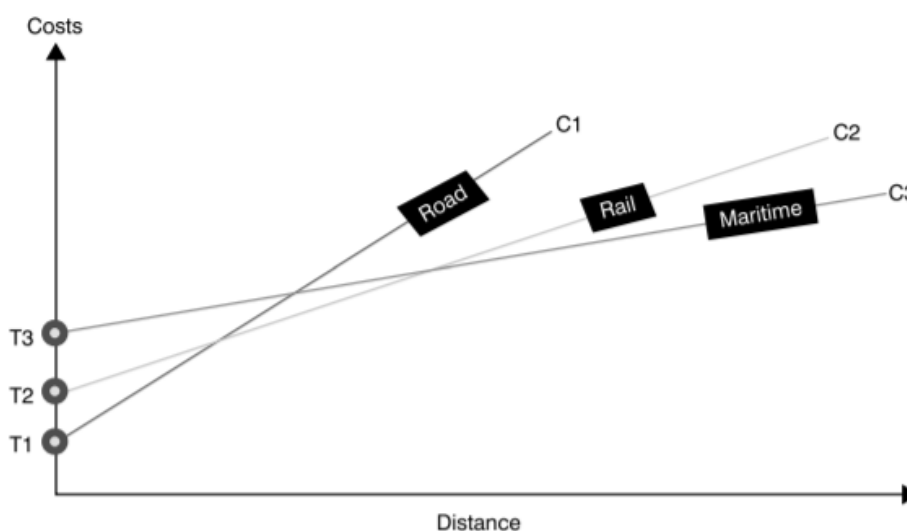
### 4.1. Ανάλυση κόστους

Το κόστος μεταφοράς των εμπορευμάτων κατέχει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της τελικής τιμής των προϊόντων. Για το λόγο αυτό είναι βασικό μέλημα, τόσο των εμπλεκόμενων φορέων όσο και των ίδιων των κρατών, η επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης μεταφοράς, προκειμένου να επιτευχθεί η διατήρηση του κόστους αυτού σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα. Ωστόσο, το συνολικό κόστος καθορίζεται από πληθώρα παραγόντων εκτός της μεθόδου μεταφοράς, όπως είναι τα προσωπικά, τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα ή οι χρόνοι μεταφοράς.

Προκειμένου να γίνει καλύτερη διαχείριση του συνολικού κόστους εμπορευματικών μεταφορών μπορεί να διακριθεί σε δύο επιμέρους κατηγορίες, το εσωτερικό και το εξωτερικό κόστος. Το εσωτερικό κόστος περιλαμβάνει εκείνα τα στοιχεία κόστους που επιβαρύνουν τον μεταφορέα, δηλαδή το κόστος απασχόλησης προσωπικού, των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, του χρόνου παράδοσης, των φόρων ή τις διαφόρων χρεώσεων και τα πάγια κόστη διατήρησης της επιχείρησής του. Από την άλλη, το εξωτερικό κόστος είναι δυσκολότερο να προσδιοριστεί επακριβώς, καθώς είναι εκείνο το κόστος που συνδέεται με το αντίκτυπο της αλυσίδας μεταφοράς στην κοινωνία [6, 23].

Αρκετές είναι οι μελέτες, ωστόσο, που έχουν πραγματοποιηθεί για τον ακριβή προσδιορισμό του συνολικού εξωτερικού κόστους τόσο για την οδική όσο και για τη σιδηροδρομική εμπορευματική μεταφορά. Για μία εμπορευματική μεταφορά 1000 τονοχλιομέτρων, τα σημαντικότερα από αυτά στην περίπτωση των οδικών μεταφορών είναι τα κόστη των εκπομπών ρύπων (33%), της κυκλοφοριακής συμφόρησης (23%) και των ατυχημάτων (22%), ενώ για τις σιδηροδρομικές μεταφορές είναι τα κόστη των εκπομπών ρύπων (31%), του θορύβου (28%) και των υποδομών (23%). Βέβαια, στην περίπτωση των οδικών μεταφορών για μεγαλύτερες αποστάσεις το εξωτερικό κόστος γίνεται διπλάσιο από αυτό των αντίστοιχων μεταφορών μέσω σιδηροδρόμου [25].

Το συνολικό κόστος μιας διατροφικής εμπορευματικής μεταφοράς είναι το σύνολο του κόστους οδικής μεταφοράς για τη συλλογή των εμπορευμάτων στον διατροφικό σταθμό και την τελική αποστολή τους στους παραλήπτες από τον σταθμό (pre and post haulage – PPH), του κόστους λειτουργίας και χρήσης των διατροφικών σταθμών και το κόστος της «long haul» μεταφοράς. Μάλιστα, το κόστος του PPH ανά τονοχιλιόμετρο είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος της μεθόδου που αναλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της μεταφοράς (long haul), όπως ο σιδηρόδρομος. Τέλος, και το κόστος των διατροφικών τερματικών σταθμών κατέχει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κόστους, αφού το κόστος αυτό είναι σταθερό ανάλογα με τη μέθοδο μεταφοράς ανεξάρτητα της διανύμενης απόστασης. Μία σχηματική αναπαράσταση του συνολικού κόστους μεταφοράς για το επιλεγόμενο μέσο παρουσιάζεται στην Εικόνα 12, όπου τα σημεία T1, T2 και T3 αντιστοιχούν στα σταθερά κόστη των αντίστοιχων σταθμών.



*Εικόνα 12. Καμπύλες κόστους ανάλογα της επιλεγόμενης μεθόδου μεταφοράς [20].*

Προκειμένου ένα σύστημα διατροφικής μεταφοράς να είναι βιώσιμο είναι ανάγκη να ελαχιστοποιείται η χρήση του τερματικού σταθμού και του συστήματος συγκέντρωσης και διανομής των εμπορευμάτων, με παράλληλη μεγιστοποίηση της χρήσης του συστήματος μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων (long haul). Στην αντίθετη περίπτωση, τα επιπρόσθετα κόστη της διατροφικής μεταφοράς δεν θα αντισταθμίζονται από την εξοικονόμηση πόρων από το μέσο μεταφοράς που χρησιμοποιείται για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους της απόστασης και, έτσι,

η διατροφική μεταφορά θα κοστίζει περισσότερο από την αποκλειστικά οδική μεταφορά.

Το κόστος χρήσης διατροφικής οδικής - σιδηροδρομικής μεθόδου μεταφοράς αποτελείται από το άθροισμα κόστους των επιμέρους διαδικασιών που την απαρτίζουν [24]:

$$IT = PH + TH + MH$$

Όπου

- IT: το συνολικό κόστος της διατροφικής μεταφοράς.
- PH: το κόστος χρήσης της οδικής μεθόδου (PPH).
- TH: το κόστος χρήσης και λειτουργίας των διατροφικών σταθμών μεταφοράς.
- MH: το κόστος χρήσης του σιδηροδρόμου.

Για να γίνει δυνατή η μείωση κόστους των διατροφικών σταθμών μεταφοράς, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές ενέργειες. Αρχικά, η χρησιμοποίηση συστημάτων διαχείρισης πληροφοριών, όπως τα συστήματα EDI (electronic data interchange), έχουν επιταχύνει αρκετά τις διαδικασίες πληροφόρησης και έχουν μειώσει τους χρόνους σε σχέση με αυτούς που απαιτούσαν παλαιότερες, λιγότερο σύγχρονες, διαδικασίες. Ωστόσο, ως σημαντικότερη ενέργεια μπορεί να χαρακτηριστεί η ένταξη της χρησιμοποίησης των παλετών και των εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία μειώνουν σημαντικά τους χρόνους διαχείρισης των εμπορευμάτων και, κατά συνέπεια, το συνολικό κόστος της διαδικασίας. Χαρακτηριστική είναι η μείωση των εργατοωρών που απαιτεί η διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης ενός μεγάλου πλοίου χρησιμοποιώντας τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια, καθώς η μη χρησιμοποίησή τους θα απαιτούσε περισσότερο από 30 φορές περισσότερες εργατοώρες [20].

Τα συνολικά κόστη ανά τονοχιλιόμετρο, τα οποία συναντώνται στην αγορά των εμπορευματικών μεταφορών, αποδεικνύουν την υπεροχή των διατροφικών εμπορευματικών μεταφορών με τη χρησιμοποίηση του σιδηροδρόμου ως δεύτερης μεθόδου μεταφοράς. Ωστόσο, υπάρχει εξάρτηση του κόστους από την απόσταση

μεταφοράς, αλλά και των ιδιοτήτων των μεταφερόμενων εμπορευμάτων. Για το λόγο αυτό, έχει επιλεγεί να γίνει μελέτη περιπτώσεων για εγχώριες και διεθνείς μεταφορές.

## **4.2. Εγχώριες και διεθνείς εμπορευματικές διατροφικές μεταφορές**

Σήμερα, κυριότερο δίκτυο εμπορευματικών μεταφορών εντός Ελλάδος ορίζεται, αδιαμφισβήτητα, αυτό ανάμεσα σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, καθώς είναι οι περιοχές που οι περισσότερες επιχειρήσεις έχουν την έδρα τους, αλλά και τα σημεία διασύνδεσης με θαλάσσια και αεροπορικά μέσα μεταφοράς. Συγκεκριμένα, το μήκος του εν λόγω οδικού δικτύου ανέρχεται στα 500, περίπου, χιλιόμετρα και χρησιμοποιείται σε καθημερινή βάση από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό μεταφορικών εταιριών, για την κάλυψη των αναγκαίων εμπορευματικών μεταφορών ανάμεσα στις δύο μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας. Εκτός αυτού, οι δύο αυτές πόλεις αποτελούν και δύο αρκετά μεγάλους ενδιάμεσους σταθμούς για τη διανομή των προϊόντων των εταιριών σε ολόκληρη τη χώρα, καθώς διευκολύνουν τη μεταφορά τόσο στα βόρεια όσο και στα νότια της χώρας.

Στον Πίνακα 5 γίνεται μια παρουσίαση των χαρακτηριστικών μεταφοράς και του κόστους ανά τονοχιλιόμετρο για τη συγκεκριμένη διαδρομή τόσο για την αποκλειστικά οδική μεταφορά όσο και για τη διατροφική μεταφορά με χρήση οδικού και σιδηροδρομικού μέσου. Εκεί, γίνεται εμφανής μια μικρή διαφορά κόστους ανάμεσα στις δύο μεθόδους εμπορευματικών μεταφορών. Είναι φανερό πως με αύξηση της διανυόμενης απόστασης μεταφοράς, η διαφορά κόστους μεταξύ των δύο μεθόδων μεγαλώνει, καθιστώντας τη διατροφική εμπορευματική μεταφορά ολοένα και περισσότερο συμφέρουσα έναντι της αποκλειστικά οδικής μεταφοράς. Επιπλέον, η ένταξη της ηλεκτροκίνησης σε ολόκληρο το σιδηροδρομικό δίκτυο της χώρας στα επόμενα χρόνια μπορεί να επιφέρει μείωση στο σιδηροδρομικό κόστος έως και 30% σε σύγκριση με το σημερινό κόστος, γεγονός που θα κάνει την επιλογή χρησιμοποίησης του σιδηροδρόμου ακόμη πιο ανταγωνιστική.

	<b>Οδική μεταφορά</b>	<b>Διατροφική Door – to – door μεταφορά</b>
<b>Μέγιστο καθαρό βάρος φορτίου (τόνοι)</b>	25,5	25,4
<b>Κόστος ανά δρομολόγιο (€)</b>	550	439 – 541
<b>Κόστος ανά χιλιόμετρο (€)</b>	1,1	0,88 – 1,08
<b>Κόστος ανά τονοχιλιόμετρο (€)</b>	0,043	0,034 – 0,042

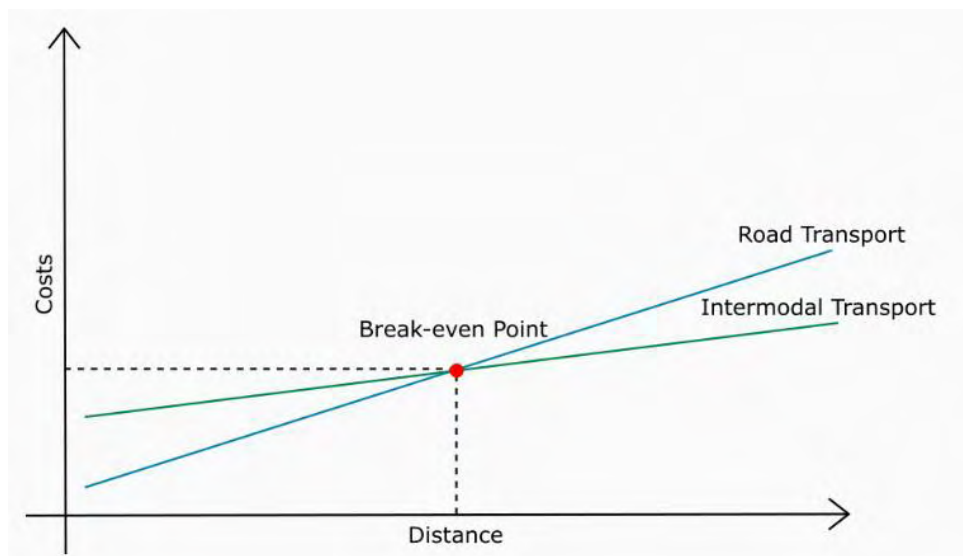
*Πίνακας 5. Σύγκριση μεταφερόμενου βάρους και κόστους οδικής και οδικής - σιδηροδρομικής διατροφικής μεταφοράς.*

Αντίθετα, στην περίπτωση των διεθνών εμπορευματικών μεταφορών συναντάται μεγαλύτερη διανυόμενη απόσταση μέσω του σιδηροδρομικού δικτύου, οπότε είναι προφανές πως το κόστος ανά τονοχιλιόμετρο μειώνεται περαιτέρω. Αυτό συμβαίνει, καθώς η χρησιμοποίηση του σιδηροδρόμου για μεγαλύτερες αποστάσεις αντισταθμίζει το υψηλότερο σταθερό κόστος σε σχέση με την οδική μεταφορά από το χαμηλότερο κόστος ανά τονοχιλιόμετρο.

### **4.3. Εξίσωση κόστους οδικών και διατροφικών μεταφορών**

Μέσω των καμπυλών κόστους της οδικής και διατροφικής μεταφοράς, οι οποίες παρουσιάστηκαν και στην Εικόνα 12, γίνεται άμεση σύγκριση του κόστους χρήσης της κάθε μεθόδου σε σχέση με τη διανυόμενη απόσταση. Από αυτές είναι εμφανές πως η οδική μεταφορά συνδέεται με μικρότερο σταθερό κόστος, το οποίο υφίσταται ανεξαρτήτως της διανυόμενης απόστασης, αλλά μεγαλύτερο κόστος ανά χιλιόμετρο σε σχέση με την αντίστοιχη διατροφική μεταφορά με τη χρήση του σιδηροδρόμου ως μέθοδος μεταφοράς για την κάλυψη του μεγάλου μέρους της απόστασης (long haul). Η διαφορά του χιλιομετρικού κόστους της κάθε μεθόδου μεταφοράς έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μία χιλιομετρική απόσταση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, στην οποία το κόστος της οδικής μεταφοράς ισούται με το κόστος της αντίστοιχης διατροφικής με φορτηγό και σιδηρόδρομο (break – even distance). Η απόσταση αυτή ενδέχεται να είναι διαφορετική ανά χώρα ή γεωγραφική περιοχή, αναλόγως ορισμένων

ειδικών περιορισμών που ενδέχεται να επικρατούν, όπως για παράδειγμα την απόσταση από τον κοντινότερο διατροπικό σταθμό μεταφοράς ή τη κατάσταση του οδικού δικτύου. Επιπλέον, αν και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί ακριβώς, μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται ανάμεσα στα 400 και 500 χιλιόμετρα, με τα 500 χιλιόμετρα να αποτελούν τη συνήθη τιμή αναφοράς. Η γνώση αυτής της «απόστασης ισορροπίας» αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τους μεταφορείς εμπορευμάτων, καθώς τους δίνεται η δυνατότητα απόφασης της μεθόδου μεταφοράς που θα χρησιμοποιήσουν.



*Εικόνα 13. Σύγκριση κόστους φορτίου μέσω οδικής και διατροπικής μεταφοράς.*

Ωστόσο, ο ακριβής ορισμός της απόστασης αυτής διαφέρει ανάλογα με τις μελέτες. Ο UIRR την ορίζει στα 550 χιλιόμετρα για εγχώρια συστήματα διατροπικών μεταφορών και στα 760 χιλιόμετρα για διεθνή συστήματα. Από την άλλη, στη Βόρεια Αμερική οι ερευνητές, μέσω μελέτης της αγοράς, υποστηρίζουν πως η απόσταση που εξισώνει τα κόστη διατροπικής και αποκλειστικά οδικής εμπορευματικής μεταφοράς ανέρχεται περίπου στα 800 χιλιόμετρα (500 μίλια) [26].

Πέραν, όμως, του ενδιαφέροντος για τον ακριβή υπολογισμό της απόστασης αυτής, το ενδιαφέρον των μελετητών εστιάζεται στους τρόπους με τους οποίους είναι δυνατή η μείωση αυτής της κατώτατης απαιτούμενης απόστασης για τη χρήση της διατροπικής οδικής – σιδηροδρομικής μεταφοράς. Συγκεκριμένα, τα έως τώρα στοιχεία αποδεικνύουν πως η απόσταση αυτή μπορεί να αλλάξει σημαντικά με τη χρησιμοποίηση διαφορετικών τεχνολογιών σε όλα τα στάδια της διαδικασίας μεταφοράς ή με τον καλύτερο σχεδιασμό και οργάνωση της μεταφορικής αλυσίδας.

Αναμφίβολα, το κόστος του εκάστοτε υποψήφιου τρόπου μεταφοράς, εφόσον πληρούνται τα υπόλοιπα κριτήρια, είναι αυτό που καθορίζει και την τελική επιλογή της μεθόδου. Για το λόγο αυτό, βασικός στόχος της αλυσίδας οδικών - σιδηροδρομικών διατροπικών μεταφορών είναι η έρευνα των περιπτώσεων που μπορούν να οδηγήσουν στη μείωση του κόστους των παρεχόμενων υπηρεσιών.

#### **4.4. Περιπτώσεις που οδηγούν στη μείωση του κόστους διατροφικής μεταφοράς**

##### **4.4.1. Αύξηση διανυόμενης απόστασης**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση διατροφικής εμπορευματικής μεταφοράς με τη χρήση του σιδηροδρόμου ως δεύτερης μεθόδου κρίνεται συμφέρουσα για αποστάσεις μεγαλύτερες του σημείου εξίσωσης κόστους με την αποκλειστικά οδική μεταφορά (break – even point). Ως εκ τούτου, στην περίπτωση που η διανυόμενη απόσταση με τη χρήση διατροφικής μεθόδου μεταφοράς αυξηθεί, τότε το κόστος γίνεται αρκετά μικρότερο για το σύνολο της εμπορευματικής μεταφοράς, σε σχέση με το αντίστοιχο της αποκλειστικά οδικής.

Σύμφωνα και με την διαγραμματική αναπαράσταση του κόστους στην Εικόνα 13 για τις δύο συγκρινόμενες περιπτώσεις, είναι εμφανές πως η χρήση διατροφικής μεθόδου μεταφοράς συνεπάγεται μεγαλύτερο σταθερό κόστος από την αντίστοιχη αποκλειστικά οδική εμπορευματική μεταφορά. Το κόστος αυτό ονομάζεται σταθερό, καθώς εμπεριέχεται στο συνολικό κόστος της εμπορευματικής μεταφοράς, ανεξαρτήτως της διανυόμενης απόστασης. Το σταθερό κόστος της οδικής – σιδηροδρομικής διατροφικής εμπορευματικής μεταφοράς είναι σημαντικά μεγαλύτερο από την αποκλειστικά οδική μεταφορά, καθώς περιλαμβάνεται σε αυτό και το κόστος των διατροπικών σταθμών μεταφοράς, όπως τα κόστη χρήσης των γερανών και τα λειτουργικά έξοδα. Από την άλλη, στην αποκλειστικά οδική εμπορευματική μεταφορά το σταθερό κόστος είναι σημαντικά μικρότερο, αλλά το κόστος ανά τονοχιλιόμετρο είναι αρκετά μεγαλύτερο από την αντίστοιχη διατροφική μεταφορά. Αυτό συμβαίνει για αρκετούς λόγους, όπως είναι αφενός οι αυξήσεις στις τιμές των καυσίμων, οι κυκλοφοριακές ρυθμίσεις και περιορισμοί που επιβάλλονται στα οδικά μέσα και



αφετέρου η μείωση του κόστους ανά τονοχιλιόμετρο και η ευελιξία που προσφέρει η χρησιμοποίηση του σιδηροδρόμου για μεγάλες αποστάσεις [27].

Εκτός, όμως, του κόστους μεταφοράς, σημαντικό ρόλο στην επιλογή της μεθόδου μεταφοράς από τους εμπλεκόμενους φορείς διαδραματίζει και ο χρόνος παράδοσης. Μέσω μελέτης των δύο περιπτώσεων μεταφοράς εμπορευμάτων, αποκλειστικά οδική και σιδηροδρομική – οδική διατροφική μεταφορά, μπορεί να διαπιστωθεί πως οι καμπύλες των χρόνων παράδοσης ακολουθούν μια αντίστοιχη πορεία με τις καμπύλες κόστους. Συγκεκριμένα, για μικρές ποσότητες και αποστάσεις μεταφοράς η χρησιμοποίηση αποκλειστικά οδικής μεταφοράς κρίνεται περισσότερο συμφέρουσα, λόγω της αμεσότητας που μπορεί να προσφέρει. Αντιθέτως, σε μεγαλύτερες μεταφερόμενες ποσότητες ή διανυόμενες αποστάσεις η υπεροχή της διατροφικής μεθόδου μεταφοράς είναι αδιαμφισβήτητη. Αυτό συμβαίνει λόγω της χρησιμοποίησης του σιδηροδρόμου ως δεύτερης μεθόδου μεταφοράς, καθώς στις μεγάλες αποστάσεις υπερέχει σημαντικά στους χρόνους που απαιτεί για τη μεταφορά αντίστοιχων εμπορευματικών ποσοτήτων σε σχέση με τα οδικά μέσα. Ορισμένοι από τους λόγους που οδηγούν στην υπεροχή αυτή του σιδηροδρόμου είναι, όπως έχει αναφερθεί, η μη εμπλοκή του σε κυκλοφοριακές συμφορήσεις ή ειδικές ρυθμίσεις, καθώς και η αμεσότητα στη διέλευση εθνικών συνόρων.

#### **4.4.2. Μείωση ή εξάλειψη First Mile / Last Mile**

Η χρήση του οδικού μέσου είναι απαραίτητη για τη διατροφική εμπορευματική μεταφορά, καθώς περιλαμβάνει τόσο τη συλλογή των εμπορευματοκιβωτίων από τους αποστολείς όσο και την παράδοσή τους στους τελικούς παραλήπτες από τους διατροφικούς σταθμούς, καλύπτοντας τα first και last miles. Στην Ευρώπη, η συνήθως καλυπτόμενη απόσταση από αυτού του είδους μεταφοράς έχει μία μέγιστη τιμή τα 25 χιλιόμετρα έκαστη κατά μέσο όρο, δηλαδή περίπου 50 χιλιόμετρα για το σύνολο της διατροφικής μεταφοράς, απόσταση η οποία μεταβάλλεται αναλογικά με τη συνολική απόσταση της μεταφοράς. Δεδομένου ενός αξιόπιστου και σωστά οργανωμένου σιδηροδρομικού δικτύου, η PPH είναι η κύρια πηγή καθυστερήσεων σε χρόνους, προκαλώντας αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς και μείωση της αξιοπιστίας όλης της αλυσίδας μεταφοράς [9]. Ταυτόχρονα, αποτελεί και το τμήμα της διατροφικής μεταφοράς που ρυπαίνει περισσότερο το περιβάλλον, απαιτώντας το μεγαλύτερο μέρος

της ενέργειας από ολόκληρη τη διαδικασία, καθώς βρίσκει εφαρμογή εντός του αστικού ιστού, όπου η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι έντονη λόγω του ότι οι υποδομές χρησιμοποιούνται και για τις επιβατικές μεταφορές [28].

Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα του συνολικού κόστους της οδικής – σιδηροδρομικής εμπορευματικής μεταφοράς αποτελεί το τμήμα της μεταφοράς στο οποίο γίνεται χρήση του οδικού μέσου, δηλαδή το PPH. Η μεταφορά αυτή καθορίζει την ανταγωνιστικότητα της οδικής – σιδηροδρομικής διατροφικής μεταφοράς έναντι της αντίστοιχης αποκλειστικά οδικής [9], καθώς η πραγματοποίηση των first και last miles συνεπάγονται ένα μεγάλο κόστος για τη διαδικασία μεταφοράς, το οποίο συνήθως αντιστοιχεί στο 25% έως 40% του συνολικού κόστους μεταφοράς ενός εμπορευματοκιβωτίου [16]. Ωστόσο, το κόστος αυτό μπορεί να ανέλθει και σε ποσοστό έως και 70% σε μερικές περιπτώσεις μεταφοράς σε απόσταση περίπου 300 χιλιομέτρων [29], γεγονός που καταδεικνύει τη σημαντικότητά του στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους μεταφοράς. Συνεπώς, γίνεται εμφανές πως όσο μικρότερη είναι η συνολική απόσταση της διατροφικής μεταφοράς τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό κόστους της PPH [27].

Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κόστους της PPH κατέχουν και τα χρησιμοποιούμενα οχήματα, το μέγιστο μέγεθος των οποίων για διεθνείς οδικές μεταφορές, όπως και τα όρια για το μέγιστο βάρος τους, ορίζεται από κανονισμούς που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος τους ορίζεται στα 16,5 ή 18,75 μέτρα, ανάλογα με τον τύπο του οχήματος, ενώ το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος ανέρχεται στους 40 τόνους. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα αυτό να ανέλθει στους 44 τόνους, στην περίπτωση που εμπορευματοκιβώτια 40 ποδών μεταφέρονται από ή προς ένα διατροφικό σταθμό μεταφοράς [9]. Από την άλλη, στο Ευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο μπορούν να μεταφερθούν ποσότητες 800 έως 1600 τόνων ανά δρομολόγιο [30] και, έτσι, το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων οχημάτων για το στάδιο PPH διαμορφώνει σημαντικά τόσο το κόστος όσο και το συνολικό χρόνο παράδοσης.

Το ενδεχόμενο αναδιαμόρφωσης του νομικού πλαισίου σχετικά με το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος και τις διαστάσεις των οχημάτων εξετάζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, προκειμένου οχήματα μεγαλύτερου μήκους και βάρους να χρησιμοποιηθούν στις διεθνείς μεταφορές. Σύμφωνα με έρευνες, υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα που θα μπορούσε να επιφέρει η υιοθέτηση της συγκεκριμένης πρότασης, όπως μείωση στα

λειτουργικά κόστη των οχημάτων κατά 15% έως 30%, καθώς και στη κυκλοφοριακή συμφόρηση που παρατηρείται στους αυτοκινητοδρόμους, γεγονός που θα είχε ταυτόχρονα θετικό αντίκτυπο στη περιβαλλοντική μόλυνση. Η χρησιμοποίηση οχημάτων μήκους 32 μέτρων έχει δυνατότητες για μεγάλη μείωση του κόστους της PPH, έχοντας ως αντίκτυπο τη μείωση του συνολικού κόστους του αποστολέα κατά 5% έως 10% [9]. Από την άλλη, τα μειωμένα λειτουργικά κόστη θα επέφεραν μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς θα ήταν πιθανή μια αύξηση της ζήτησης οδικών μεταφορών σε ποσοστό 5% - 18%, μειώνοντας τη ζήτηση των αντίστοιχων διατροφικών [31]. Επιπλέον, με τέτοιου είδους τροποποιήσεις στα οχήματα προκύπτουν επιπτώσεις και στην ασφάλεια τόσο των οδηγών και των εμπορευμάτων όσο και των υποδομών. Επομένως, μία αύξηση στο μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος και βάρος των οχημάτων είναι αρκετά αμφιλεγόμενο ζήτημα των εμπορευματικών μεταφορών και, για το λόγο αυτό, παραμένει προς εξέταση από τους αρμόδιους φορείς [9].

Η διανυόμενη απόσταση από την PPH συνδέεται άρρηκτα και με τους διατροφικούς σταθμούς μεταφοράς, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των σταθμών από τους αποστολείς και τους παραλήπτες τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απόσταση που καλείται να καλυφθεί ως first ή last mile [10]. Για το λόγο αυτό, αρκετές είναι οι έρευνες που έχουν εστιάσει στον προσδιορισμό της βέλτιστης γεωγραφικής θέσης των σταθμών, μειώνοντας έτσι το κόστος της PPH [30, 31, 32]. Από την άλλη, μία σύγχρονη τακτική για τους μεγάλους ομίλους εταιριών αποτελεί η δημιουργία σιδηροδρομικής σύνδεσης μεταξύ των εργοστασίων και των κέντρων διανομής τους, προκειμένου να μειώσουν σημαντικά το κόστος της εμπορευματικής μεταφοράς τους, εφόσον εξαλείφεται η ανάγκη οδικής μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό, η εκάστοτε επιχείρηση έχει τη δυνατότητα προγραμματισμού και επιλογής των δρομολογίων που θα εκτελεστούν, καθιστώντας ανεξάρτητη τη διαδικασία μεταφοράς των προϊόντων τους από εξωτερικούς παράγοντες.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

## ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

### 5.1. Ορισμός

Τις τελευταίες δεκαετίες είναι γεγονός πως ολόκληρη η εφοδιαστική αλυσίδα έχει υποστεί πολύ μεγάλες αλλαγές λόγω της αδιάκοπης τεχνολογικής εξέλιξης, η οποία ενισχύει, παράλληλα, και την ανάπτυξη των διατροφικών μεταφορών. Αυτή η τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει στην εφαρμογή προηγμένων διαδικασιών οργάνωσης, όπως τον αναλυτικό σχεδιασμό της πρόβλεψης της ζήτησης, των πωλήσεων και των διαδικασιών μεταφοράς των προϊόντων, διαδικασίες απαραίτητες πλέον για τις σύγχρονες επιχειρήσεις. Παράλληλα, όμως, υπάρχει μεγάλη αλλαγή και στις ανάγκες και τις προσδοκίες των καταναλωτών, οι οποίοι, μέσω της ψηφιοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας, αναζητούν πιο γρήγορες και αποδοτικές υπηρεσίες. Ως εκ τούτου, η αλυσίδα ανεφοδιασμού οφείλει να τροποποιηθεί, προκειμένου να γίνει γρηγορότερη, αποδοτικότερη και περισσότερο ακριβής.

Η ανάπτυξη της διατροφικής μεταφοράς οφείλει να γίνει, ταυτόχρονα, και στα δύο μέρη από τα οποία απαρτίζεται, τόσο στο μικρό όσο και στο μεγάλο μέρος της μεταφοράς, δηλαδή και στο οδικό και στο σιδηροδρομικό κομμάτι της. Όσον αφορά το μικρό τμήμα μεταφοράς, απαιτείται εξέλιξη στον τομέα της ποιότητας, προκειμένου η μεταφορά ευπαθών και μεγάλης αξίας υλικών να γίνει περισσότερο αξιόπιστη. Επιπλέον, αρκετά είναι τα μέτρα τα οποία πρέπει να θεσπιστούν για το κομμάτι μεταφοράς της μεγάλης απόστασης (long haul), ώστε οι χρόνοι της σιδηροδρομικής μεταφοράς να μειωθούν, μέσω του ελέγχου του χρόνου επεξεργασίας των εμπορευμάτων στις εγκαταστάσεις μεταφόρτωσης, των καθυστερήσεων των συρμών και της συχνότητας των δρομολογίων. Επιπρόσθετα, και στα δύο τμήματα της μεταφοράς απαιτείται ελαχιστοποίηση του κόστους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη σταδιακή μείωση του επιμέρους κόστους της εκάστοτε μεθόδου, όπως το κόστος του οδικού μέσου (pre and post haulage costs), το σιδηροδρομικό κόστος, αλλά και το κόστος μεταφόρτωσης. Ωστόσο, είναι σαφές πως με τη μετάβαση στη σύγχρονη αλυσίδα μεταφορών η μείωση του συνολικού κόστους μεταφοράς είναι δεδομένη, αφού αποτελεί μία μόνο από τις αρκετές συνέπειές της [33, 34].

## 5.2. Το πολιτικό πλαίσιο

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναγνωρίσει εδώ και αρκετά χρόνια τη σημασία των εμπορευματικών μεταφορών και, μάλιστα, προβλέπει αύξηση των οδικών κατά 40% το 2030 και περίπου 80% το 2050. Ωστόσο, όπως ήδη έχει ήδη αναλυθεί, οι αποκλειστικά οδικές εμπορευματικές μεταφορές συνεπάγονται και αρκετές επιπτώσεις, όπως περιβαλλοντική ρύπανση, θόρυβο, κυκλοφοριακή συμφόρηση και αρκετά τροχαία δυστυχήματα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο τη μείωσή τους, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν περισσότερο οικολογικοί και πιο ενεργειακά αποδοτικοί τρόποι μεταφοράς. Για το λόγο αυτό, αρκετές είναι οι επενδύσεις στο πεδίο των διατροπικών μεταφορών με μέτρα που αφορούν στη μείωση του συνολικού κόστους μεταφοράς, σε αναβαθμίσεις των χρησιμοποιούμενων υποδομών, στην ανάπτυξη της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, αλλά και στην κοινή χρήση όλων των πληροφοριών, όπως πληροφορίες για την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τη διαθεσιμότητα των υποδομών και τις φυσικές θέσεις των οχημάτων και των εμπορευμάτων.

Μέσω του προγράμματος “Connecting Europe Facility (CEF) for Transport” προβλέπεται η στήριξη των επενδύσεων για την οικοδόμηση νέων υποδομών μεταφορών στην Ευρώπη ή για την αποκατάσταση και αναβάθμιση των υπαρχόντων. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα επικεντρώνεται σε διασυνοριακά έργα, καθώς και έργα που αποσκοπούν στην εξάλειψη των σημείων συμφόρησης ή στη γεφύρωση ελλειψουσών συνδέσεων σε διάφορα τμήματα του κεντρικού δικτύου. Ωστόσο, το σημαντικότερο μέρος του συγκεκριμένου προγράμματος, προϋπολογισμού 24,05 δις € για την περίοδο 2014-2020, είναι πως θα στηρίξει καινοτομίες και πληροφοριακά συστήματα που αφορούν στη βελτίωση των υποδομών μεταφοράς, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αύξηση της απόδοσης και των επιπέδων ασφαλείας των οχημάτων [37].

Κοινός στόχος της παγκόσμιας κοινότητας είναι η ψηφιοποίηση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας, μέσω της ενοποίησης των υπαρχόντων συστημάτων σε ένα και την ένταξη τεχνολογικών καινοτομιών. Η πράξη αυτή θα έχει ως αντίκτυπο τη δημιουργία μιας νέας, εκσυγχρονισμένης αλυσίδας ανεφοδιασμού, η οποία θα είναι περισσότερο αποδοτική, διαφανής και θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σύγχρονης αγοράς. Έτσι, θα δημιουργηθεί ένα αυτοματοποιημένο και τεχνολογικά ανεπτυγμένο

περιβάλλον, το οποίο θα απαλλάσσει από περιττές χειροκίνητες γραφειοκρατικές διαδικασίες, λειτουργώντας με μια αντίστοιχα καινοτόμα οργανωτική δομή.

### **5.3. Ασφάλεια**

Το βασικότερο μέλημα όλων των εμπλεκόμενων φορέων στις εμπορευματικές μεταφορές είναι, αναμφίβολα, η επίτευξη της ασφαλούς και αποδοτικής μεταφοράς των εμπορευμάτων. Για την πραγματοποίησή της κρίνεται απαραίτητη η υιοθέτηση και εφαρμογή αρκετών μέτρων που αφορούν στις επιχειρήσεις και τους σταθμούς διατροπικών μεταφορών, αλλά και το εφαρμοζόμενο θεσμικό πλαίσιο. Νέα συστήματα, τεχνολογίες και δεξιότητες των εμπλεκόμενων φορέων απαιτούνται για τη διασφάλιση των φορτίων κατά τη διάρκεια της μεταφορικής διαδικασίας. Ωστόσο, καταλυτικό ρόλο στην επίτευξη αυτού του στόχου διαδραματίζει και η ουσιαστική συνεισφορά των ίδιων των κρατών, καθώς η παγκόσμια οικονομία είναι εξαρτώμενη από την αποδοτική λειτουργία της μεταφορικής αλυσίδας. Συνεπώς, είναι συμφέρον να υπάρχει συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων και της βιομηχανίας μεταφορών, προκειμένου να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν οι βέλτιστες πρακτικές για την ασφάλεια των διαδικασιών εμπορευματικών μεταφορών, που θα διασφαλίσουν την ασφαλή και ομαλή ροή των αγαθών παγκοσμίως.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, εξαιτίας των τρομοκρατικών επιθέσεων της 11<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 2001, έχουν φανεί περισσότερο ενεργές στην ανάπτυξη συστημάτων ασφαλείας για τις εμπορευματικές μεταφορές σε σχέση με την Ευρώπη. Τα συστήματα αυτά σχεδιάστηκαν για να καλύψουν ολόκληρο το φάσμα της μεταφορικής αλυσίδας, όπως τη συνεργασία κράτους και επιχειρήσεων για τα εφαρμοζόμενα συστήματα ασφαλείας, την παρακολούθηση των εμπορευματοκιβωτίων, την ηλεκτρονική καταγραφή των εργαζομένων μέσω κάρτας (Identification card), τη διακίνηση των απαιτούμενων πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, αλλά και συστήματα κατά της τρομοκρατίας [38].

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον της αγοράς ως προς τα συστήματα ασφαλείας εστιάζεται στα εμπορευματοκιβώτια, καθώς η πλειοψηφία των μεταφορών πραγματοποιείται σε αυτά. Τα στάδια μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία είναι αναγκαίο να έχουν συστήματα και διαδικασίες ελέγχου, είναι αυτά που αφορούν

στην φόρτωσή τους στα εξερχόμενα και στην εκφόρτωσή τους από τα εισερχόμενα οχήματα, αλλά και την εναλλαγή τους από την οδική στη σιδηροδρομική μεταφορά και αντιστρόφως. Έτσι, πρέπει να αναπτυχθούν τεχνολογικά συστήματα που θα υποστηρίζουν την καταγραφή και τον εντοπισμό των εμπορευματοκιβωτίων, αλλά και εκείνα στα οποία οφείλει να γίνει έλεγχος ασφαλείας. Προκειμένου να γίνει αυτό δυνατό απαιτείται η εύρεση και η ένταξη τεχνολογιών που θα οδηγήσουν στις ομοιόμορφες και τυποποιημένες διαδικασίες μεταφοράς. Ωστόσο, ένα σημαντικό αντικείμενο μελέτης είναι και η αναβάθμιση των εφαρμοζόμενων μεθόδων στους ελέγχους ασφαλείας, οι οποίοι οφείλουν να επικαιροποιηθούν ώστε να συμβαδίζουν με τη σύγχρονη και αυτοματοποιημένη σημερινή κοινωνία [38].

Βέβαια, όλες αυτές οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι οργανωτικές δομές δεν μπορούν να εφευρεθούν και να γίνουν πράξη στην καθημερινότητα των εμπορευματικών μεταφορών εάν δεν υπάρχει το κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο που θα δώσει κίνητρα για την έρευνα και την ανάπτυξή τους, καθώς και τον εκ νέου σχεδιασμό διαδικασιών που σχετίζονται με τη λειτουργία των διατροφικών σταθμών. Τα κίνητρα αυτά πρέπει να θέτουν ως στόχο την ασφαλή μεταφορά των εμπορευμάτων, διασφαλίζοντας την ποιότητα και την απόδοση των παρεχόμενων υπηρεσιών, με ιδιαίτερη έμφαση στον ανασχεδιασμό και αναδιοργάνωση των διαδικασιών που εφαρμόζονται κατά τη λειτουργία των διατροφικών σταθμών μεταφοράς [38]. Με βάση τα παραπάνω, γίνεται η παράθεση όλων των παραγόντων που θα συμβάλλουν στην ασφαλή και αποδοτικότερη λειτουργία της μεταφορικής αλυσίδας, χωρισμένοι σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις οργανωτικές και τις τεχνολογικές καινοτομίες.

#### **5.4. Οργανωτικές καινοτομίες**

Βασικό τμήμα το οποίο χρήζει ανάπτυξης είναι η χρησιμοποιούμενη οργανωτική δομή στις σιδηροδρομικές μεταφορές. Μία σημαντική πηγή προβλημάτων είναι το γεγονός πως τα περισσότερα σιδηροδρομικά δίκτυα χρησιμοποιούνται παράλληλα τόσο από τους επιβατικούς όσο και από τους εμπορευματικούς σιδηροδρόμους. Αυτό οδηγεί σε αρκετές καθυστερήσεις λόγω συμφόρησης του δικτύου, εφόσον τα εμπορευματικά τρένα αναπτύσσουν μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με τα επιβατικά. Έτσι, τα τρένα που αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες, δηλαδή τα επιβατικά, εξαναγκάζονται σε επιβράδυνση της κίνησής τους, ώστε να κινούνται με την ίδια

ταχύτητα με τα αντίστοιχα εμπορευματικά. Ως πιθανή λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα έχει προταθεί η δημιουργία μιας «εικονικής» σιδηροδρομικής γραμμής. Αυτή η νέα γραμμή θα επιτρέπει στο τρένο χαμηλότερης ταχύτητας να εισέλθει σε αυτή, προκειμένου το γρηγορότερο τρένο να μην καθυστερήσει και να μπορέσει να περάσει από το σημείο, ερχόμενο από την ίδια ή την αντίθετη κατεύθυνση. Βέβαια, η «εικονική» γραμμή θα έχει σημαντικά μικρότερο μήκος από την κανονική σιδηροδρομική γραμμή, αλλά αρκετά μεγάλο ώστε το τρένο χαμηλής ταχύτητας να μπορεί να εισέλθει σε αυτή [30].

Μάλιστα, υπάρχουν ελάχιστες σιδηροδρομικές τροχιές παγκοσμίως που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από εμπορευματικά τρένα [35]. Ως πιθανή λύση για την εξάλειψη ή τον μετριασμό του φαινομένου αυτού μπορεί να θεωρηθεί η απελευθέρωση της αγοράς των σιδηροδρομικών μεταφορών, καθώς, έτσι, θα επέλθει μια νέα τάξη πραγμάτων, οδηγώντας σε περισσότερες επενδύσεις που αφορούν στις υποδομές [12]. Το γεγονός αυτό θα επηρεάσει θετικά τόσο το κόστος όσο και το χρόνο που θα απαιτείται για το σύνολο της διατροφικής μεταφοράς. Αυτό θα γίνει λόγω της δυνατότητας αύξησης της συχνότητας των δρομολογίων, καθώς δημιουργώντας νέες υποδομές για την κίνηση των συρμών τα εμπορευματικά τρένα δεν θα απαιτείται να εκτελούν τα δρομολογία τους μόνο κατά τις βραδινές ώρες.

Προκειμένου η αγορά των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών να είναι ανταγωνιστική έναντι των υπολοίπων μεθόδων μεταφοράς, η ταχύτητα των μεταφορών οφείλει να αυξηθεί. Σύμφωνα με έρευνες μια αύξηση της μέγιστης ταχύτητας των συρμών κατά 20% μπορεί να επιφέρει πολύ σημαντικά αποτελέσματα στη μείωση του κόστους, αλλά και του χρόνου της door – to – door διατροφικής μεταφοράς [12]. Η αύξηση αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσω νέων τεχνολογιών στα χρησιμοποιούμενα τρένα. Από την άλλη, η καλύτερη οργάνωση της διαχείρισης των φορτίων, αλλά και η προτεραιότητα στην κίνηση των εμπορευματικών σιδηροδρόμων μπορεί να οδηγήσει σε όμοια αποτελέσματα.

Σημαντικό ρόλο στη βιώσιμη ανάπτυξη της μεταφορικής αλυσίδας διαδραματίζουν οι διατροφικοί σταθμοί μεταφοράς. Έτσι, η σχεδιάσή τους οφείλει να γίνεται προς την κατεύθυνση μείωσης τόσο της κατανάλωσης ενέργειας όσο και των εκπομπών CO<sub>2</sub>, εκτός του αποτελεσματικού χειρισμού των φορτίων. Από λειτουργικής πλευράς, μπορεί να γίνει διαχωρισμός σε δύο εξίσου σημαντικά προβλήματα: τον προσδιορισμό



των θέσεων αρχικής φόρτωσης και επαναφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων στις διάφορες αμαξοστοιχίες, όπως και την οργάνωση του εξοπλισμού χειρισμού των φορτίων, οι οποίοι εξασφαλίζουν την ασφαλή μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων είτε κατά την εναλλαγή συρμού είτε κατά τη μετάβαση από τον σιδηρόδρομο στο οδικό μέσο. Τα δύο παραπάνω θέματα χρήζουν να εξεταστούν για την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου επεξεργασίας των εμπορευμάτων, μέσω βελτιστοποίησης των διαδικασιών λειτουργίας των διατροπικών σταθμών [21, 37].

Μεγάλο είναι και το πλήθος των ερευνών που εστιάζουν στα οργανωτικά ή λειτουργικά προβλήματα που σχετίζονται με την εμπορευματική φόρτωση των οχημάτων. Ως σημαντικότερο αυτών μπορεί να θεωρηθεί η διαχείριση των κενών φορτίων, φαινόμενο στο οποίο συνήθως δεν δίνεται η απαιτούμενη προσοχή από τους αρμόδιους φορείς. Μέσω αυτής της ελλιπούς διαχείρισης των μεταφερόμενων όγκων, υπάρχουν αρκετά οχήματα που δεν αξιοποιούνται ορθά, με το φαινόμενο του «empty travelling» να εμφανίζεται συχνά είτε πριν, μετά ή και κατά τη διάρκεια προγραμματισμένων δρομολογίων. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν αρκετές επιπτώσεις στη λειτουργική και οικονομική απόδοση της μεταφορικής αλυσίδας, οι οποίες σχετίζονται με τη διακίνηση των κενών εμπορευματικών οχημάτων σε οποιοδήποτε στάδιο της διατροπικής μεταφοράς. Ως εκ τούτου, οι ερευνητές έχουν εστιάσει στις αιτίες που προκαλούν το φαινόμενο, ώστε να οδηγηθούν στην επίλυσή του, με κύριες αιτίες να ορίζονται οι νόμοι των κρατών, οι διάφορες συμφωνίες μεταξύ των επιχειρήσεων και οι πιθανοί περιορισμοί του εκάστοτε οχήματος μεταφοράς, όπως το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος μεταφοράς [40].

## **5.5. Τεχνολογικές καινοτομίες**

### **5.5.1. Αυτοματοποιημένα και ευφυή συστήματα μεταφορών**

Ο εκσυγχρονισμός σε όλο το φάσμα της εφοδιαστικής αλυσίδας, από τον εφοδιασμό των πρώτων υλών από τους προμηθευτές για την παραγωγή των προϊόντων έως τη μεταφορά των προϊόντων στους καταναλωτές, οδηγεί σε μία νέα τάξη πραγμάτων, την Εφοδιαστική Αλυσίδα 4.0 (Supply Chain 4.0). Στην εφοδιαστική αλυσίδα 4.0 εφαρμόζονται οι καινοτομίες της Βιομηχανίας 4.0, όπως το Internet of

Things (IOT), η προηγμένη ρομποτική, τα analytics και τα big data, προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση της υπηρεσίας μεταφοράς [39, 40].

Η ψηφιοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι αποτέλεσμα της τεράστιας ανάπτυξης που σημειώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες στα πληροφοριακά συστήματα. Μία από τις σημαντικότερες αλλαγές που σημειώθηκαν λόγω αυτής της ανάπτυξης είναι η μετάβαση στις έξυπνες συσκευές, οι οποίες αξιοποιούνται σε όλα τα στάδια της αλυσίδας. Η αυτοματοποίηση τόσο των φυσικών εργασιών όσο και του σχεδιασμού των βιομηχανιών ενισχύει την απόδοση της αλυσίδας εφοδιασμού. Συγκεκριμένα, αυτοματοποιημένες μηχανές τεχνητής νοημοσύνης αναλαμβάνουν όλα τα στάδια χειρισμού των φορτίων είτε σε παλέτες ή κουτιά είτε μεμονωμένα τεμάχια. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την εκφόρτωση παραληφθέντων φορτίων, την τακτοποίησή τους εντός των αποθηκών, αλλά και την περισυλλογή, ομαδοποίηση και φόρτωση του φορτίου στο μέσο μεταφοράς. Η τεχνητή νοημοσύνη, τα drones και η ναυοτεχνολογία αναμένεται να κατέχουν ακόμη ισχυρότερη θέση στην εφοδιαστική αλυσίδα του μέλλοντος. Με τον τρόπο αυτό, ολόκληρη η διαδικασία επιταχύνεται, μειώνοντας παράλληλα στο ελάχιστο την πιθανότητα λανθασμένων κινήσεων, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν επιπτώσεις στην ασφάλεια τόσο των προϊόντων όσο και των εργαζομένων.

Η νέα εποχή στον τομέα του διαδικτύου χαρακτηρίζεται από ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση βασιζόμενη σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές και πληροφοριακά συστήματα. Όλες αυτές οι πρόσφατες καινοτομίες κατέστησαν δυνατή τη διασύνδεση ανθρώπων και μηχανών σε ένα περιβάλλον κυβερνοφυσικού συστήματος (cyber – physical system), χρησιμοποιώντας πληροφορίες που λαμβάνονται από διαφορετικές πηγές, αλλά και την άμεση επικοινωνία μεταξύ των μηχανών. Αυτές οι πρόσφατες εξελίξεις επέτρεψαν όχι μόνο τις ουσιαστικά ατελείωτες δυνατότητες διασύνδεσης ανθρώπων και μηχανών σε ένα περιβάλλον κυβερνοφυσικού συστήματος χρησιμοποιώντας πληροφορίες που λαμβάνονται από διαφορετικές πηγές αλλά και άμεσες επικοινωνίες μεταξύ μηχανών.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη και τη χρησιμοποίηση τέτοιων ευφών συστημάτων είναι η χρησιμοποίηση λύσεων ICT (Information and Communication Technology), οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε πιο πρακτικές και ολοκληρωμένες υπηρεσίες που μέχρι πρότινος παρέχονταν μεμονωμένα και σειριακά. Οι λύσεις αυτές

κατέχουν σημαντικό ρόλο στην οργάνωση των διαδικασιών μεταφοράς, καθώς τα διατροφικά συστήματα απαιτούν τη συνεχή επικοινωνία και συνεργασία των διαφόρων εμπλεκόμενων ομάδων, προκειμένου να υπάρχει ομαλή λειτουργία της διατροφικής αλυσίδας [21]. Η επικοινωνία μεταξύ όλων των φορέων είναι απαραίτητη, καθώς απαιτείται λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και, έτσι, οι λύσεις ICT παρέχουν αυτή τη δυνατότητα, εξασφαλίζοντας την ποιοτική και ομαλή ροή των δεδομένων και των πληροφοριών. Με την ένταξη των νέων τεχνολογιών καθίσταται, επίσης, δυνατή η διευκόλυνση υιοθέτησης και οργανωτικών καινοτομιών στη λειτουργική δομή των διατροφικών σταθμών και των σχετιζόμενων επιχειρήσεων [35].

Οι λύσεις ICT μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη όλων των σταδίων της λειτουργίας της αγοράς διατροφικών μεταφορών, αν και μέχρι σήμερα δεν έχουν πραγματοποιηθεί όλες οι απαραίτητες ενέργειες για την πλήρη ένταξη τους. Αναλυτικότερα, η απόκτηση, η επεξεργασία και η διάδοση των απαραίτητων δεδομένων και πληροφοριών ανάμεσα στους εμπλεκόμενους φορείς, όπως οι αποστολείς, οι παραλήπτες και οι πάροχοι των υπηρεσιών μεταφοράς, πραγματοποιούνται αυτοματοποιημένα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών στους διατροφικούς σταθμούς μεταφοράς όσο και για την επιτάχυνση των υπηρεσιών ασφάλειας των εμπορευμάτων. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν τη βέλτιστη κατανομή του χώρου και την οργάνωση των διαδικασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων στους διατροφικούς σταθμούς μεταφοράς, αλλά και τον έλεγχο των ίδιων των εμπορευμάτων μέσω barcodes, συσκευών αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) και του παγκόσμιου συστήματος τοποθεσίας (GPS) [36, 41].

Η οργάνωση, η αποστολή, η ασφάλεια και η διοίκηση των μεταφορών και των ίδιων των φορτίων, όπως και διαχείριση όλων των σχετικών πληροφοριών αποτελούν τα κομβικά σημεία της βιομηχανίας των εμπορευματικών μεταφορών. Όλα αυτά γίνονται πράξη με τη βοήθεια του Διαδικτύου των Πραγμάτων ή Internet of Things (IOT), δηλαδή τη δικτυακή σύνδεση καθημερινής χρήσης αντικειμένων, ενσωματώνοντας ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο, προκειμένου να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Έτσι, τα αντικείμενα αυτά αποκτούν μια μοναδική διεύθυνση IP και αλληλοεπιδρούν με τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας [44]. Μέσω αυτού, προσφέρεται σημαντική υποστήριξη στην οργάνωση και τη λειτουργία της αγοράς τόσο των σιδηροδρομικών

όσο και των οδικών μεταφορών, μέσω της αυτοματοποιημένης οργάνωσης όλου του εύρους των καθημερινών εργασιών, συμπεριλαμβανομένης της κίνησης των εμπορευματοκιβωτίων. Επιπλέον, συμβάλλει στην πραγματοποίηση ευφούς σχεδιασμού και προγραμματισμού του φορτίου, δίνοντας, παράλληλα, πρόσβαση σε δεδομένα που αφορούν στη ζήτηση των μεταφορών ή άλλων απαραίτητων για την επιχείρηση στοιχείων. Ακόμη, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης δεδομένων της μηχανής του οχήματος σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα να εντοπίζονται άμεσα οποιαδήποτε προβλήματα που ίσως παρουσιαστούν στο συγκεκριμένο δρομολόγιο [41, 42]. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία του IOT κρίνεται απαραίτητη για την εγγύηση της ασφάλειας της μεταφοράς, καθώς και για την παροχή ολοκληρωμένης λύσης για τη συλλογή, τη μετάδοση και την επεξεργασία των πληροφοριών που η βιομηχανία τόσο των σιδηροδρομικών όσο και των οδικών μεταφορών αναζητά.

Η χρήση και ο συνδυασμός όλων αυτών των τεχνολογικών καινοτομιών δημιουργεί ευφυή συστήματα, οδηγώντας στην ανάπτυξη της επιστήμης της τεχνητής νοημοσύνης (AI). Η τεχνητή νοημοσύνη συνεπάγεται πληθώρα πλεονεκτημάτων για την επιστημονική κοινότητα, όπως το Machine Learning (ML). Το ML παρέχει στα συστήματα τη δυνατότητα αυτόματης εκμάθησης και βελτίωσης μέσω της λειτουργίας τους, χωρίς να χρειάζονται προγραμματισμό. Στη σημερινή αλυσίδα μεταφορών, η οποία οφείλει να λαμβάνει υπόψιν της αναρίθμητα δεδομένα και περίπλοκους περιορισμούς, ακολουθούνται κυρίως εμπειρικά μοντέλα λειτουργίας που βασίζονται στον ανθρώπινο παράγοντα. Η ένταξη του ML στον τομέα των μεταφορών κατέχει καθοριστικό ρόλο, επιφέροντας πολύ σημαντικά αποτελέσματα στην απόδοση της διατροφικής αλυσίδας. Έτσι, όλα τα προβλήματα βελτιστοποίησης και πρόβλεψης που συναντώνται σε αυτή μπορούν να επιλυθούν από συστήματα που χρησιμοποιούν το ML, τα οποία δέχονται και επεξεργάζονται τόσο τα ποσοτικά όσο και τα ποιοτικά δεδομένα της αλυσίδας [43, 44].

### **5.5.2. Εναλλακτικά καύσιμα και ηλεκτροκίνηση**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη προσπάθεια από τη διεθνή κοινότητα για μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και ανεξαρτητοποίηση από τον άνθρακα. Στο δρόμο αυτό σημαντική είναι και η έρευνα που γίνεται για τον τομέα των μεταφορών, καθώς αναμφίβολα αποτελεί μία σημαντική πηγή περιβαλλοντικής

μόλυνσης [47]. Αν και η χρήση διατροφικής μεταφοράς είναι αποδεδειγμένα μια πιο φιλική προς το περιβάλλον λύση, η έστω και μειωμένη χρήση οδικών μέσων εξακολουθεί να αποτελεί την κύρια πηγή ρύπανσης, μέσω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), λόγω της χρήσης του εντός του αστικού ιστού.

Χαρακτηριστικό του επιπέδου ρύπανσης αποτελεί το γεγονός ότι στη Μεγάλη Βρετανία το 2008 ο τομέας των μεταφορών ήταν υπεύθυνος για το 23% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Συγκεκριμένα, το 91,6% αυτού του ποσοστού προέρχεται από τα οδικά μέσα μεταφοράς, με το 39% να οφείλεται αποκλειστικά στις εμπορευματικές μεταφορές. Σε παγκόσμια κλίμακα, ο κλάδος των μεταφορών είναι υπεύθυνος για το 18% της κατανάλωσης ενέργειας και για το 17% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> [48]. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά ανησυχητικό για την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα και για το λόγο αυτό υπάρχει μεγάλη ανάγκη για την εύρεση πιο οικολογικών στρατηγικών. Η εύρεση λύσεων που θα χαρακτηριστούν φιλικές προς το περιβάλλον, χωρίς να πληγεί ταυτόχρονα οικονομικά ο κλάδος των μεταφορών, αποτελεί μεγάλη πρόκληση. Οι στρατηγικές αυτές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα μέτρων, όπως βελτιώσεις στην αεροδυναμική, το βάρος, τη χωρητικότητα και τη δρομολόγηση των οχημάτων, αλλά σημαντικότερη κρίνεται η χρησιμοποίηση εναλλακτικών καυσίμων [45, 47].

Οι κύριοι εναλλακτικοί φορείς ενέργειας που μελετώνται σήμερα είναι το υδρογόνο και τα βιοκαύσιμα. Το υδρογόνο αποτελεί μία καταρχήν εφικτή λύση, αλλά τα βασικά εμπόδια για τη χρησιμοποίησή του επικεντρώνονται στις ενέργειες που απαιτούνται για τις υποδομές της διακίνησης και αποθήκευσής του. Εξάλλου, η συνολική απόδοση ενός συστήματος υδρογόνου δεν ξεπερνά το 23%, σε αντίθεση με τις σύγχρονες μηχανές Diesel που κυμαίνονται σε αποδόσεις 40% έως 45% [47]. Έτσι, οι μηχανές Diesel καταναλώνουν περίπου τη μισή ενέργεια από τις αντίστοιχες που χρησιμοποιούν υδρογόνο.

Η επιλογή του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας δεν αποτελεί μια καινοτόμα ιδέα, καθώς χρησιμοποιείται ήδη σε πολλές χώρες από τη δεκαετία του 1960. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε για παροχή ενέργειας σε επίπεδο πόλεων για τον φωτισμό των δρόμων, αλλά και σε επίπεδο τροφοδοσίας των κατοίκων για τις οικιακές εργασίες. Στον τομέα των μεταφορών, το υδρογόνο θεωρείται ως ένα πιθανό εναλλακτικό καύσιμο, καθώς η χρήση του δεν εκπέμπει ρύπους, με τις εκπομπές NO<sub>x</sub> SO<sub>2</sub> να

μπορούν να μειωθούν κατά 70% έως 80% σε σχέση με την περίπτωση των ορυκτών καυσίμων. Βέβαια, η επιλογή του υδρογόνου για περιβαλλοντικούς λόγους είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον τρόπο παροχής του. Μία πηγή που δεν είναι φιλική προς το περιβάλλον θα μπορούσε να οδηγήσει σε χειρότερα αποτελέσματα από αυτά της απευθείας χρήσης των ορυκτών καυσίμων [48].

Η επιλογή του υδρογόνου ως καυσίμου μεταφοράς μπορεί να επιφέρει αρκετά οφέλη ως προς την περιβαλλοντική μόλυνση, αλλά δεν μπορεί να κριθεί προτιμητέο από οικονομική σκοπιά. Συγκεκριμένα, το κόστος του υδρογόνου κατά βάρος αποτελεί συνδυασμό αρκετών παραγόντων, όπως είναι το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του εργοστασίου υδρογόνου, το κόστος της πρώτης ύλης (είτε πρόκειται για αέριο, ηλεκτρικό ρεύμα ή θερμική ενέργεια), το κόστος συμπίεσης και αποθήκευσής του, το κόστος μεταφοράς και παράδοσής του, αλλά και άλλες κατηγορίες κόστους [50]. Το άθροισμα όλων αυτών των επιμέρους στοιχείων κόστους οδηγεί, τουλάχιστον με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα, σε ένα πολύ μεγαλύτερο συνολικό κόστος σε σχέση με την ηλεκτροκίνηση και τα ορυκτά καύσιμα και, έτσι, δεν αποτελεί μια εφικτή λύση για την αλυσίδα μεταφορών.

Όσον αφορά τις σιδηροδρομικές μεταφορές, το υδρογόνο ως καύσιμο προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την ηλεκτροκίνηση και τη χρησιμοποίηση μηχανών diesel. Η χρήση υδρογόνου απαλλάσσει τους συρμούς από τα συνδεδεμένα καλώδια που απαιτούνται για την ηλεκτροκίνηση, αλλά και δεν απαιτεί περισσότερο χώρο στις σιδηροδρομικές γραμμές από όσο χρειάζεται ο αντίστοιχος συρμός που λειτουργεί με μηχανή diesel [50]. Όμως, τα εμπόδια που συναντώνται είναι όμοια με την περίπτωση των οδικών μεταφορών και αφορούν κυρίως στο υψηλό κόστος που προκύπτει τόσο από την δημιουργία όσο και από τη μεταφορά και αποθήκευσή του.

Από την άλλη, στη χρησιμοποίηση βιοκαυσίμων δεν συναντάται το πρόβλημα της υποδομής, γεγονός που εντείνει το ενδιαφέρον πιθανής χρησιμοποίησής τους ως καύσιμο μεταφοράς. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στο γεγονός ότι τα καύσιμα αυτά είναι βιοδιασπώμενα και οι έρευνες γύρω από αυτά δείχνουν μια σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Επιπρόσθετα, αποτελούν μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεν περιέχουν ενώσεις θείου και δεν συμβάλλουν στη συσσώρευση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα, παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τα ορυκτά καύσιμα, ιδίως στον αριθμό κετανίου, και για τη χρησιμοποίησή τους δεν απαιτούνται τροποποιήσεις στη

μηχανή των οχημάτων, καθιστώντας τα ικανά για άμεση χρήση [51]. Σημαντικός παράγοντας, όμως, για τον προσδιορισμό των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> καθίσταται η πηγή από την οποία δημιουργείται το βιοντίζελ, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπές μεγαλύτερες και από αυτές που προκύπτουν από την απευθείας χρησιμοποίηση ορυκτού καυσίμου, όπως για παράδειγμα η χρήση βιοντίζελ από φοινικέλαιο [48].

Με τη δυσκολία που συναντάται στην υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων για τις εμπορευματικές μεταφορές, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας εστιάζεται στην ηλεκτροκίνηση. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα προσφέρουν πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως είναι οι μηδενικές εκπομπές ρύπων και η ελαχιστοποίηση της ηχορύπανσης κατά τη λειτουργία τους. Ωστόσο, και αυτή η μέθοδος συνεπάγεται προκλήσεις για την πλήρη ένταξή της στην αλυσίδα μεταφορών, με κυριότερες αυτές που σχετίζονται με τη δημιουργία των απαραίτητων υποδομών τόσο για τη διαδικασία παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για τη φόρτιση των οχημάτων. Χαρακτηριστικό της επίδρασης του τρόπου παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί το γεγονός ότι στην περίπτωση που ανεξαρτητοποιηθεί από τον άνθρακα, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μπορούν να μειωθούν έως και 93% έως το 2040, σε σύγκριση με τις σημερινές μηχανές Diesel [47].

Η τεχνολογική εξέλιξη, όμως, επιδρά καταλυτικά στον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρικών οχημάτων, προσφέροντάς τους συνεχώς μεγαλύτερη ικανότητα προσαρμογής στις απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό μέσω του μεγαλύτερου λειτουργικού προβλήματος που συναντάται στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, την αυτονομία τους. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα οχήματα αυτά αποτελούν τροχοπέδη για την ευρεία υιοθέτηση της χρήσης τους από την αγορά των μεταφορών, καθώς απαιτούν μεγάλους χρόνους και δημιουργία νέων σταθμών φόρτισης. Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό αμβλύνεται από την ένταξη νέων τεχνολογιών, όπως συστήματα που αποθηκεύουν την κινητική ενέργεια κατά την πέδηση, την οποία και τροφοδοτούν μετέπειτα στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης κατά την επιτάχυνση του οχήματος [45, 46, 47]. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται σημαντικά η ενεργειακή ανάγκη του οχήματος, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η συχνότητα φόρτισης. Από την άλλη, για την αποφυγή του προβλήματος αυτονομίας των οχημάτων, έχει ήδη ξεκινήσει να χρησιμοποιείται και η τεχνολογία ηλεκτροκίνησης μέσω ρευματολήπτη μετακινούμενου ηλεκτροκινητήρα. Η λειτουργία αυτή είναι παρόμοια με αυτή των τραμ και των τρόλεϊ και εξαλείφει το πρόβλημα αυτονομίας, καθώς η τροφοδοσία

ηλεκτρικού ρεύματος δεν πραγματοποιείται μέσω μπαταρίας, αλλά αποκλειστικά από τα καλώδια που βρίσκονται τοποθετημένα πάνω στο όχημα και συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο που βρίσκεται στο οδικό δίκτυο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14 [47]. Βέβαια, η χρήση αυτής της τεχνολογίας συνεπάγεται άλλου είδους προβλήματα, όπως η εξαρτημένη κίνηση του οχήματος, εφόσον δεν μπορεί να υπάρξει πρόσβαση σε μέρη του οδικού δικτύου που δεν είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο.



*Εικόνα 14. Ηλεκτροκίνηση μέσω ρευματολήπτη μετακινούμενου ηλεκτροκινητήρα για οχήματα βαρέου τύπου από τη Siemens [47].*

Ωστόσο, το μέλλον των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών εστιάζεται στην ολοκληρωτική ένταξη και την περαιτέρω ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Όπως και στην περίπτωση των οδικών μεταφορών, η ηλεκτροκίνηση μπορεί να επιφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και της ηχορύπανσης. Τα τρένα που χρησιμοποιούνται για εμπορευματικές μεταφορές έχουν αρκετά μεγαλύτερες απαιτήσεις ενέργειας από τα αντίστοιχα των επιβατικών μεταφορών, παρόλο που η ταχύτητά τους είναι σημαντικά μικρότερη (λιγότερο από 130 km/h). Βέβαια, η οργάνωση και η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία διαφέρει από χώρα σε χώρα. Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, αλλά και ανά τον κόσμο, τα εμπορευματικά τρένα χρησιμοποιούν τις ίδιες σιδηροδρομικές γραμμές με τα επιβατικά τρένα και η απαίτησή τους σε ενέργεια ανέρχεται στα 4 έως 8 MW [50, 51].

Τα ηλεκτροκίνητα τρένα μεταφέρουν περισσότερο από το 85% της ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτούνται στους τροχούς, γεγονός που τα καθιστά το πιο



αποδοτικό μεταφορικό μέσο σε σχέση με τα υπόλοιπα [50]. Σε σύγκριση με τα τρένα που χρησιμοποιούν μηχανές diesel, τα ηλεκτροκίνητα προσφέρουν μεγαλύτερη επιτάχυνση, καλύτερη απόδοση ακόμα και σε εδάφη με μεγαλύτερη κλίση, αλλά και τη δυνατότητα πέδησης με ανάκτηση ενέργειας (regenerative braking), όπως και στην περίπτωση των οδικών μεταφορών [54]. Για τους λόγους αυτούς, τόσο οι ήδη ανεπτυγμένες όσο και οι αναπτυσσόμενες χώρες προσπαθούν να εντάξουν την ηλεκτροκίνηση σε ολόκληρο το σιδηροδρομικό τους δίκτυο.

Σήμερα, η πλειοψηφία των εμπορευματικών τρένων που εκτελούν μεταφορές μεγάλων αποστάσεων χρησιμοποιούν, συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC systems), με τάσεις που κυμαίνονται από 15 έως 25 kV και συχνότητες 16,7 ή 50 – 60 Hz. Συγκεκριμένα, η Γερμανία, η Αυστρία, η Ελβετία και η Σουηδία χρησιμοποιούν τρένα με καλώδια 15 kV και 16,7 Hz, ενώ οι περισσότερες από τις υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης χρησιμοποιούν τρένα με 25 kV και 50 Hz. Ωστόσο, οι διαφορές αυτές ανάμεσα στις χώρες δημιουργεί και αρκετά προβλήματα στη λειτουργία των εμπορευματικών τρένων, όπως η διαλειτουργικότητα των σιδηροδρομικών συστημάτων που καλύπτουν διαφορετικές χώρες. Επιπλέον, απαιτούνται περίπλοκα ηλεκτρικά σχέδια εάν το τροχαίο υλικό πρέπει να λειτουργεί σε διαφορετικά ηλεκτροφόρα συστήματα, οδηγώντας στις λεγόμενες μηχανές διπλής τάσης. Για τους λόγους αυτούς, βασικό μέλημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η εύρεση νέων τεχνολογιών που θα οδηγήσουν στην εξάλειψη των φαινομένων αυτών μέσω της τυποποίησης [54].

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκαν οι διατροφικές οδικές – σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της επιμέρους ανάλυσης των οδικών και των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών. Έπειτα, έγινε εστίαση στα δομικά χαρακτηριστικά της διατροφικής εμπορευματικής μεταφοράς με χρήση του σιδηροδρόμου ως δεύτερο μέσο, παραθέτοντας τα στοιχεία της και τα στάδια που την απαρτίζουν.

Όπως μελετήθηκε, τα περιβαλλοντικά οφέλη της χρήσης του σιδηροδρόμου και της μειωμένης χρήσης των οδικών μέσων είναι σημαντικά. Παράλληλα, εξίσου σημαντικά είναι και τα οικονομικά οφέλη από την επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου. Ωστόσο, η χρήση του σιδηροδρόμου, εκτός του χαμηλού κόστους ανά τονοχιλιόμετρο, συνεπάγεται ένα μεγαλύτερο σταθερό κόστος από τα οδικά μέσα. Ως εκ τούτου, υπάρχει μια συγκεκριμένη απόσταση ισορροπίας (break – even distance), στην οποία γίνεται εξίσωση του οδικού και του διατροφικού κόστους μεταφοράς.

Τέλος, αναλύθηκαν διεξοδικά τα στοιχεία εκείνα που, με την υιοθέτησή τους από τον κλάδο των διατροφικών μεταφορών, οδηγούν στη διαμόρφωση της σύγχρονης αλυσίδας μεταφοράς. Τα στοιχεία αυτά, αφορούν στο πολιτικό πλαίσιο που ακολουθείται, τροποποιήσεις που οφείλουν να γίνουν στις οργανωτικές και λειτουργικές διαδικασίες της μεταφορικής αλυσίδας, αλλά και σε τεχνολογικές καινοτομίες που είναι ανάγκη να ενσωματωθούν σε αυτή. Μέσω όλων των παραπάνω, ο κλάδος των διατροφικών εμπορευματικών μεταφορών θα μπορέσει να ικανοποιήσει τις μεγάλες ανάγκες και απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας, βελτιστοποιώντας την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών με το μικρότερο δυνατό κόστος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] T. Mavros and G. Panagiotopoulos, “Discover Greek Logistics by OMIND CREATIVES - issuu,” pp. 16–47, 2017.
- [2] eea.europa.eu, “Freight transport demand — European Environment Agency,” 2017. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/freight-transport-demand-version-2/assessment-7> (accessed Apr. 02, 2020).
- [3] statistics.gr, “ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ ΟΔΙΚΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ: Α’ Τρίμηνο 2019,” 2019.
- [4] sev.org.gr, “ΔΕΛΤΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ,” 2019.
- [5] T. G. Crainic and K. H. Kim, “Chapter 8 Intermodal Transportation,” *Handbooks Oper. Res. Manag. Sci.*, vol. 14, no. C, pp. 467–537, 2007.
- [6] M. Janic, “Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 12, no. 1, pp. 33–44, 2007.
- [7] UIC, “Combined Transport in Europe,” 2019.
- [8] N. Boysen, M. Fliedner, F. Jaehn, and E. Pesch, “A survey on container processing in railway yards,” *Transp. Sci.*, vol. 47, no. 3, pp. 312–329, 2013.
- [9] R. Bergqvist and S. Behrends, “Assessing the effects of longer vehicles: The case of pre- and post-haulage in intermodal transport chains,” *Transp. Rev.*, vol. 31, no. 5, pp. 591–602, 2011.
- [10] T.-E. S. Hanssen, T. A. Mathisen, and F. Jørgensen, “Generalized Transport Costs in Intermodal Freight Transport,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 54, pp. 189–200, 2012.
- [11] A. Ballis and J. Golias, “Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 36, no. 7, pp. 593–611, 2002.
- [12] D. Tsamboulas, H. Vrenken, and A. M. Lekka, “Assessment of a transport policy potential for intermodal mode shift on a European scale,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 41, no. 8, pp. 715–733, 2007.
- [13] ose.gr, “Σιδηροδρομική Υποδομή - ΟΣΕ,” 2020. <https://www.ose.gr/el/ecportal.asp?id=65&nt=18&lang=1>.
- [14] ec.europa.eu, “Railway freight transport statistics - Statistics Explained,” 2019. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

- explained/index.php/Railway\_freight\_transport\_statistics.
- [15] J. Pieriegud, “Analysis of the potential of the development of rail container transport market in Poland,” no. 2018, pp. 1–125, 2019.
- [16] Y. M. Bontekoning, C. Macharis, and J. J. Trip, *Is a new applied transportation research field emerging? - A review of intermodal rail-truck freight transport literature*, vol. 38, no. 1. 2004.
- [17] ec.europa.eu, “Freight transported in containers - statistics on unitisation - Statistics Explained,” 2019. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight\\_transported\\_in\\_containers\\_-\\_statistics\\_on\\_unitisation](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight_transported_in_containers_-_statistics_on_unitisation).
- [18] C. Macharis and Y. M. Bontekoning, “Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 153, no. 2, pp. 400–416, 2004.
- [19] A. Ballis and J. Golias, “Towards the improvement of a combined transport chain performance,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 152, no. 2, pp. 420–436, 2004.
- [20] J.-P. Rodrigue, C. Comtois, and B. Slack, *Transportation and the spatial structure*. 2019.
- [21] A. Caris, C. Macharis, and G. K. Janssens, “Decision support in intermodal transport: A new research agenda,” *Comput. Ind.*, vol. 64, no. 2, pp. 105–112, 2013.
- [22] L. Wang and X. Zhu, “Container loading optimization in rail-truck intermodal terminals considering energy consumption,” *Sustain.*, vol. 11, no. 8, 2019.
- [23] A. E. Rizzoli, N. Fornara, and L. M. Gambardella, “A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals,” *Math. Comput. Simul.*, vol. 59, no. 1–3, pp. 57–71, 2002.
- [24] C. Macharis, E. Van Hoeck, E. Pekin, and T. van Lier, “A decision analysis framework for intermodal transport: Comparing fuel price increases and the internalisation of external costs,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 44, no. 7, pp. 550–561, 2010.
- [25] E. Kreuzberger, C. Macharis, L. Vereecken, and J. Woxenius, “Is intermodal freight transport more environmentally friendly than all-road freight transport? A review,” *Nectar Conf.*, no. 7, pp. 13–15, 2003.
- [26] N. S. Kim and B. Van Wee, “The relative importance of factors that influence the break-even distance of intermodal freight transport systems,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 19, no. 4, pp. 859–875, 2011.

- [27] F. Bärthel and J. Woxenius, “Developing intermodal transport for small flows over short distances,” *Transp. Plan. Technol.*, vol. 27, no. 5, pp. 403–424, 2004.
- [28] S. Behrends, “The Significance of the Urban Context for the Sustainability Performance of Intermodal Road-rail Transport,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 54, pp. 375–386, 2012.
- [29] R. R. Resor, J. R. Blaze, and E. K. Morlok, “Short-haul rail intermodal: Can it compete with trucks?,” *Transp. Res. Rec.*, no. 1873, pp. 45–52, 2004.
- [30] T. Management, Y. Chen, and H. Shi, “Capacity Analysis of Rail Container Freight Shuttle Train Which factors are important for running this kind of train ?,” 2003.
- [31] J. Jemai, M. Zekri, and K. Mellouli, “An NSGA-II algorithm for the green vehicle routing problem,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 7245 LNCS, pp. 37–48, 2012.
- [32] P. Arnold, D. Peeters, and I. Thomas, “Modelling a rail/road intermodal transportation system,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 40, no. 3, pp. 255–270, 2004.
- [33] K. Sörensen, C. Vanovermeire, and S. Busschaert, “Efficient metaheuristics to solve the intermodal terminal location problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 39, no. 9, pp. 2079–2090, 2012.
- [34] C. C. Lin, Y. I. Chiang, and S. W. Lin, “Efficient model and heuristic for the intermodal terminal location problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 51, pp. 41–51, 2014.
- [35] Y. M. Bontekoning and H. Priemus, “Breakthrough innovations in intermodal freight transport,” *Transp. Plan. Technol.*, vol. 27, no. 5, pp. 335–345, 2004.
- [36] P. M. Panayides, “Economic organization of intermodal transport,” *Transp. Rev.*, vol. 22, no. 4, pp. 401–414, 2002.
- [37] ec.europa.eu, “CEF Transport | Innovation and Networks Executive Agency,” 2019. <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility/cef-transport>.
- [38] K. G. Zografos and A. C. Regan, “Current challenges for intermodal freight transport and logistics in Europe and the United States,” *Transp. Res. Rec.*, no. 1873, pp. 70–78, 2004.
- [39] N. Bostel and P. Dejax, “Models and algorithms for container allocation problems on trains in a rapid transshipment shunting yard,” *Transp. Sci.*, vol. 32, no. 4, pp. 370–379, 1998.

- [40] T. G. Dejax, Pierre and Crainic, “1987 Dejax Crainic - Survey empty Flows and fleet management.pdf,” *Transportation Science*, vol. 21, no. 4. pp. 227–248, 1987.
- [41] Knut Alicke, Daniel Rexhausen, and Andreas Seyfert, “Supply Chain 4.0 in consumer goods,” *McKinsey*, no. Exhibit 1, pp. 1–11, 2017, [Online].
- [42] B. Tjahjono, C. Esplugues, E. Ares, and G. Pelaez, “What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?,” *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1175–1182, 2017.
- [43] L. Tan and N. Wang, “Future Internet: The Internet of Things,” *ICACTE 2010 - 2010 3rd Int. Conf. Adv. Comput. Theory Eng. Proc.*, vol. 5, pp. 376–380, 2010.
- [44] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [45] D. Knoll, M. Prüglmeier, and G. Reinhart, “Predicting Future Inbound Logistics Processes Using Machine Learning,” *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 145–150, 2016.
- [46] K. Kyamakya, “Artificial intelligence in Transportation Telematics,” *OGAI J. (Oesterreichische Gesellschaft fuer Artif. Intell.*, vol. 25, no. 3, pp. 7–16, 2007.
- [47] D. Nicolaidis, D. Cebon, and J. Miles, “Prospects for Electrification of Road Freight,” *IEEE Syst. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 1838–1849, 2018.
- [48] M. Ball and M. Wietschel, “The future of hydrogen - opportunities and challenges,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 2, pp. 615–627, 2009.
- [49] W. J. B. Midgley and D. Cebon, “Comparison of regenerative braking technologies for heavy goods vehicles in urban environments,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, vol. 226, no. 7, pp. 957–970, 2012.
- [50] G. D. Marin, G. F. Naterer, and K. Gabriel, “Rail transportation by hydrogen vs. electrification - Case study for Ontario, Canada, II: Energy supply and distribution,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 6097–6107, 2010.
- [51] A. Senatore, M. Cardone, L. Allocca, S. Vitolo, and V. Rocco, “Experimental characterization of a common rail engine fuelled with different biodiesel,” *SAE Tech. Pap.*, 2005.
- [52] S. M. Mousavi Gazafrudi, A. Tabakhpour Langerudy, E. F. Fuchs, and K. Al-Haddad, “Power Quality Issues in Railway Electrification: A Comprehensive Perspective,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 5, pp. 3081–3090, 2015.
- [53] B. Bargava, “Railway Electrification Systems and Configurations,” in *1999 IEEE*

*Power Engineering Society Summer Meeting*, 1999, pp. 445–450.

- [54] A. Gomez-Exposito, J. M. Mauricio, and J. M. Maza-Ortega, “VSC-Based MVDC railway electrification system,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 1, pp. 422–431, 2014.