



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ



ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

Διπλωματική Εργασία

**“Ο ρόλος των λιμένων ως ενεργειακών κόμβων
για την απανθρακοποίηση των θαλάσσιων
μεταφορών και την υποστήριξη της
περιφερειακής ενεργειακής μετάβασης”**

Σπυρίδων Μάνος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Μαρία Μποϊλέ

Πειραιάς

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2026

Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2	Ορισμός και σημασία των Green Corridors.....	9
2.1	<i>Ιστορική εξέλιξη και διεθνές πλαίσιο.....</i>	<i>9</i>
2.2	<i>Οφέλη και Κίνητρα</i>	<i>11</i>
2.2.1	Περιβαλλοντικά Οφέλη.....	11
2.2.2	Οικονομικά Οφέλη.....	11
2.2.3	Τεχνολογική Καινοτομία	12
2.2.4	Κοινωνικές και Πολιτικές Διαστάσεις.....	12
2.2.5	Στρατηγικά Κίνητρα.....	12
2.3	<i>Προκλήσεις και Εμπόδια</i>	<i>12</i>
2.3.1	Τεχνικές Προκλήσεις των Green Shipping Corridors.....	13
2.3.2	Οικονομικές Προκλήσεις των Green Shipping Corridors.....	13
2.3.3	Κοινωνικές και Ανθρώπινες Διαστάσεις των Green Shipping Corridors	15
2.3.4	Θέματα Ασφάλειας και Αποδοχής Νέων Καυσίμων.....	16
3	Ενεργειακή Μετάβαση και Εναλλακτικά Καύσιμα στη Ναυτιλία	17
3.1	<i>Η Απανθρακοποίηση της Ναυτιλίας και η Μετάβαση σε Εναλλακτικά Καύσιμα</i>	<i>17</i>
3.2	<i>Εναλλακτικά καύσιμα χαμηλών και μηδενικών εκπομπών</i>	<i>18</i>
3.3	<i>Κατηγορίες καυσίμων και βασικά συγκριτικά χαρακτηριστικά.....</i>	<i>18</i>
3.3.1	(α) Καύσιμα μηδενικών εκπομπών υπό προϋποθέσεις: πράσινο υδρογόνο και πράσινη αμμωνία.....	18
3.3.2	β) Καύσιμα «γρήγορης εφαρμογής» λόγω συμβατότητας: μεθανόλη και βιοκαύσιμα.....	19
3.3.3	Συμπέρασμα	19
3.4	<i>Ο ρόλος των λιμένων στην παραγωγή, αποθήκευση και διανομή εναλλακτικών καυσίμων</i>	<i>20</i>
3.4.1	Παραγωγή και μετατροπή ενέργειας εντός λιμενικών περιοχών	20
3.5	<i>Υποδομές αποθήκευσης και bunkering</i>	<i>21</i>
3.5.1	Λιμενική διακυβέρνηση και ενεργειακός συντονισμός	21
3.6	<i>Ανισότητες δυνατοτήτων μεταξύ λιμένων.....</i>	<i>21</i>
3.7	<i>Διασύνδεση λιμένων με περιφερειακά ενεργειακά συστήματα.....</i>	<i>22</i>
4	Ο Ρόλος των Λιμένων ως Ενεργειακών Κόμβων	23
4.1	<i>Ανάπτυξη υποδομών και επενδύσεις</i>	<i>24</i>
4.2	<i>Υποδομές εναλλακτικών καυσίμων</i>	<i>24</i>
4.2.1	Χρηματοδότηση και επενδυτικός κίνδυνος.....	25
4.2.2	Ρόλος δημόσιας πολιτικής και ευρωπαϊκών χρηματοδοτικών εργαλείων	25
4.2.3	Στρατηγική επένδυσης και σταδιακή κλιμάκωση.....	26
4.3	<i>Συνεργασίες λιμένων – ναυτιλιακών – ενεργειακών φορέων.....</i>	<i>26</i>

4.4	Προκλήσεις και περιορισμοί στη μετατροπή των λιμένων σε ενεργειακούς κόμβους	27
5	Πολιτικό και Ρυθμιστικό Πλαίσιο	27
5.1	Διεθνές πλαίσιο: Ο ρόλος του IMO	27
5.2	Ευρωπαϊκή Ένωση: Fit for 55, FuelEU Maritime και ETS	28
5.3	Περιφερειακές και εθνικές στρατηγικές	28
5.4	Συμπερασματική αποτίμηση ρυθμιστικού πλαισίου	29
6	Μεθοδολογία επιλογής και πλαίσιο αξιολόγησης	29
6.1	Κριτήρια και δείκτες αξιολόγησης της μελέτης περίπτωσης	31
6.2	Στρατηγική θέση και γεωοικονομικός ρόλος του Λιμένα Πειραιά	34
6.3	Υφιστάμενες ενεργειακές και περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες	35
6.4	Δυνατότητες μετατροπής του Πειραιά σε ενεργειακό κόμβο	36
6.5	Κριτική αξιολόγηση: προοπτικές και περιορισμοί	37
6.6	Συμπεράσματα μελέτης περίπτωσης	38
7	Συμπεράσματα	40
8	Βιβλιογραφία	41

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κείμενου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας των πιθανών συνεπειών αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κείμενου.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΜΕΛΟΣ Α: Δρ. Μαρία Μποϊλέ

ΜΕΛΟΣ Β: Δρ. Γιώργος Γαλάνης

ΜΕΛΟΣ Γ: Δρ. Θεόδωρος Πελαγιδής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από αυξανόμενες περιβαλλοντικές προκλήσεις και έντονη ανάγκη υιοθέτησης βιώσιμων μοντέλων ανάπτυξης. Ο κλάδος της ναυτιλίας, όντας θεμέλιος λίθος του διεθνούς εμπορίου, έχει ουσιώδη συμμετοχή στην παραγωγή αερίων που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθιστώντας αναγκαία την απανθρακοποίηση του. Κατ' επέκταση, τα λιμάνια διαφοροποιούν τη λειτουργία τους, παύοντας να είναι απλοί διαμετακομιστικοί κόμβοι, και μετασχηματίζονται σε κέντρα ενεργειακής διαχείρισης, φέροντας το βάρος της προώθησης καυσίμων με μειωμένες ή μηδενικές εκπομπές, καθώς και τη δημιουργία των Green Shipping Corridors.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αναλυθεί ο ρόλος των λιμένων ως ενεργειακών κόμβων για την απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών και την υποστήριξη της περιφερειακής ενεργειακής μετάβασης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο θεσμικό και ρυθμιστικό πλαίσιο, στις τεχνολογικές επιλογές εναλλακτικών καυσίμων και στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι λιμενικές αρχές κατά τη διαδικασία ενεργειακού μετασχηματισμού. Μέσα από τη μελέτη περίπτωσης του Λιμένα Πειραιά εξετάζεται κατά πόσο οι θεωρητικές προσεγγίσεις περί ενεργειακών κόμβων εφαρμόζονται στην πράξη και σε ποιο βαθμό ο συγκεκριμένος λιμένας μπορεί να εξελιχθεί σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο στην Ανατολική Μεσόγειο.

Αρχικά, παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας, όπου αναλύονται οι έννοιες των Green Shipping Corridors, της απανθρακοποίησης της ναυτιλίας και των εναλλακτικών καυσίμων, καθώς και το διεθνές και ευρωπαϊκό ρυθμιστικό περιβάλλον που καθοδηγεί τη μετάβαση. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιπτώσιολογική μελέτη του Λιμένα Πειραιά, με αναφορά στη στρατηγική του θέση, στις υφιστάμενες ενεργειακές πρωτοβουλίες και στις δυνατότητες περαιτέρω εξέλιξης.

Από τη συνολική ανάλυση προκύπτει ότι οι λιμενικές εγκαταστάσεις δύνανται να επιτελέσουν κρίσιμη λειτουργία στην ενεργειακή μεταμόρφωση του ναυτιλιακού τομέα, εφόσον διασφαλιστεί μία συνεκτική στρατηγική προσέγγιση, εισροές κεφαλαίων σε τεχνικές υποδομές και αρμονία θεσμικών πλαισίων. Ο Λιμένας Πειραιά, φέρει αξιόλογες προοπτικές για να αναδειχθεί σε ενεργειακό κέντρο, όμως ο ολοκληρωμένος μετασχηματισμός του απαιτεί περαιτέρω εξέλιξη του σχεδιασμού του και ενίσχυση των επενδυτικών του πόρων.

Λέξεις-κλειδιά: Απανθρακοποίηση Ναυτιλίας, Λιμένες, Ενεργειακοί Κόμβοι, Green Shipping Corridors, Εναλλακτικά Καύσιμα, Λιμένας Πειραιά

ABSTRACT

The contemporary era is characterized by increasing environmental challenges and a growing need to adopt sustainable development models. The maritime sector, as a cornerstone of global trade, significantly contributes to greenhouse gas emissions, making its decarbonization imperative. In this context, ports are redefining their role, evolving from mere transshipment hubs into energy management centers, assuming responsibility for promoting low- and zero-emission fuels and facilitating the development of Green Shipping Corridors.

The aim of this study is to analyze the role of ports as energy hubs in the decarbonization of maritime transport and in supporting the regional energy transition. Particular emphasis is placed on the institutional and regulatory framework, the technological options for alternative fuels, and the challenges faced by port authorities during the energy transition process. Through the case study of the Port of Piraeus, the research examines the extent to which theoretical approaches to energy hubs are implemented in practice, and evaluates the port's potential to evolve into a regional energy hub in the Eastern Mediterranean.

Initially, the theoretical framework of the study is presented, analyzing the concepts of Green Shipping Corridors, maritime decarbonization, and alternative fuels, as well as the international and European regulatory environment guiding the transition. This is followed by the case study of the Port of Piraeus, focusing on its strategic location, existing energy initiatives, and prospects for further development.

The overall analysis indicates that port infrastructures can play a critical role in the energy transformation of the maritime sector, provided that a coherent strategic approach is ensured, sufficient capital is invested in technical infrastructure, and regulatory frameworks are harmonized. The Port of Piraeus demonstrates significant potential to emerge as an energy hub; however, its full transformation requires further strategic development and increased investment capacity.

Keywords: Maritime Decarbonization, Ports, Energy Hubs, Green Shipping Corridors, Alternative Fuels, Port of Piraeus

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει και να αναλύσει σε βάθος τον ρόλο των λιμένων ως ενεργειακών κόμβων στο πλαίσιο της απανθρακοποίησης των θαλάσσιων μεταφορών και της υποστήριξης της περιφερειακής ενεργειακής μετάβασης. Σε μια περίοδο κατά την οποία η ναυτιλία καλείται να μειώσει σημαντικά το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα, οι

λιμένες αναδεικνύονται σε κρίσιμους παράγοντες της μετάβασης, καθώς αποτελούν σημεία διασύνδεσης μεταξύ μεταφορών, ενέργειας και περιφερειακής ανάπτυξης.

Η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει επισκόπηση της υπάρχουσας γνώσης αναφορικά με τις κυρίαρχες ροές που ασκούν επιρροή στην παγκόσμια ναυτιλία και τα λιμενικά δίκτυα και παράλληλα εξετάζει το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο που καθορίζει την πορεία προς την ενεργειακή αλλαγή. Εστιάζεται δε με ιδιαίτερο τρόπο στα Green Shipping Corridors, στις εναλλακτικές μορφές ναυτιλιακής ενέργειας, καθώς και στα εμπόδια που τίθενται ενώπιον των λιμενικών υποδομών στην προσπάθειά τους να μετεξελιχθούν σε κέντρα ενεργειακής τροφοδοσίας. Μέσω θεωρητικής διερεύνησης, ο απώτερος στόχος είναι η ανάδειξη της μοναδικής θέσης που κατέχουν τα λιμάνια στη γεφύρωση των συστημάτων μεταφοράς και ενέργειας.

Στη συνέχεια, μέσω της μελέτης περίπτωσης του Λιμένα Πειραιά, επιχειρείται η σύνδεση της θεωρίας με την πράξη. Σκοπός είναι να εξεταστεί κατά πόσο οι θεωρητικές προσεγγίσεις σχετικά με τους ενεργειακούς κόμβους εφαρμόζονται σε ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια της Ανατολικής Μεσογείου.

Το βασικό ερευνητικό ερώτημα της παρούσας εργασίας είναι κατά πόσο ο Λιμένας Πειραιά μπορεί να εξελιχθεί σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο, υποστηρίζοντας την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας και την ευρύτερη ενεργειακή μετάβαση. Η διερεύνηση του βασικού αυτού ερωτήματος στηρίζεται σε επιμέρους άξονες αξιολόγησης, που αφορούν τις υποδομές, τη θεσμική ετοιμότητα, τη χρηματοδοτική διάσταση και τη διασύνδεση με ενεργειακά δίκτυα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο των Green Shipping Corridors, με αναφορά στον ορισμό, την ιστορική εξέλιξη, τα οφέλη και τις προκλήσεις τους.

Το τρίτο κεφάλαιο εστιάζει κυρίως στις τεχνολογίες και τα εναλλακτικά καύσιμα που υποστηρίζουν την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας, καθώς και στη διασύνδεση λιμένων και περιφερειακών ενεργειακών συστημάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται ο ρόλος των λιμένων ως ενεργειακών κόμβων, με έμφαση στη διακυβέρνηση, στις υποδομές και στις επενδύσεις που απαιτούνται.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει το ρυθμιστικό πλέγμα σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, το οποίο κατευθύνει αυτήν την αλλαγή, ενώ η έκτη ενότητα εστιάζει στην εξέταση του Λιμένα του Πειραιά, προσφέροντας μια στρατηγική και κριτική αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών του.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθενται τα συνολικά συμπεράσματα της εργασίας, συνοψίζοντας τα βασικά ευρήματα και τη συμβολή της έρευνας.

2 Ορισμός και σημασία των Green Corridors

Οι Green Shipping Corridors αποτελούν θαλάσσιες διαδρομές μεταξύ δύο ή περισσότερων λιμένων όπου εφαρμόζονται στοχευμένα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων, με τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, πράσινων τεχνολογιών και βελτιστοποιημένων επιχειρησιακών πρακτικών και αποτελούν μια νέα στρατηγική προσέγγιση στη διεθνή ναυτιλία με στόχο την **απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών**. Περιλαμβάνουν χρήση μηδενικών ή χαμηλών εκπομπών καυσίμων, τεχνολογίες πρόωσης, βελτιστοποίηση διαδρομών (voyage optimization), υποδομές (π.χ. bunkering για καθαρά καύσιμα, shore-power), και κανονιστικά/διοικητικά πλαίσια που διευκολύνουν τη μετάβαση (Zero Carbon Shipping, 2025).

Η σημασία τους έγκειται όχι μόνο στη μείωση εκπομπών αλλά και στη δημιουργία νέων αγορών πράσινων καυσίμων, στην ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ κρατών και επιχειρήσεων και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής σε λιμενικές πόλεις (Global Maritime Forum., 2021).

Αυτή η πρωτοβουλία δεν βασίζεται μόνο στην τεχνολογία αλλά και στη συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων, πιο συγκεκριμένα στις ναυτιλιακές εταιρίες, λιμάνια, προμηθευτές καυσίμων, κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμοί.

Η σημασία τους εντοπίζεται κυρίως στους εξής τομείς:

Περιβαλλοντική: μείωση εκπομπών CO₂, NO_x, SO_x.

Οικονομική: δημιουργία νέων αγορών για καύσιμα χαμηλών εκπομπών.

Κοινωνική / πολιτική: βελτίωση ποιότητας αέρα σε λιμενικές πόλεις και ανταπόκριση σε διεθνείς δεσμεύσεις (IMO, EE, UNFCCC).

2.1 Ιστορική εξέλιξη και διεθνές πλαίσιο

Η θεωρία των Green Shipping Corridors εισήχθη επίσημα το 2021, στο πλαίσιο της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Κλίμα (COP26) στη Γλασκώβη. Στο ίδιο πλαίσιο, προβλήθηκε η Clydebank Declaration, ένα πολιτικό εγχείρημα που συνυπέγραψαν 22 κράτη, με σκοπό τη θέσπιση τουλάχιστον έξι Green Corridors έως το 2025 (GOV.UK, 2021). Η ανακοίνωση αυτή σηματοδότησε τη μετάβαση από απλούς διάλογους για τη βιωσιμότητα στη ναυτιλιακή βιομηχανία σε άμεσες, μετρήσιμες ενέργειες για την υλοποίηση διαδρομών μηδενικών ή χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Παρά το ότι δεν έχει νομική υποχρέωση, η Clydebank Declaration αποτέλεσε αναγνωριστικό ορόσημο, αφού προώθησε συνεργασίες μεταξύ κυβερνήσεων, λιμένων και θαλάσσιων

εταιρειών με την προτεραιότητα της γρήγορης απανθρακοποίησης του κλάδου (UNFCCC, 2021).

Έπειτα από την COP26, οι πρωτοβουλίες του διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού (IMO) ενίσχυσαν το ενδιαφέρον για τα Green Corridors. Το 2023, το MEPC – Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος – ενέκρινε μια ενημερωμένη πολιτική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, θέτοντας ως στόχο τη δυνατότητα επίτευξης μηδενικού καθαρού αποτυπώματος εκπομπών έως το 2050 (IMO, 2023). Στο πλαίσιο αυτής της προσέγγισης προβλέπονται ενδιάμεσοι στόχοι για το 2030 και το 2040, ενώ προβλέπονται επίσης μέτρα ενίσχυσης των νέων καυσίμων και των τεχνολογικών λύσεων. Με αυτόν τον τρόπο, ο IMO διαμόρφωσε ένα παγκόσμιο πλαίσιο που εναρμονίζει τις πρωτοβουλίες Green Corridors με τις ευρύτερες στρατηγικές μείωσης εκπομπών, ενώ παράλληλα ενισχύει τη νομική ρυθμιστική βεβαιότητα και βελτιώνει τις επενδυτικές προοπτικές.

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση ανέπτυξε το πακέτο μέτρων Fit for 55, στο οποίο περιλαμβάνονται ο κανονισμός FuelEU Maritime (Κανονισμός ΕΕ 2023/1805) και η ένταξη της ναυτιλίας στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU ETS). Οι πολιτικές αυτές έχουν ως στόχο τη μείωση της έντασης εκπομπών άνθρακα των ναυτιλιακών καυσίμων, με σταδιακή αυστηροποίηση έως το 2050, καθώς και στην υποχρέωση χρήσης εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών (European Commission, 2024). Αυτά τα μέτρα λοιπόν, έχουν πρωταρχικό στόχο την ανάπτυξη των GREEN CORRIDORS εντός και εκτός Ευρώπης δημιουργώντας ζήτηση για νέες ενεργειακές υποδομές και αυξάνοντας την πίεση για τεχνολογικές καινοτομίες (Reuters, 2024).

Επιπρόσθετα, κυβερνήσεις εκτός της Ευρώπης υιοθέτησαν παρόμοιες πρωτοβουλίες. Σημαντικά παραδείγματα είναι η Νορβηγία, η Ιαπωνία, η Σιγκαπούρη και οι Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες ανακοίνωσαν συνεργασίες για την ανάπτυξη Green Corridors, εστιάζοντας σε διάφορα εναλλακτικά καύσιμα όπως υδρογόνο, αμμωνία και μεθανόλη (Global Maritime Forum, 2022). Αυτές οι συνεργασίες αποδεικνύουν ότι η στρατηγική των Green Corridors δεν περιορίζεται γεωγραφικά, αλλά αποτελεί μια παγκόσμια προσέγγιση για τη μείωση των εκπομπών, ενσωματώνοντας τεχνολογική πρόοδο με πολιτικές δεσμεύσεις.

Τέλος, παρατηρείται ότι από το 2021 μέχρι σήμερα αναπτύσσονται δεκάδες πρωτοβουλίες Green Corridors σε διαφορετικά στάδια ωριμότητας. Με βάση τον Global Maritime Forum (2024), υπάρχουν περισσότερες από 20 προτάσεις ή πιλοτικές εφαρμογές, οι οποίες περιλαμβάνουν τόσο μεγάλα διηπειρωτικά δρομολόγια όσο και περιφερειακές συνδέσεις. Φαίνεται λοιπόν ότι τα green corridors έχουν σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή νέων καυσίμων, τεχνολογιών

και πολιτικών πλαισίων, ενισχύοντας την πορεία της ναυτιλίας προς το net-zero.

2.2 Οφέλη και Κίνητρα

Η υλοποίηση των green corridors φέρει μαζί της ένα σύνολο περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και τεχνολογικών πλεονεκτημάτων, τα οποία ενισχύουν το πνεύμα δράσης για τη δημιουργία και την υλοποίησή τους. Η παρουσία τέτοιων διαδρομών δεν λειτουργεί μόνο ως μέσο τήρησης διεθνών ρυθμιστικών πλαισίων, αλλά αποτελεί και μια στρατηγική επένδυση προς τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του ναυτιλιακού τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο.

2.2.1 Περιβαλλοντικά Οφέλη

Το κύριο κίνητρο πίσω από την προώθηση των green corridors είναι η μείωση των εκπομπών αερίων και άλλων ρυπαντών. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO, 2023), η ναυτιλία ευθύνεται για περίπου το 3% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, ενώ προβλέπεται ότι αυτό το ποσοστό θα αυξηθεί εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα. Τα green corridors καθιστούν δυνατό το πιλοτική υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων, όπως το υδρογόνο, η αμμωνία και η πράσινη μεθανόλη, που μπορούν να μειώσουν δραστικά τις εκπομπές κατά τις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων (Fazi et al., 2024).

Επιπλέον, η εφαρμογή τους βελτιώνει την ποιότητα του αέρα σε λιμενικές περιοχές, όπου οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), θείου (SO_x) και αιωρούμενων σωματιδίων έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Akhavan et al., 2025).

2.2.2 Οικονομικά Οφέλη

Επιπλέον, η λειτουργία τους συνεπάγεται σημαντικά οικονομικά οφέλη. Συγκεκριμένα λειτουργεί ως μοχλός για νέες επενδύσεις. Η ανάπτυξη υποδομών ανεφοδιασμού και παραγωγής πράσινων καυσίμων δημιουργεί **οικονομίες κλίμακας**, μειώνοντας σταδιακά το κόστος και καθιστώντας τις πράσινες τεχνολογίες πιο ανταγωνιστικές (Doerr & Michaelowa, 2023). Επιπρόσθετα, οι ναυτιλιακές εταιρίες που συμμετέχουν σε Green Corridors αποκομίζουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, διότι βελτιώνουν την πρόσβασή τους σε «πράσινες» αγορές και επενδυτικούς πόρους που εστιάζουν στη βιωσιμότητα (Mendes et al., 2024). Οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί προσφέρουν επιπλέον χρηματοδοτικά κίνητρα και

επιχορηγήσεις για έργα που κινούνται προς την κατεύθυνση της απανθρακοποίησης, μειώνοντας έτσι τον επιχειρηματικό κίνδυνο.

2.2.3 Τεχνολογική Καινοτομία

Οι Green Corridors λειτουργούν ως “εργαστήρια” **τεχνολογίας**, δημιουργώντας ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη, δοκιμή και εφαρμογή νέων ναυτιλιακών τεχνολογιών. Εναλλακτικά συστήματα πρόωσης, λύσεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα παρακολούθησης εκπομπών μπορούν να αξιολογηθούν σε πραγματικές συνθήκες, προτού εφαρμοστούν μαζικά στον κλάδο (Jugović et al., 2025).

2.2.4 Κοινωνικές και Πολιτικές Διαστάσεις

Οι Πράσινοι Διάδρομοι (Green Corridors) αποφέρουν επίσης ουσιώδη κοινωνικά πλεονεκτήματα, διότι μειώνουν τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων σε περιοχές με έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα, προστατεύουν τη δημόσια υγεία και με αυτό τον τρόπο βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των παράκτιων ζωνών (Akhavan et al., 2025).

Όσον αφορά το πολιτικό επίπεδο, προάγουν τη διεθνή συνεργασία μεταξύ κρατών, λιμένων και ναυτιλιακών εταιρειών, λειτουργώντας ως πλατφόρμες όπου συγκλίνουν τα συμφέροντα διαφορετικών εμπλεκομένων. Με αυτό τον τρόπο, οι Green Corridors όχι μόνο επιταχύνουν τη μετάβαση, αλλά δημιουργούν και γεωπολιτικά πλεονεκτήματα, καθώς τα κράτη που πρωτοπορούν αποκτούν στρατηγική θέση στις μελλοντικές αγορές πράσινων καυσίμων (Transport & Environment, 2023).

2.2.5 Στρατηγικά Κίνητρα

Τέλος, τα Green Corridors αποτελούν βασικό εργαλείο για την **προσαρμογή της ναυτιλίας στο νέο ρυθμιστικό περιβάλλον**. Καθώς οι κανονισμοί για τις εκπομπές γίνονται ολοένα και αυστηρότεροι (π.χ. FuelEU Maritime, ETS), οι Green Corridors προσφέρουν στις ναυτιλιακές εταιρείες έναν τρόπο να συμμορφωθούν σταδιακά με τους κανόνες, μειώνοντας τον κίνδυνο μη συμμόρφωσης (European Commission, 2024).

2.3 Προκλήσεις και Εμπόδια

Παρά τα σημαντικά οφέλη που προσφέρουν τα **Green Shipping Corridors**, η εφαρμογή τους συναντά μια σειρά από προκλήσεις και εμπόδια. Αυτά σχετίζονται με τεχνικούς, οικονομικούς, ρυθμιστικούς και κοινωνικούς

παράγοντες, οι οποίοι επιβραδύνουν την ευρεία υιοθέτησή τους και καθιστούν την κλιμάκωση πιο δύσκολη.

2.3.1 Τεχνικές Προκλήσεις των Green Shipping Corridors

Για να καταστεί δυνατή η δρομολόγηση και η εν γένει λειτουργία των **Green Shipping Corridors**, είναι αναγκαία η εισαγωγή καινούργιων συστημάτων κίνησης και ενεργειακών πόρων, παράλληλα με την ανάπτυξη των απαραίτητων εγκαταστάσεων στα πλοία και στους λιμενικούς σταθμούς. Ωστόσο, οι τεχνικές δυσκολίες που συνοδεύουν αυτή τη μετάβαση είναι αρκετά μεγάλες, συνιστώντας έτσι έναν από τους κυριότερους λόγους που καθυστερούν την ταχεία ενεργοποίηση των πράσινων αυτών διαδρομών.

Πρώτον, τα εναλλακτικά καύσιμα μηδενικών ή χαμηλών εκπομπών, όπως το υδρογόνο, η αμμωνία και η πράσινη μεθανόλη, παρουσιάζουν διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα (HFO, MGO). Το υδρογόνο, για παράδειγμα, έχει πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου και απαιτεί αποθήκευση είτε σε πολύ υψηλή πίεση είτε σε κρυογενικές θερμοκρασίες, γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα των δεξαμενών και των συστημάτων ασφαλείας (IEA, 2022). Αντίστοιχα, η αμμωνία, αν και δεν εκπέμπει CO₂ κατά την καύση, είναι τοξική και διαβρωτική, απαιτώντας ειδικά υλικά, συστήματα ανίχνευσης διαρροών και αυστηρά πρωτόκολλα διαχείρισης κινδύνου (DNV, 2023).

Δεύτερον, η τεχνολογική ωριμότητα των συστημάτων πρόωσης για μεγάλα πλοία ανοικτής θαλάσσης παραμένει περιορισμένη. Παρότι έχουν αναπτυχθεί πιλοτικοί κινητήρες και καυστήρες για μεθανόλη και αμμωνία, η μαζική εφαρμογή τους σε πλοία μεγάλων αποστάσεων βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, με ζητήματα που αφορούν την απόδοση, τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και την αξιοπιστία σε συνεχή λειτουργία (Fazi et al., 2024). Η έλλειψη εκτεταμένης επιχειρησιακής εμπειρίας αυξάνει την αβεβαιότητα για τις ναυτιλιακές εταιρείες που καλούνται να επενδύσουν σε νέα πλοία ή σε μετασκευές υφιστάμενων στόλων.

Τρίτον, οι λιμενικές υποδομές ανεφοδιασμού (bunkering) αποτελούν κρίσιμο τεχνικό περιορισμό για την ανάπτυξη Green Corridors. Η δημιουργία εγκαταστάσεων αποθήκευσης και διανομής υδρογόνου, αμμωνίας ή πράσινης μεθανόλης απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, αυξημένα επίπεδα ασφάλειας και προσαρμογή των υφιστάμενων λιμενικών εγκαταστάσεων (Fazi et al., 2024).

2.3.2 Οικονομικές Προκλήσεις των Green Shipping Corridors

Η οικονομική διάσταση αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για την υλοποίηση και την κλιμάκωση των Green Shipping Corridors. Παρότι τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι σαφή, το υψηλό κόστος των εναλλακτικών

καυσίμων και των απαιτούμενων επενδύσεων δημιουργεί σημαντικά εμπόδια για ναυτιλιακές εταιρείες, λιμένες και επενδυτές.

Ως πρώτο βήμα, πρέπει να τονιστεί πως τα καύσιμα με μηδενικό ή περιορισμένο αποτύπωμα άνθρακα, όπως είναι το πράσινο υδρογόνο, η πράσινη μεθανόλη και η πράσινη αμμωνία, παρουσιάζουν αυτή τη στιγμή σημαντικά υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα της ναυτιλίας. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA, 2023) επισημαίνει ότι το υψηλό κόστος παραγωγής του πράσινου υδρογόνου και των παράγωγων του οφείλεται στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, στις απαιτούμενες επενδύσεις για ηλεκτρολύτες, καθώς και στο γεγονός ότι η παραγωγή τους δεν έχει ακόμη επιτύχει μεγάλη κλίμακα. Παράλληλα, έρευνες (DNV, 2023) καταδεικνύουν πως η πράσινη αμμωνία είναι δυνατόν να κοστίζει έως και δύο με τρεις φορές περισσότερο από τα καθιερωμένα ναυτιλιακά καύσιμα, γεγονός που επηρεάζει άμεσα το κόστος λειτουργίας των πλοίων.

Επιπλέον, η ανάπτυξη των απαραίτητων υποδομών ανεφοδιασμού σε λιμένες συνεπάγεται ιδιαίτερα υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες. Η κατασκευή δεξαμενών αποθήκευσης, συστημάτων μεταφοράς και εγκαταστάσεων ασφαλείας για καύσιμα όπως το υδρογόνο και η αμμωνία απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, οι οποίες συχνά υπερβαίνουν τις οικονομικές δυνατότητες μεμονωμένων λιμένων, ιδιαίτερα σε αναπτυσσόμενες περιοχές (Fazi et al., 2024). Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία τη συμμετοχή δημόσιων φορέων και διεθνών χρηματοδοτικών μηχανισμών.

Ένα ακόμη οικονομικό εμπόδιο αφορά το επενδυτικό ρίσκο. Οι ναυτιλιακές εταιρείες καλούνται να επενδύσουν σε πλοία νέας τεχνολογίας ή σε μετασκευές υφιστάμενων σκαφών, χωρίς να υπάρχει πλήρης βεβαιότητα ως προς το ποιο καύσιμο θα επικρατήσει μακροπρόθεσμα. Η τεχνολογική αβεβαιότητα, σε συνδυασμό με τις μεταβαλλόμενες ρυθμιστικές απαιτήσεις, αυξάνει το χρηματοοικονομικό ρίσκο και επιβραδύνει τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων (Doerr & Michaelowa, 2023).

Παράλληλα, το κόστος συμμόρφωσης με τα νέα ρυθμιστικά μέτρα, όπως το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ο κανονισμός FuelEU Maritime, επιβαρύνει περαιτέρω τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2024), οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε ευρωπαϊκά δρομολόγια θα αντιμετωπίσουν αυξημένα λειτουργικά κόστη λόγω της αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών και της υποχρέωσης χρήσης καυσίμων χαμηλής έντασης άνθρακα, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη οικονομικών κινήτρων και μηχανισμών στήριξης.

Συνεπώς, οι οικονομικές προκλήσεις των Green Shipping Corridors αφορούν κυρίως το υψηλό κόστος καυσίμων, τις μεγάλες επενδύσεις σε υποδομές, την αβεβαιότητα ως προς την τεχνολογική εξέλιξη και το ρυθμιστικό πλαίσιο, καθώς

και την ανάγκη για επαρκή χρηματοδοτικά εργαλεία που θα στηρίξουν τη μετάβαση σε μια ναυτιλία χαμηλών εκπομπών.

2.3.3 Κοινωνικές και Ανθρώπινες Διαστάσεις των Green Shipping Corridors

Η ανάπτυξη και λειτουργία των Green Shipping Corridors προϋποθέτει την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών πρόωσης και καυσίμων, καθώς και τη δημιουργία αντίστοιχων υποδομών σε πλοία και λιμένες. Ωστόσο, οι τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με αυτή τη μετάβαση είναι σημαντικές και αποτελούν έναν από τους βασικότερους ανασταλτικούς παράγοντες για την ταχεία υλοποίηση των πράσινων διαδρόμων.

Μία από τις πρωταρχικές ανησυχίες σχετίζεται με την επιμόρφωση και την εξειδίκευση των ναυτικών καθώς και των εργαζομένων στα λιμάνια. Καύσιμα όπως το υδρογόνο και η αμμωνία ενέχουν διακριτούς κινδύνους σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα, πράγμα που επιτάσσει την ανάπτυξη νέων ικανοτήτων όσον αφορά τη διαχείριση, την τεχνική συντήρηση και την ανταπόκριση σε έκτακτες καταστάσεις. Ο Διεθνής Οργανισμός Εργασίας (ΔΟΕ, 2022) τονίζει πως η πράσινη μετάβαση στον ναυτιλιακό τομέα καθιστά αναγκαία την εφαρμογή εκτεταμένων σχεδίων ανακατάρτισης, ώστε τα πληρώματα να είναι ικανά να διαχειριστούν με ασφάλεια τις επιταγές των καινοτόμων τεχνολογιών. Η ανεπάρκεια της προβλεπόμενης εκπαίδευσης είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αυξημένη πιθανότητα συμβάντων και να μετριάσει την αποδοχή των πρόσφατων αυτών καυσίμων από το εργατικό δυναμικό.

Παράλληλα, η **ασφάλεια και η κοινωνική αποδοχή** των νέων τεχνολογιών αποτελούν κρίσιμους παράγοντες. Η χρήση τοξικών ή εύφλεκτων καυσίμων, όπως η αμμωνία και το υδρογόνο, δημιουργεί ανησυχίες τόσο στους εργαζόμενους όσο και στους κατοίκους των λιμενικών περιοχών. Μελέτες δείχνουν ότι η επιτυχής εφαρμογή έργων πράσινης ενέργειας και υποδομών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο ενημέρωσης και εμπιστοσύνης των τοπικών κοινωνιών, καθώς και από τη διαφάνεια στη διαχείριση των κινδύνων (Akhavan et al., 2025). Οι Green Shipping Corridors, επομένως, απαιτούν όχι μόνο τεχνικές λύσεις, αλλά και στρατηγικές επικοινωνίας και συμμετοχής των κοινωνικών εταίρων.

Τέλος, οι επιπτώσεις στις **λιμενικές πόλεις και τις παράκτιες κοινότητες** είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω της λειτουργίας Green Corridors μπορεί να βελτιώσει αισθητά την ποιότητα του αέρα και τη δημόσια υγεία, περιορίζοντας περιστατικά αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων (Akhavan et al., 2025). Από την άλλη πλευρά, οι επενδύσεις σε νέες υποδομές ενδέχεται να μεταβάλουν τη χωρική και

οικονομική φυσιογνωμία των λιμενικών περιοχών, απαιτώντας προσεκτικό χωροταξικό σχεδιασμό και κοινωνικό διάλογο.

Καταλήγοντας, ο τομέας των Green Shipping Corridors παρουσιάζει πτυχές που άπτονται των κοινωνικών και ανθρωπίνων θεμάτων, οι οποίες περιλαμβάνουν την επιμόρφωση και την εγγύηση της ασφάλειας του εργατικού δυναμικού, την αποδοχή από την κοινωνία των καινοτόμων καυσίμων, τη δημιουργία και τον επαναπροσδιορισμό των θέσεων απασχόλησης, καθώς και τον αντίκτυπο στις τοπικές κοινωνίες των λιμανιών. Η αποτελεσματική διαχείριση αυτών των στοιχείων είναι θεμελιώδης για να επιτευχθεί μια μεταμόρφωση της ναυτιλιακής βιομηχανίας προς ένα χαμηλό ανθρακικό αποτύπωμα, με ισότιμο και βιώσιμο τρόπο.

2.3.4 Θέματα Ασφάλειας και Αποδοχής Νέων Καυσίμων

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως το υδρογόνο και η αμμωνία, στα Green Shipping Corridors εγείρει σημαντικά ζητήματα ασφάλειας, τα οποία επηρεάζουν τόσο τη λειτουργική αξιοπιστία όσο και την κοινωνική αποδοχή των νέων τεχνολογιών. Τα καύσιμα αυτά χαρακτηρίζονται από ιδιότητες που διαφέρουν ουσιαστικά από τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα, όπως υψηλή ευφλεκτότητα (υδρογόνο) και τοξικότητα (αμμωνία), γεγονός που απαιτεί αυστηρά πρωτόκολλα διαχείρισης κινδύνου, ειδικό σχεδιασμό πλοίων και λιμενικών εγκαταστάσεων, καθώς και προηγμένα συστήματα ανίχνευσης διαρροών (DNV, 2023).

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (EMSA, 2022), η ευρεία υιοθέτηση τέτοιων καυσίμων προϋποθέτει την ανάπτυξη ενιαίων διεθνών προτύπων ασφάλειας και την εκπαίδευση των πληρωμάτων και του λιμενικού προσωπικού σε διαδικασίες πρόληψης και αντιμετώπισης ατυχημάτων. Παράλληλα, η κοινωνική αποδοχή των νέων καυσίμων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαφάνεια στην επικοινωνία των κινδύνων και των ωφελειών, καθώς και από την εμπιστοσύνη ότι τα μέτρα ασφάλειας είναι επαρκή (Akhavan et al., 2025).

Επομένως, η επιτυχής ανάπτυξη των Green Shipping Corridors προϋποθέτει όχι μόνο τεχνική επάρκεια, αλλά και ένα ισχυρό πλαίσιο ασφάλειας και ενημέρωσης, το οποίο θα διασφαλίζει την προστασία του ανθρώπινου δυναμικού και των τοπικών κοινωνιών, ενισχύοντας παράλληλα την αποδοχή των νέων καυσίμων στη ναυτιλιακή πρακτική.

3 Ενεργειακή Μετάβαση και Εναλλακτικά Καύσιμα στη Ναυτιλία

3.1 Η Απανθρακοποίηση της Ναυτιλίας και η Μετάβαση σε Εναλλακτικά Καύσιμα

Η ναυτιλία αποτελεί βασικό πυλώνα του παγκόσμιου εμπορίου, μεταφέροντας άνω του 80% του διεθνούς εμπορίου σε όγκο. Ωστόσο, ο τομέας ευθύνεται για περίπου 2–3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί εάν δεν εφαρμοστούν άμεσα μέτρα απανθρακοποίησης (IMO, 2023). Στο πλαίσιο αυτό, η μετάβαση σε καύσιμα χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών αποτελεί κεντρικό άξονα της στρατηγικής για την επίτευξη των στόχων του IMO για καθαρές μηδενικές εκπομπές έως το 2050.

Η βιβλιογραφική τεκμηρίωση υποδεικνύει την απουσία μίας ενιαίας κυρίαρχης λύσης καυσίμου για τον ναυτιλιακό τομέα. Αντιθέτως, μας παρουσιάζει ένα εύρος τεχνολογικών διαμορφώσεων, οι οποίες διαφέρουν ως προς την επιχειρησιακή τους ετοιμότητα, το οικονομικό τους αποτύπωμα και την περιβαλλοντική τους αποτελεσματικότητα (Bouman et al., 2017). Οι βασικές ενεργειακές πηγές υπό διερεύνηση εστιάζονται στο πράσινο υδρογόνο, στην αμμωνία, στη μεθανόλη, στα παραγόμενα βιοκαύσιμα, καθώς και στο υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το οποίο αντιμετωπίζεται ως ενδιάμεση λύση μετάβασης.

Το πράσινο υδρογόνο, η παραγωγή του οποίου επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτρόλυσης με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, φέρει την ιδιότητα του καυσίμου με μηδενικές εκπομπές κατά την τελική του καύση. Παρόλα αυτά, η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει ανά μονάδα όγκου και οι ανάγκες για τον χώρο αποθήκευσής του, προκαλούν μεγάλες δυσκολίες τεχνικού και γεωγραφικού χαρακτήρα, ειδικά για τις λιμενικές εγκαταστάσεις που πρέπει να διαχειριστούν την όλη διαδικασία παραγωγής και τροφοδοσίας (IEA, 2023). Ομοίως, η πράσινη αμμωνία, μολονότι κατά την καύση της δεν απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα, εγείρει ανησυχίες σχετικά με την επικινδυνότητα και την ασφάλειά της, γεγονός που επιβάλλει τη θέσπιση αυστηρών κανόνων λειτουργίας και νομοθετικού πλαισίου (DNV, 2023).

Όσον αφορά τη μεθανόλη και τα πιο εξελιγμένα βιοκαύσιμα, αυτά παρουσιάζουν ανώτερο βαθμό τεχνολογικής ετοιμότητας, επιτρέποντας την πιο απλή ενσωμάτωσή τους στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα εγκαταστάσεων. Παρόλα αυτά, η οικολογική τους επίδοση είναι συνδεδεμένη με το σύνολο της ζωής τους και, κυρίως, με την προέλευση των πρώτων υλών για την παραγωγή τους (Bicer & Dincer, 2018). Αντίθετα, το LNG θεωρείται συνήθως καύσιμο ενδιάμεσης φάσης, εφόσον επιφέρει μείωση στις εκπομπές ρύπων σε σύγκριση με τα

παραδοσιακά καύσιμα, ωστόσο δεν προσφέρει πλήρη εξάλειψη των εκπομπών λόγω των εκλύσεων μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που συνεπάγεται (Bouman et al., 2017).

Η ενεργειακή μετάβαση της ναυτιλίας, επομένως, δεν αφορά μόνο την επιλογή καυσίμου, αλλά τη διαμόρφωση ενός νέου ενεργειακού οικοσυστήματος που περιλαμβάνει παραγωγή, αποθήκευση, διανομή και κατανάλωση ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, τα λιμάνια αναδεικνύονται σε κομβικούς παράγοντες, καθώς αποτελούν τα σημεία διασύνδεσης μεταξύ θαλάσσιων μεταφορών και περιφερειακών ενεργειακών συστημάτων.

Η μετάβαση προς καύσιμα που δεν είναι τα συμβατικά, δημιουργεί νέες απαιτήσεις προς τις λιμενικές υποδομές. Αυτό συνεπάγεται τη σταδιακή μεταμόρφωση των λιμανιών, τα οποία παύουν να είναι απλοί χώροι διέλευσης για να γίνουν κέντρα ενέργειας (energy hubs). Αυτοί οι κόμβοι θα γεφυρώνουν την παραγόμενη τοπικά πράσινη ενέργεια με τις διεθνείς ροές των εμπορευμάτων (Akhavan et al., 2025).

3.2 Εναλλακτικά καύσιμα χαμηλών και μηδενικών εκπομπών

Η μετάβαση της ναυτιλίας προς την απανθρακοποίηση βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη σταδιακή αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων (HFO/VLSFO/MGO) από εναλλακτικά καύσιμα χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών. Η βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι η αξιολόγηση των καυσίμων δεν μπορεί να γίνεται μόνο με βάση τις εκπομπές κατά την καύση (tank-to-wake), αλλά απαιτείται προσέγγιση κύκλου ζωής (well-to-wake / life-cycle), καθώς διαφορετικές διαδρομές παραγωγής (π.χ. ηλεκτρόλυση, βιομάζα, ορυκτό αέριο) οδηγούν σε πολύ διαφορετικό συνολικό αποτύπωμα (ICCT, 2023).

3.3 Κατηγορίες καυσίμων και βασικά συγκριτικά χαρακτηριστικά

3.3.1 (α) Καύσιμα μηδενικών εκπομπών υπό προϋποθέσεις: πράσινο υδρογόνο και πράσινη αμμωνία

Ως πρωταγωνιστές για την επίτευξη «βαθιάς απανθρακοποίησης», το υδρογόνο μαζί με την αμμωνία αναδεικνύονται συχνά, ιδίως εφόσον η πηγή παραγωγής τους είναι η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ηλεκτροκαύσιμα). Παρ' όλα αυτά, οι μελέτες δείχνουν σοβαρές προκλήσεις: απαιτείται τεράστια αύξηση της παραγωγικής ικανότητας των ΑΠΕ, υφίστανται

σημαντικές απώλειες ενέργειας κατά την αλλαγή μορφής (μετατροπή), υπάρχουν σημαντικές απαιτήσεις για αποθήκευση και ασφάλεια, ενώ η εμπορική εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα παραμένει σε περιορισμένα επίπεδα εμπειρίας (Osman et al., 2024).

Ειδικά στην περίπτωση της αμμωνίας, οι επιστημονικές δημοσιεύσεις επισημαίνουν πως, παρά την απουσία άνθρακα, η τελική της οικολογική επίδοση καθορίζεται πρωτίστως από τον τρόπο παραγωγής της (πράσινη έναντι γκρι/μπλε), αλλά και από προβλήματα που σχετίζονται με την απελευθέρωση άλλων ρυπαντικών ουσιών ή δευτερευόντων προϊόντων κατά τη χρησιμοποίησή της. Συνεπώς, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για διεξοδική ανάλυση του κύκλου ζωής της και για περαιτέρω τεχνολογικές καινοτομίες (Osman et al., 2024).

3.3.2 β) Καύσιμα «γρήγορης εφαρμογής» λόγω συμβατότητας: μεθανόλη και βιοκαύσιμα

Στη σχετική βιβλιογραφία, η μεθανόλη (ειδικότερα η ηλεκτρο-μεθανόλη ή η βιο-μεθανόλη) παρουσιάζεται ως μία ελκυστική δυναμική επιλογή. Αυτό οφείλεται στο ότι η διαχείρισή της είναι τεχνικά ευκολότερη σε αντιπαραβολή με το υδρογόνο, ενώ επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησής της μέσω ήδη καθιερωμένων τεχνολογιών (π.χ. διπλού καυσίμου), περιορίζοντας έτσι τους κινδύνους που συνεπάγεται η εισαγωγή νέων συστημάτων. Παρ' όλα αυτά, η περιβαλλοντική της συνεισφορά συνδέεται άρρηκτα με τον τρόπο παραγωγής: η μεθανόλη που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα δεν επιτυγχάνει ουσιαστική μείωση του ανθρακικού της αποτυπώματος, ενώ η ηλεκτρο-μεθανόλη ή η βιο-μεθανόλη είναι ικανές να επιφέρουν σημαντική εξοικονόμηση εκπομπών, εφόσον τηρούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις (ICCT, 2023).

Όσον αφορά τα βιοκαύσιμα (που προέρχονται π.χ. από χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια ή άλλες πηγές), συχνά διαφημίζονται ως λύσεις που είναι έτοιμες προς άμεση χρήση ("drop-in") ή που απαιτούν περιορισμένη προσαρμογή. Ωστόσο, οι διαθέσιμες μελέτες υποδεικνύουν πως τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων κύκλου ζωής (LCA) ποικίλλουν δραματικά ανάλογα με την αρχική πρώτη ύλη και τις δευτερογενείς επιπτώσεις που προκύπτουν (π.χ. μεταβολές στη χρήση των εκτάσεων γης). Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η ανάγκη για προσεκτική επιλογή των πηγών και για επίσημη πιστοποίηση της βιωσιμότητάς τους (Wang et al., 2025).

3.3.3 Συμπέρασμα

Συνολικά, η βιβλιογραφία συγκλίνει ότι η επιλογή εναλλακτικών καυσίμων για τη ναυτιλία είναι ένα **πολυκριτηριακό ζήτημα** (περιβαλλοντικό, οικονομικό,

θεσμικό, υποδομών). Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι τα λιμάνια θα κληθούν να υποστηρίξουν **περισσότερες από μία διαδρομές καυσίμων** στο μεταβατικό στάδιο (π.χ. μεθανόλη/βιοκαύσιμα για ταχύτερη κλιμάκωση και e-fuels όπως υδρογόνο/αμμωνία για βαθιά απανθρακοποίηση), με την τελική επιλογή να εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα ΑΠΕ, τις εφοδιαστικές αλυσίδες και το ρυθμιστικό περιβάλλον

3.4 Ο ρόλος των λιμένων στην παραγωγή, αποθήκευση και διανομή εναλλακτικών καυσίμων

Η μετάβαση της ναυτιλίας σε καύσιμα χαμηλών και μηδενικών εκπομπών μετασχηματίζει σταδιακά τα λιμάνια από παραδοσιακούς κόμβους διακίνησης φορτίων σε σύνθετους ενεργειακούς κόμβους (energy hubs). Στη σύγχρονη βιβλιογραφία, τα λιμάνια περιγράφονται ως κρίσιμα σημεία σύγκλισης μεταξύ θαλάσσιων μεταφορών, βιομηχανικής δραστηριότητας και περιφερειακών ενεργειακών συστημάτων, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της απανθρακοποίησης (Akhavan et al., 2025).

3.4.1 Παραγωγή και μετατροπή ενέργειας εντός λιμενικών περιοχών

Πολλές φορές παρατηρείται πως οι λιμενικές εγκαταστάσεις είτε περιλαμβάνουν ήδη, είτε σκοπεύουν να συμπεριλάβουν υποδομές για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (όπως αιολικά πάρκα στην θάλασσα ή φωτοβολταϊκά), καθώς και εγκαταστάσεις μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας σε αποθηκεύσιμους φορείς, παραδείγματος χάριν, σε υδρογόνο μέσω ηλεκτρόλυσης. Η γεωγραφική τους θέση κοντά σε βιομηχανικές περιοχές και τα υφιστάμενα ενεργειακά δίκτυα τα καθιστά ιδανικές τοποθεσίες για τέτοιου είδους επενδυτικά σχήματα (Merk, 2014).

Η παραγωγή "πράσινου" υδρογόνου ακριβώς εντός των ορίων του λιμένα ή πολύ κοντά σε αυτά, ανοίγει δρόμους για την δημιουργία τοπικών διαδρομών δημιουργίας αξίας. Με αυτόν τον τρόπο, η παραγόμενη ενέργεια είναι δυνατόν να ενσωματωθεί είτε στην ναυτιλιακή κίνηση είτε να χρησιμοποιηθεί από την τοπική βιομηχανία, ενισχύοντας έτσι τη λειτουργία του λιμένα ως κεντρικού σημείου ενεργειακού σύνδεσμου (DNV, 2023).

3.5 Υποδομές αποθήκευσης και bunkering

Η αποθήκευση και ο ανεφοδιασμός πλοίων με εναλλακτικά καύσιμα αποτελούν ίσως τη σημαντικότερη διάσταση της ενεργειακής λειτουργίας των λιμένων. Η δημιουργία εγκαταστάσεων για υδρογόνο, αμμωνία, μεθανόλη ή LNG απαιτεί:

- νέες δεξαμενές αποθήκευσης,
- συστήματα ασφαλείας και ανίχνευσης διαρροών,
- προσαρμογή λιμενικών υποδομών και κανονιστικών διαδικασιών.

Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η επιτυχία των Green Shipping Corridors εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα των λιμένων να παρέχουν αξιόπιστες και ασφαλείς υπηρεσίες bunkering εναλλακτικών καυσίμων (Fazi et al., 2024). Χωρίς τέτοιες υποδομές, η μετάβαση των πλοίων σε νέα καύσιμα παραμένει περιορισμένη, ανεξαρτήτως τεχνολογικής διαθεσιμότητας.

3.5.1 Λιμενική διακυβέρνηση και ενεργειακός συντονισμός

Για να καταστούν τα λιμάνια κέντρα ενέργειας, είναι απαραίτητη η υιοθέτηση ενός καινοτόμου πλαισίου διοίκησης. Οι υπεύθυνοι των λιμανιών οφείλουν να επιφέρουν σύμπραξη μεταξύ ενεργειακών φορέων, ναυτιλιακών κολοσσών, περιφερειακών δομών και χρηματοδοτών. Όπως υποστηρίζουν οι Notteboom και Haralambides (2020), ο τρόπος διαχείρισης των λιμένων μετατοπίζεται σε μορφές σύμπραξης και διαστρωμάτωσης, ιδίως όταν αυτό συνδέεται με μακροπρόθεσμους στόχους οικολογικής βιωσιμότητας.

Η προσέγγιση ενός λιμένα στο ενεργειακό ζήτημα δεν αφορά πλέον μόνο τον περιορισμό των ρύπων εντός των ορίων του (π.χ. παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά), αλλά περιλαμβάνει πλέον τη δόμηση ολοκληρωμένων ενεργειακών δικτύων που εντάσσουν τη θαλάσσια μεταφορά στην ευρύτερη γεωγραφική αλλαγή (Akhavan et al., 2025).

3.6 Ανισότητες δυνατοτήτων μεταξύ λιμένων

Δεν διαθέτουν όλα τα λιμάνια την ίδια ικανότητα να λειτουργήσουν ως ενεργειακοί κόμβοι. Παράγοντες όπως:

- μέγεθος λιμένα,
- πρόσβαση σε κεφάλαια,
- θεσμική αυτονομία,
- γεωγραφική θέση και πρόσβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

επηρεάζουν σημαντικά τη δυνατότητα υλοποίησης ενεργειακών έργων (Merk, 2014). Ως αποτέλεσμα, η ενεργειακή μετάβαση ενδέχεται να δημιουργήσει «λιμένες δύο ταχυτήτων», με ορισμένους να εξελίσσονται σε πρότυπα ενεργειακής καινοτομίας και άλλους να παραμένουν περιορισμένοι σε παραδοσιακές λειτουργίες.

3.7 Διασύνδεση λιμένων με περιφερειακά ενεργειακά συστήματα

Η μετατροπή των λιμένων σε ενεργειακούς κόμβους δεν περιορίζεται στην παροχή καυσίμων προς τα πλοία, αλλά επεκτείνεται στη διασύνδεσή τους με ευρύτερα περιφερειακά και εθνικά ενεργειακά συστήματα. Στο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης, τα λιμάνια λειτουργούν ως σημεία σύνδεσης μεταξύ παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, βιομηχανικής κατανάλωσης και θαλάσσιων μεταφορών (Akhavan et al., 2025).

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει πως τα λιμάνια έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν ως «κόμβοι συνδυασμού ενέργειας» (energy integration nodes), δηλαδή η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μεταπλάθεται σε μορφές αποθηκευμένης ενέργειας, παράδειγμα το υδρογόνο ή τεχνητά παραγόμενα καύσιμα. Αυτά στη συνέχεια διοχετεύονται είτε προς τον ναυτιλιακό τομέα είτε προς βιομηχανικές διεργασίες στην ενδοχώρα (DNV, 2023). Η εγγύτητα των βιομηχανιών με υψηλή ενεργειακή κατανάλωση στην περιοχή του λιμένα ευνοεί την καθιέρωση τέτοιων δομών συνεργασίας.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των λιμένων σε περιφερειακές στρατηγικές ενεργειακής μετάβασης μπορεί να ενισχύσει τη σταθερότητα των ενεργειακών δικτύων. Μέσω συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας ή παραγωγής υδρογόνου, τα λιμάνια μπορούν να λειτουργήσουν ως ρυθμιστικοί μηχανισμοί εξισορρόπησης προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών (Van den Berghe et al., 2018).

Επιπρόσθετα, η διασύνδεση αυτή έχει γεωοικονομικές και γεωπολιτικές διαστάσεις. Εκείνα τα θαλάσσια λιμάνια, τα οποία προχωρούν σε επενδύσεις για την εγκατάσταση υποδομών σχετιζόμενων με περιβαλλοντικά αποδεκτά καύσιμα, έχουν τη δυνατότητα να εξελιχθούν σε κεντρικοί κόμβοι για την αγοραπωλησία ενεργειακών αγαθών σε επίπεδο περιφέρειας, ασκώντας επιρροή στις κατευθύνσεις των εμπορικών και ενεργειακών ροών σε παγκόσμια κλίμακα (Merk, 2014). Η δημιουργία διαδρομών με πράσινο πρόσημο που συνδέουν λιμενικές εγκαταστάσεις διαφόρων εθνών αποκτά

περαιτέρω σημασία ενισχύοντας την ενοποίηση της ενέργειας πέρα από τα εθνικά σύνορα.

Ωστόσο, η αποτελεσματική διασύνδεση λιμένων με ενεργειακά δίκτυα απαιτεί μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχεδιασμό, συντονισμό πολιτικών και σημαντικές επενδύσεις σε δίκτυα μεταφοράς και υποδομές. Η έλλειψη θεσμικής συνέργειας μεταξύ ενεργειακού και ναυτιλιακού τομέα μπορεί να περιορίσει τον ρυθμό υλοποίησης σχετικών έργων (Notteboom & Haralambides, 2020).

Συνολικά, η συμβολή των λιμένων στην περιφερειακή ενεργειακή μετάβαση δεν έγκειται μόνο στη μείωση των εκπομπών της ναυτιλίας, αλλά και στη δυνατότητά τους να λειτουργήσουν ως καταλύτες ολοκληρωμένων ενεργειακών οικοσυστημάτων, ενισχύοντας τη διασύνδεση μεταφορών και ενέργειας σε πολυεπίπεδο επίπεδο.

4 Ο Ρόλος των Λιμένων ως Ενεργειακών Κόμβων

Η μετάβαση των θαλάσσιων λιμένων σε κέντρα ενέργειας δεν είναι απλώς ένα θέμα τεχνικών λύσεων ή κεφαλαιουχικών επενδύσεων. Ο μετασχηματισμός αυτός συνδέεται με τον τρόπο που διοικούνται τα λιμάνια και με τον στρατηγικό προσανατολισμό που υιοθετούν οι αρμόδιες λιμενικές διοικήσεις. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, τα λιμάνια παρουσιάζονται ως πολύπλοκα, πολυ-θεσμικά δίκτυα, όπου συνυπάρχουν και αλληλοεπιδρούν κρατικοί οργανισμοί, ιδιωτικές οντότητες, εταιρείες ποντοπόρου ναυτιλίας και προμηθευτές ενέργειας (Notteboom & Haralambides, 2020).

Η ενεργειακή στρατηγική ενός λιμένα επηρεάζεται από το διοικητικό του μοντέλο (π.χ. landlord port model, public service port), τον βαθμό αυτονομίας στη λήψη αποφάσεων και τη δυνατότητα προσέλκυσης ιδιωτικών επενδύσεων. Λιμένες με ισχυρή θεσμική αυτονομία και στρατηγικό σχεδιασμό είναι περισσότερο ικανοί να αναπτύξουν ολοκληρωμένα ενεργειακά έργα, όπως υποδομές υδρογόνου ή εγκαταστάσεις bunkering εναλλακτικών καυσίμων (Merk, 2014).

Επιπλέον, η βιβλιογραφία αναδεικνύει τη σημασία της ενσωμάτωσης της ενεργειακής στρατηγικής των λιμένων σε ευρύτερες περιφερειακές και εθνικές πολιτικές. Η επιτυχία των λιμένων ως ενεργειακών κόμβων εξαρτάται από τη συνέργεια μεταξύ λιμενικών αρχών, ενεργειακών φορέων και κυβερνήσεων, καθώς και από την ύπαρξη σαφούς ρυθμιστικού πλαισίου που ενθαρρύνει επενδύσεις χαμηλών εκπομπών (Akhavan et al., 2025).

Ταυτόχρονα, η εν λόγω στροφή απαιτεί αναμόρφωση του τρόπου λειτουργίας των λιμενικών εγκαταστάσεων. Αντί να παραμείνουν απλοί διαχειριστικοί φορείς διακίνησης εμπορευμάτων, οι λιμένες πρέπει πλέον να αναλάβουν τον ρόλο του ενορχηστρωτή των ενεργειακών μετακινήσεων και του κέντρου προώθησης καινοτομιών, δεκτικού σε ερευνητικές πρωτοβουλίες και δοκιμαστικές εγκαταστάσεις πράσινων τεχνολογιών (Fazi et al., 2024). Μέσω αυτής της αναβάθμισης, η στρατηγική βαρύτητα των λιμένων διευρύνεται πέρα από τη θαλάσσια συγκοινωνία, επεκτεινόμενη στην ευρύτερη ενεργειακή εξέλιξη της περιοχής.

Ωστόσο, η μετάβαση σε ενεργειακό κόμβο συνεπάγεται και προκλήσεις. Η ανάγκη για συντονισμό πολλών φορέων, η αβεβαιότητα σχετικά με την επιλογή καυσίμου και οι υψηλές επενδύσεις δημιουργούν ρίσκο για τις λιμενικές αρχές. Η έλλειψη σαφούς στρατηγικής μπορεί να οδηγήσει σε κατακερματισμένες πρωτοβουλίες χωρίς μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα (Notteboom & Haralambides, 2020)

Συνεπώς, η λιμενική διακυβέρνηση αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα επιτυχίας στη μετατροπή των λιμένων σε ενεργειακούς κόμβους. Η στρατηγική προσέγγιση, η θεσμική σταθερότητα και η διατομεακή συνεργασία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα ενός λιμένα να υποστηρίξει την απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών και να συμβάλει ενεργά στην περιφερειακή ενεργειακή μετάβαση.

4.1 Ανάπτυξη υποδομών και επενδύσεις

Η μετατροπή των λιμένων σε ενεργειακούς κόμβους προϋποθέτει εκτεταμένες επενδύσεις σε υποδομές παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής εναλλακτικών καυσίμων. Η ανάπτυξη τέτοιων υποδομών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχία της απανθρακοποίησης της ναυτιλίας, καθώς χωρίς επαρκείς και αξιόπιστες εγκαταστάσεις, η μετάβαση των πλοίων σε νέα καύσιμα καθίσταται περιορισμένη ή μη βιώσιμη (Fazi et al., 2024).

4.2 Υποδομές εναλλακτικών καυσίμων

Η δημιουργία εγκαταστάσεων bunkering για καύσιμα όπως η μεθανόλη, η αμμωνία και το υδρογόνο απαιτεί:

- νέες δεξαμενές αποθήκευσης με ειδικές τεχνικές προδιαγραφές,
- προσαρμοσμένα δίκτυα μεταφοράς εντός του λιμένα,
- συστήματα ασφαλείας υψηλών προδιαγραφών,
- αναβάθμιση λιμενικών προβλητών και εξοπλισμού ανεφοδιασμού.

Ιδιαίτερα για το υδρογόνο και την αμμωνία, οι απαιτήσεις αποθήκευσης και ασφάλειας αυξάνουν σημαντικά το κόστος επένδυσης, ενώ η έλλειψη τυποποιημένων διεθνών προτύπων δημιουργεί επιπλέον αβεβαιότητα (DNV, 2023). Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η τεχνολογική αβεβαιότητα ως προς το ποιο καύσιμο θα επικρατήσει λειτουργεί ανασταλτικά για μεγάλες επενδύσεις υποδομών.

4.2.1 Χρηματοδότηση και επενδυτικός κίνδυνος

Για την υλοποίηση των ενεργειακών εγκαταστάσεων στα λιμάνια απαιτούνται δαπάνες υψηλού κεφαλαίου (CAPEX) και ο χρόνος αποπληρωμής τους είναι μακρύς. Καθώς οι λιμενικές διοικήσεις συνήθως στερούνται των αναγκαίων μέσων για την αυτοχρηματοδότηση αυτών των εγχειρημάτων, η προσφυγή σε συμπράξεις μεταξύ του δημοσίου και του ιδιωτικού τομέα (public–private partnerships) καθίσταται αναγκαία (Merk, 2014).

Παράλληλα, η αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική ζήτηση εναλλακτικών καυσίμων και η πιθανότητα τεχνολογικού «κλειδώματος» (technology lock-in) αυξάνουν τον επενδυτικό κίνδυνο. Όπως επισημαίνει η βιβλιογραφία, οι επενδύσεις σε υποδομές ενέργειας σε πρώιμο στάδιο μετάβασης χαρακτηρίζονται από υψηλό ρίσκο και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σταθερότητα του ρυθμιστικού πλαισίου και τα διαθέσιμα οικονομικά κίνητρα (Akhavan et al., 2025).

4.2.2 Ρόλος δημόσιας πολιτικής και ευρωπαϊκών χρηματοδοτικών εργαλείων

Στο ευρωπαϊκό πλαίσιο, εργαλεία όπως το Connecting Europe Facility (CEF), το Innovation Fund και τα εθνικά προγράμματα πράσινης μετάβασης λειτουργούν ως καταλύτες για την υλοποίηση ενεργειακών έργων σε λιμένες. Η πολιτική στήριξη μειώνει το επενδυτικό ρίσκο και διευκολύνει την ανάπτυξη πιλοτικών εφαρμογών, ιδιαίτερα σε πρώιμο στάδιο αγοράς (European Commission, 2024).

Από τη μελέτη προκύπτει πως μια αποδοτική μετάβαση είναι συνάρτηση της σύμπλευσης κρατικών κατευθύνσεων, της διάθεσης κεφαλαίων και των ιδιωτικών δεσμεύσεων. Χωρίς σαφή στρατηγική και όταν επικρατεί αστάθεια στο νομικό/κανονιστικό πλαίσιο, οι λιμένες αντιμετωπίζουν σοβαρά εμπόδια στην εξασφάλιση μακροχρόνιων κεφαλαιουχικών εισροών για έργα ενεργειακών εγκαταστάσεων (Notteboom & Haralambides, 2020).

4.2.3 Στρατηγική επένδυσης και σταδιακή κλιμάκωση

Στην επιστημονική βιβλιογραφία, εντοπίζεται μια πρόταση που αφορά την κλιμακωτή δημιουργία των απαραίτητων εγκαταστάσεων. Αυτή η μέθοδος προκρίνει την αρχική εστίαση σε καύσιμα που εμφανίζουν ήδη υψηλό βαθμό τεχνολογικής ετοιμότητας (όπως η μεθανόλη ή τα βιοκαύσιμα), για να ακολουθήσει, όσο ωριμάζει το αγοραστικό πεδίο, η προσθήκη πιο απαιτητικών λύσεων (π.χ. πράσινο υδρογόνο) (DNV, 2023). Με αυτόν τον τρόπο, περιορίζεται ο κίνδυνος δαπανηρών, πρόωρων δεσμεύσεων κεφαλαίων, ενώ διευκολύνεται η προσαρμογή τόσο στις τεχνολογικές καινοτομίες όσο και στις μεταβαλλόμενες πολιτικές κατευθύνσεις.

Κοινή διαπίστωση είναι ότι η οικοδόμηση των απαραίτητων εγκαταστάσεων και οι σχετικές κεφαλαιουχικές επενδύσεις αποτελούν τον θεμέλιο λίθο για τη μετατροπή των λιμενικών συγκροτημάτων σε κέντρα ενεργειακής διακίνησης. Η εμπορική ικανότητα του εγχειρήματος, η διαχείριση του ενδεχόμενου οικονομικού ρίσκου και η υποστήριξη από το ρυθμιστικό πλαίσιο καθορίζουν το περιβάλλον εντός του οποίου οι λιμένες μπορούν να διαδραματίσουν έναν ουσιαστικό ρόλο στη μείωση του άνθρακα στις θαλάσσιες μετακινήσεις.

4.3 Συνεργασίες λιμένων – ναυτιλιακών – ενεργειακών φορέων

Για να μετατραπούν τα λιμάνια σε ενεργειακούς κόμβους, είναι αναγκαία η στενή σύμπραξη μεταξύ των διοικήσεων των λιμανιών, των ναυτιλιακών εταιρειών, των ενεργειακών παροχών και των κρατικών φορέων. Όπως τονίζει η σχετική έρευνα, η μείωση των εκπομπών άνθρακα στη ναυτιλία δε θα επιτευχθεί με μεμονωμένες προσπάθειες, αλλά απαιτείται συντονισμένη κινητοποίηση σε όλο το φάσμα της εφοδιαστικής αλυσίδας (Fazi et al., 2024).

Οι Green Shipping Corridors αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων συνεργατικών σχημάτων, καθώς βασίζονται σε διακρατικές συμφωνίες και σε συνέργειες μεταξύ λιμένων και ναυτιλιακών γραμμών για την ανάπτυξη υποδομών και τη διασφάλιση ζήτησης εναλλακτικών καυσίμων (Akhavan et al., 2025). Η δημιουργία μια σταθερής ζήτησης μειώνει τον επενδυτικό κίνδυνο και βοηθάει στην την ανάπτυξη υποδομών.

Επιπροσθέτως, οι συνεργασίες μεταξύ δημοσίου και ιδιωτικού τομέα (public-private partnerships) προσφέρουν διευκόλυνση στη κεφαλαιοδότηση ενεργειακών εγχειρημάτων, καθιστώντας εφικτή το διαμοιρασμό του κινδύνου

και την προσέλκυση ιδιωτικών πόρων (Merk, 2014). Ως εκ τούτου, η δημιουργία δικτύων και η δομική εναρμόνιση αποτελούν βασικοί παράγοντες για την επιτυχή ενεργειακή μεταμόρφωση των λιμενικών εγκαταστάσεων.

4.4 Προκλήσεις και περιορισμοί στη μετατροπή των λιμένων σε ενεργειακούς κόμβους

Παρά τις σημαντικές προοπτικές, η μετατροπή των λιμένων σε ενεργειακούς κόμβους συνοδεύεται από ουσιαστικές προκλήσεις. Η τεχνολογική αβεβαιότητα σχετικά με την επικράτηση συγκεκριμένων καυσίμων, το υψηλό επενδυτικό κόστος και η αβεβαιότητα ζήτησης αποτελούν βασικούς περιοριστικούς παράγοντες (DNV, 2023).

Πέραν τούτου, θέματα όσον αφορά τον τρόπο διάταξης του χώρου, την κοινωνική συναίνεση και τις επιδράσεις στο φυσικό περιβάλλον ενδέχεται να προκαλέσουν καθυστερήσεις στην εκτέλεση των ενεργειακών εγχειρημάτων εντός των θαλάσσιων λιμένων. Η δομή της διαχείρισης των λιμανιών, η οποία είναι σύνθετη, μαζί με την επιτακτική ανάγκη εναρμόνισης δράσεων μεταξύ πολυάριθμων εμπλεκόμενων οντοτήτων, επιτείνουν τις δυσκολίες στην διοικητική αντιμετώπιση (Notteboom & Haralambides, 2020).

Τέλος, η ενεργειακή μετάβαση ενδέχεται να δημιουργήσει ανισότητες μεταξύ λιμένων διαφορετικού μεγέθους και δυνατοτήτων, με μεγαλύτερους διεθνείς κόμβους να έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα στην προσέλκυση επενδύσεων και τεχνολογικής καινοτομίας. Ως εκ τούτου, η πολιτική στήριξη και η διακρατική συνεργασία κρίνονται απαραίτητες για την εξισορρόπηση αυτών των διαφορών.

5 Πολιτικό και Ρυθμιστικό Πλαίσιο

5.1 Διεθνές πλαίσιο: Ο ρόλος του IMO

Η απανθρακοποίηση της ναυτιλίας καθοδηγείται σε παγκόσμιο επίπεδο από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), ο οποίος το 2023 αναθεώρησε τη στρατηγική του για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, θέτοντας στόχο την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών έως ή γύρω στο 2050 (International Maritime Organization [IMO], 2023). Η στρατηγική περιλαμβάνει ενδιάμεσους στόχους μείωσης εκπομπών και προωθεί την υιοθέτηση καυσίμων μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών.

Από τις σχετικές μελέτες φαίνεται ότι παρόλο που ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) λειτουργεί ως ο κεντρικός διεθνής φορέας ρύθμισης, ο ρυθμός με τον οποίο επιτυγχάνονται εξελίξεις είναι συχνά αργές. Αυτό οφείλεται στην πολυμερή δομή του και στις συγκρουόμενες εθνικές προτεραιότητες (Bouman et al., 2017). Κατά συνέπεια, περιφερειακές δράσεις, με κυρίαρχη φωνή την Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν αρχίσει να διαδραματίζουν όλο και πιο καθοριστικό ρόλο.

5.2 Ευρωπαϊκή Ένωση: Fit for 55, FuelEU Maritime και ETS

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει πιο φιλόδοξο ρόλο μέσω του πακέτου **Fit for 55**, ενσωματώνοντας τη ναυτιλία στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU ETS) και θεσπίζοντας τον κανονισμό FuelEU Maritime, ο οποίος επιβάλλει σταδιακή μείωση της έντασης εκπομπών των ναυτιλιακών καυσίμων (European Commission, 2024).

Η ένταξη της ναυτιλίας στο ETS αυξάνει το κόστος εκπομπών CO₂, δημιουργώντας οικονομικό κίνητρο για μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα. Παράλληλα, ο FuelEU Maritime στοχεύει στη δημιουργία σταθερής ζήτησης για καύσιμα χαμηλών εκπομπών, επηρεάζοντας άμεσα τις επενδυτικές αποφάσεις λιμένων και ναυτιλιακών εταιρειών.

Σύμφωνα με σχετικές αναλύσεις, η ευρωπαϊκή ρυθμιστική προσέγγιση ενδέχεται να λειτουργήσει ως «ρυθμιστικός καταλύτης» (regulatory driver), επιταχύνοντας την ενεργειακή μετάβαση ακόμη και πέραν των ευρωπαϊκών θαλάσσιων ορίων (Fazi et al., 2024).

5.3 Περιφερειακές και εθνικές στρατηγικές

Πέραν του διεθνούς και ευρωπαϊκού πλαισίου, αρκετές χώρες έχουν αναπτύξει εθνικές στρατηγικές για την προώθηση πράσινων καυσίμων και Green Shipping Corridors. Παραδείγματα περιλαμβάνουν συνεργασίες μεταξύ λιμένων και κρατών για πιλοτικές εφαρμογές υδρογόνου ή αμμωνίας, καθώς και επενδύσεις σε λιμενικές ενεργειακές υποδομές.

Η βιβλιογραφία τονίζει ότι η επιτυχία τέτοιων πρωτοβουλιών εξαρτάται από τη διασύνδεση πολιτικής και επενδύσεων και από τη σταθερότητα του θεσμικού περιβάλλοντος (Akhavan et al., 2025).

5.4 Συμπερασματική αποτίμηση ρυθμιστικού πλαισίου

Η διαμόρφωση του πολιτικού και του ρυθμιστικού περιβάλλοντος είναι καθοριστική για το πώς τα λιμάνια θα μπορέσουν να μετατραπούν σε κέντρα ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο IMO καθορίζει το γενικό πλαίσιο με στόχους και κατευθυντήριες γραμμές για τη μείωση των εκπομπών αερίων. Εν τω μεταξύ, η Ευρωπαϊκή Ένωση επιβάλλει πιο αυστηρούς μηχανισμούς για την εφαρμογή αυτών, οι οποίοι ασκούν άμεση επιρροή στις αποφάσεις που αφορούν τις επενδύσεις και τη λειτουργία τόσο στη ναυτιλία όσο και στα λιμάνια. (International Maritime Organization [IMO], 2023; European Commission, 2024).

Η αποτελεσματικότητα των ρυθμιστικών μέτρων εξαρτάται από τη συνοχή μεταξύ διεθνούς και περιφερειακής πολιτικής, καθώς και από τη δυνατότητα υλοποίησης σε τοπικό επίπεδο (Bouman et al., 2017). Ειδικότερα, η μετάβαση προς καύσιμα χαμηλών και μηδενικών εκπομπών απαιτεί συντονισμό μεταξύ κανονιστικών πλαισίων, χρηματοδοτικών μηχανισμών και επενδύσεων σε λιμενικές υποδομές (Fazi et al., 2024).

Επιπροσθέτως, αυτή η πολύ επίπεδη διαχείριση εγκυμονεί δυσκολίες στον συγχρονισμό, ιδίως λόγω της γεωγραφικής απόκλισης στις νομοθετικές κινήσεις. Η άνιση κατανομή μεταξύ των δεσμεύσεων σε παγκόσμιο επίπεδο και εκείνων στο τοπικό επίπεδο δύναται να επιφέρει διαφορετικούς ρυθμούς αναδιάρθρωσης, με άμεση επίπτωση στην ανταγωνιστική θέση ορισμένων λιμενικών συγκροτημάτων (Bouman et al., 2017).

Εν κατακλείδι, η επιτυχής μετατροπή των λιμένων σε ενεργειακούς κόμβους προϋποθέτει θεσμική συνέργεια, μακροπρόθεσμη ρυθμιστική σταθερότητα και ευθυγράμμιση πολιτικής σε διεθνές, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Το ρυθμιστικό πλαίσιο δεν λειτουργεί απλώς ως μηχανισμός περιορισμού εκπομπών, αλλά ως βασικός μοχλός διαμόρφωσης της ενεργειακής στρατηγικής των λιμένων.

6 Μεθοδολογία επιλογής και πλαίσιο αξιολόγησης

Παρότι η διεθνής βιβλιογραφία έχει αναδείξει τον ρόλο των λιμένων ως κομβικών σημείων της ενεργειακής μετάβασης και της απανθρακοποίησης της ναυτιλίας, παραμένει περιορισμένη η συστηματική αξιολόγηση συγκεκριμένων λιμένων με βάση ένα ενιαίο πλαίσιο κριτηρίων που να συνδυάζει στρατηγική θέση, ενεργειακές υποδομές, επενδυτική δυναμική και θεσμική ετοιμότητα.

Ειδικότερα, στην περίπτωση του Λιμένα Πειραιά, η βιβλιογραφία αναγνωρίζει τη σημασία του ως διαμετακομιστικού και γεωοικονομικού κόμβου, καθώς και τη συμμετοχή του σε ενεργειακά και περιβαλλοντικά έργα, χωρίς όμως να έχει αποσαφηνιστεί επαρκώς σε ποιο βαθμό τα στοιχεία αυτά συνθέτουν μια συνεκτική πορεία προς την εξέλιξή του σε πράσινο και περιφερειακό ενεργειακό κόμβο (Akhavan et al., 2025; Notteboom & Haralambides, 2020; Pallis & Vaggelas, 2023).

Με βάση το παραπάνω ερευνητικό κενό, το βασικό ερώτημα της παρούσας μελέτης διατυπώνεται ως εξής:

Πώς και υπό ποιες προϋποθέσεις μπορεί ο Λιμένας Πειραιά να εξελιχθεί σε περιβαλλοντικά βιώσιμο λιμένα και σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο;

Η ανάλυση που ακολουθεί βασίζεται σε ένα πλαίσιο αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων, το οποίο προκύπτει από τη σχετική βιβλιογραφία και εφαρμόζεται συστηματικά στη μελέτη περίπτωσης του Λιμένα Πειραιά. Με τον τρόπο αυτό, η προσέγγιση της εργασίας δεν περιορίζεται σε περιγραφική παρουσίαση, αλλά αποκτά συγκριτικό και αναλυτικό χαρακτήρα.

Η παρούσα μελέτη περίπτωσης υιοθετεί τη μεθοδολογική προσέγγιση του στρατηγικού case study, με στόχο την αξιολόγηση του Λιμένα Πειραιά ως δυνητικού περιφερειακού ενεργειακού κόμβου. Η επιλογή του συγκεκριμένου λιμένα δεν είναι τυχαία, αλλά βασίζεται σε τρία βασικά κριτήρια: τη στρατηγική γεωγραφική του θέση στη Νοτιοανατολική Ευρώπη, τη συμμετοχή του σε ευρωπαϊκά χρηματοδοτούμενα έργα ενεργειακής και περιβαλλοντικής μετάβασης και τη διαπιστωμένη ερευνητική τεκμηρίωση που αναλύει την ενεργειακή του εξέλιξη.

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφική τεκμηρίωση, η μεθοδολογία της μελέτης περίπτωσης αναδεικνύεται σε ενδεδειγμένη επιλογή όταν ο στόχος είναι η διεπισδυτική κατανόηση φαινομένων υψηλής πολυπλοκότητας, ιδίως όταν αυτά εκδηλώνονται μέσα στο φυσικό πλαίσιο της δράσης τους, λαμβάνοντας υπόψη τη συνύπαρξη θεσμικών, τεχνολογικών και οικονομικών μεταβλητών. Ειδικά στον τομέα των λιμενικών εγκαταστάσεων, η μετάβαση προς νέες ενεργειακές μορφές δεν περιορίζεται σε μία απλή τεχνολογική προσαρμογή, αντιθέτως, συνιστά μια πολυσχιδή εξέλιξη άρρηκτα συνδεδεμένη με τις δομές διακυβέρνησης, το ύψος των κεφαλαιουχικών επενδύσεων και την κρίσιμη θέση τους εντός των παγκόσμιων δικτύων μεταφοράς (Akhavan et al., 2025).

Η επιλογή του Πειραιά τεκμηριώνεται περαιτέρω από πρόσφατη εμπειρική έρευνα που εξετάζει τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά έργα τα οποία έχουν

υλοποιηθεί στο πλαίσιο ευρωπαϊκών προγραμμάτων. Η ανάλυση των EU-funded projects στον Πειραιά δείχνει ότι η χρηματοδότηση από ευρωπαϊκούς μηχανισμούς, όπως το Connecting Europe Facility (CEF), έχει συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στη σταδιακή ενσωμάτωση πρακτικών βιωσιμότητας στο λιμενικό σύστημα. Η ύπαρξη τέτοιων έργων παρέχει μετρήσιμα δεδομένα που επιτρέπουν την αξιολόγηση της ενεργειακής δυναμικής του λιμένα.

Η εκτίμηση που χρησιμοποιείται εδώ δομείται πάνω σε τέσσερα σκέλη: (α) η παρουσία έργων ενέργειας με μετρήσιμα αποτελέσματα (β) η εμπλοκή σε κανονιστικά και οικονομικά σχήματα για την ενεργειακή στροφή, (γ) η προοπτική δημιουργίας εγκαταστάσεων ενεργειακής υποστήριξης και (δ) η δικτύωση του λιμενικού χώρου με μεγαλύτερες περιφερειακές και ευρωπαϊκές αρτηρίες. Μέσω αυτής της μεθοδολογίας πολλαπλών κριτηρίων, καθίσταται εφικτή η υπέρβαση μιας απλής καταγραφής και επιτυγχάνεται η αντικειμενική μέτρηση της ισχύος του λιμένα στον τομέα της ενέργειας.

Συνεπώς, η μεθοδολογία της παρούσας μελέτης δεν περιορίζεται στην παρουσίαση υφιστάμενων δράσεων, αλλά επιδιώκει να αξιολογήσει σε ποιο βαθμό ο Πειραιάς πληροί τα χαρακτηριστικά ενός περιφερειακού ενεργειακού κόμβου. Η ανάλυση που ακολουθεί στις επόμενες ενότητες εξετάζει εάν οι υφιστάμενες πρωτοβουλίες αποτελούν μεμονωμένες παρεμβάσεις ή συγκροτούν συνεκτική στρατηγική ενεργειακής μετάβασης

6.1 Κριτήρια και δείκτες αξιολόγησης της μελέτης περίπτωσης

Προκειμένου η μελέτη περίπτωσης του Λιμένα Πειραιά να αποκτήσει περισσότερο συστηματικό χαρακτήρα και να μη μείνει μόνο σε περιγραφικό επίπεδο, κρίνεται αναγκαίο να οριστεί ένα σαφές πλαίσιο αξιολόγησης. Με αυτή τη λογική, η παρούσα ανάλυση δεν περιορίζεται στην παράθεση δράσεων ή πρωτοβουλιών, αλλά επιχειρεί να εξετάσει κατά πόσο ο Πειραιάς συγκεντρώνει, σε πρακτικό επίπεδο, τα βασικά γνωρίσματα ενός λιμένα που θα μπορούσε να εξελιχθεί σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο.

Στη σχετική βιβλιογραφία, η αξιολόγηση των σύγχρονων λιμένων δεν συνδέεται πλέον αποκλειστικά με τον όγκο διακίνησης φορτίων ή τη γεωγραφική τους θέση, αλλά και με την ικανότητά τους να ενσωματώνουν ενεργειακές, περιβαλλοντικές και τεχνολογικές λειτουργίες στο επιχειρησιακό τους μοντέλο. Παράλληλα, στο επίπεδο της ευρωπαϊκής πολιτικής μεταφορών, οι λιμένες που εντάσσονται στους βασικούς διαδρόμους του Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών αποκτούν αυξημένη σημασία, καθώς συνδέονται με έργα υποδομών, χρηματοδοτικά εργαλεία και στρατηγικές βιώσιμης κινητικότητας (European Commission, n.d.).

Με βάση τα παραπάνω, η αξιολόγηση του Πειραιά στην παρούσα εργασία οργανώνεται γύρω από τέσσερις βασικούς άξονες. Ο πρώτος αφορά τις **ενεργειακές και περιβαλλοντικές υποδομές** του λιμένα. Εδώ εξετάζεται αν υπάρχουν υλοποιημένες ή δρομολογημένες παρεμβάσεις που σχετίζονται με την ηλεκτροδότηση πλοίων από ξηράς, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας και γενικότερα τη μείωση των εκπομπών. Η ύπαρξη τέτοιων υποδομών δεν αρκεί από μόνη της για να χαρακτηρίσει έναν λιμένα ως ενεργειακό κόμβο, αποτελεί όμως βασική ένδειξη ενεργειακής ετοιμότητας.

Ο δεύτερος άξονας αφορά τη **χρηματοδοτική και επενδυτική** διάσταση. Εδώ πραγματοποιείται μια εκτίμηση για το αν ο λιμένας συμμετέχει σε προγράμματα ευρωπαϊκής ή άλλης κοινής χρηματοδότησης, αν κεντρίζει επενδύσεις που συνάδουν με την αναβάθμιση της ενέργειας και του περιβάλλοντος, καθώς και αν έχει επαρκή οικονομική ισχύ για να υποστηρίξει τις μελλοντικές εγκαταστάσεις. Αυτό το στοιχείο παρουσιάζει μεγάλη βαρύτητα, δεδομένου ότι η υιοθέτηση νέων ενεργειακών προδιαγραφών από τους λιμένες απαιτεί σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου και προσεκτική, μακροπρόθεσμη οργάνωση.

Ο τρίτος άξονας συνδέεται με τη **στρατηγική θέση και τη διασυνδεσιμότητα** του Πειραιά. Εδώ λαμβάνονται υπόψη στοιχεία όπως η ένταξη του λιμένα στο βασικό δίκτυο TEN-T, η σύνδεσή του με ευρωπαϊκές μεταφορικές αρτηρίες, η γεωγραφική του θέση στη Νοτιοανατολική Ευρώπη και ο ρόλος του στις εφοδιαστικές αλυσίδες της Ανατολικής Μεσογείου. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εντάσσει τον Πειραιά στον διάδρομο Orient/East-Med, ο οποίος συνδέει την Κεντρική Ευρώπη με τα θαλάσσια μέτωπα της Βαλτικής, της Μαύρης Θάλασσας και της Μεσογείου, στοιχείο που ενισχύει τη στρατηγική του σημασία όχι μόνο για τις μεταφορές αλλά και για μελλοντικές υποδομές πράσινης μετάβασης (European Commission, n.d.).

Ο τέταρτος άξονας αφορά τη **θεσμική και οργανωτική ετοιμότητα** του λιμένα. Η παρούσα ενότητα έχει σκοπό να διερευνήσει εάν η αρχή που ασκεί τη διαχείριση του λιμένα έχει ενσωματώσει κατευθυντήριες γραμμές, καθιερωμένες πρακτικές και μηχανισμούς που ευνοούν τη λειτουργία με όρους βιωσιμότητας και υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Αναφορικά με τον Οργανισμό Λιμένος Πειραιώς, τεκμηριώνεται η εφαρμογή ενός συνεκτικού πλαισίου διαχείρισης που καλύπτει την ποιότητα, το περιβάλλον και την ενέργεια, σε συνδυασμό με την επίσημη αναγνώριση (πιστοποίηση) σύμφωνα με το πρότυπο ISO 50001:2018 για τη διαχείριση της ενέργειας. Αυτά τα στοιχεία καταδεικνύουν ένα αξιόλογο επίπεδο ετοιμότητας του οργανισμού όσον αφορά την παρακολούθηση και τη συνεχή βελτίωση των ενεργειακών του επιδόσεων. (Piraeus Port Authority, n.d.).

Για να γίνει η παραπάνω αποτίμηση πιο συγκεκριμένη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ορισμένα ποσοτικά στοιχεία. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τα οικονομικά αποτελέσματα του Οργανισμού Λιμένος Πειραιώς για το 2023, η συνολική διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων στους τρεις προβλήτες ανήλθε σε 5.100.920 TEUs, ενώ τα συνολικά έσοδα έφθασαν τα 219,8 εκατ. ευρώ και τα κέρδη προ φόρων τα 96,2 εκατ. ευρώ. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι ο Πειραιάς δεν αποτελεί μόνο έναν λιμένα με υψηλή διαμετακομιστική σημασία, αλλά και έναν οργανισμό με σημαντική οικονομική βάση, η οποία μπορεί να λειτουργήσει υποστηρικτικά για μελλοντικές ενεργειακές επενδύσεις (Piraeus Port Authority, 2024).

Αντίστοιχα, ως προς την ενεργειακή διάσταση, ιδιαίτερη σημασία έχει η συμμετοχή του λιμένα σε έργα ευρωπαϊκής χρηματοδότησης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το έργο **CIPORT**, που αφορά την προετοιμασία υποδομών ηλεκτροδότησης πλοίων από ξηράς για θέσεις κρουαζιερόπλοιοι στον Πειραιά. Το έργο αυτό εγκρίθηκε στο πλαίσιο του μηχανισμού Connecting Europe Facility και συνδέεται με την προώθηση της τεχνολογίας Onshore Power Supply, δηλαδή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το χερσαίο δίκτυο προς τα ελλιμενισμένα πλοία. Η συγκεκριμένη παρέμβαση είναι ουσιαστική, διότι αποτελεί μετρήσιμο παράδειγμα ενεργειακού σχεδιασμού με σαφές τεχνικό και χρηματοδοτικό αποτύπωμα (European Commission, 2021; DEDDIE, n.d.).

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα προαναφερθέντα, το μοντέλο αξιολόγησης που προτείνεται διευκολύνει μια πιο εμπειριστατωμένη μελέτη της κατάστασης του Πειραιά. Ο θεμελιώδης στόχος δεν ανάγεται στην επιβεβαίωση ότι ο Πειραιάς έχει ήδη ολοκληρώσει τη μετάβασή του σε έναν πλήρως διαμορφωμένο ενεργειακό πόλο, αλλά μάλλον στην κατανόηση του σημείου στο οποίο βρίσκεται αναφορικά με αυτή τη δυνατότητα. Κατά συνέπεια, η ανάλυση που θα παρουσιαστεί στις ακόλουθες παραγράφους θα θεμελιωθεί στους προαναφερθέντες τέσσερις πυλώνες, ώστε να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη διαύγεια το επίπεδο ενεργειακής ετοιμότητας, οι εν δυνάμει προοπτικές, καθώς και τα τρέχ (Union, 2026)οντα εμπόδια του λιμενικού συγκροτήματος.

Το πλαίσιο αξιολόγησης που υιοθετείται στην παρούσα εργασία βασίζεται σε τέσσερις βασικούς άξονες: (α) στρατηγική θέση και δια συνδεσιμότητα, (β) ενεργειακές και περιβαλλοντικές υποδομές, (γ) οικονομική και επενδυτική διάσταση και (δ) θεσμική και οργανωτική ετοιμότητα. Η επιλογή των συγκεκριμένων αξόνων προκύπτει από τη σχετική βιβλιογραφία, η οποία αναδεικνύει ότι η λειτουργία ενός λιμένα ως ενεργειακού κόμβου αποτελεί παραγοντική διαδικασία που συνδυάζει γεωοικονομικά, τεχνολογικά, θεσμικά και επενδυτικά στοιχεία (Akhavan et al., 2025; Notteboom & Haralambides, 2020).

Στη συνέχεια, το πλαίσιο αυτό εφαρμόζεται συστηματικά στην περίπτωση του Λιμένα Πειραιά, με στόχο την αξιολόγηση του βαθμού ετοιμότητάς του να εξελιχθεί σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο.

6.2 Στρατηγική θέση και γεωοικονομικός ρόλος του Λιμένα Πειραιά

Με βάση το κριτήριο της στρατηγικής θέσης και της διασυνδεσιμότητας, ο Λιμένας Πειραιά παρουσιάζει υψηλό επίπεδο δυναμικής ως προς τη μετεξέλιξή του σε ενεργειακό κόμβο.

Ο Λιμένας Πειραιά αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους διαμετακομιστικούς κόμβους της Ανατολικής Μεσογείου και της Νοτιοανατολικής Ευρώπης, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στη διασύνδεση των θαλάσσιων μεταφορών μεταξύ Ευρώπης και Ασίας. Η γεωγραφική του θέση, στο σταυροδρόμι τριών ηπείρων, του επιτρέπει να λειτουργεί ως πύλη εισόδου εμπορευμάτων προς την ευρωπαϊκή ενδοχώρα, ιδίως μέσω των σιδηροδρομικών και οδικών αξόνων που τον συνδέουν με τα Διευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφορών (TEN-T) (European Commission, 2023).

Επιπλέον, ο Πειραιάς έχει αναδειχθεί ένας από τους μεγαλύτερους λιμένες εμπορευματοκιβωτίων στη Μεσόγειο, κάτι που προσδίδει μεγαλύτερη αξία στη θέση του ως κέντρου διαχείρισης εφοδιαστικών αλυσίδων και ενδυναμώνει τις προοπτικές για ανάπτυξη συναφών ενεργειακών δραστηριοτήτων. Σύμφωνα με σχετικές αναλύσεις, οι σημαντικοί κόμβοι διέλευσης εμπορευμάτων διαθέτουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην προσέλκυση επενδύσεων σχετιζόμενων με ενέργεια, εξαιτίας της ροής φορτίων και της οικονομικής αποδοτικότητας που επιτυγχάνεται (Notteboom & Haralambides, 2020).

Η στρατηγική θέση του Πειραιά αποκτά επιπλέον σημασία στο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης της Ανατολικής Μεσογείου. Η περιοχή εξελίσσεται σε σημαντικό ενεργειακό χώρο, με αυξανόμενες επενδύσεις σε υποδομές φυσικού αερίου, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μελλοντικά έργα υδρογόνου. Η χωρική εγγύτητα του Πειραιά με εθνικά ενεργειακά δίκτυα και ενεργειακές εγκαταστάσεις δημιουργεί τις προϋποθέσεις για ενσωμάτωση του λιμένα σε ευρύτερα περιφερειακά ενεργειακά οικοσυστήματα, ενισχύοντας τον δυνητικό του ρόλο ως ενεργειακού κόμβου (Akhavan et al., 2025).

Ως εκ τούτου, η γεωγραφική και γεωοικονομική θέση του Λιμένα Πειραιά υπερβαίνει το ρόλο του απλού διαμετακομιστικού σταθμού, καθίσταται θεμελιώδης δύναμη ικανή να τροφοδοτήσει τη σταδιακή του εξέλιξη σε κεντρικό κόμβο ενέργειας για την ευρύτερη περιοχή.

6.3 Υφιστάμενες ενεργειακές και περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες

Με βάση το κριτήριο των ενεργειακών και περιβαλλοντικών υποδομών, ο Λιμένας Πειραιά παρουσιάζει μερική πρόοδο, καθώς έχουν υλοποιηθεί συγκεκριμένες πρωτοβουλίες, χωρίς ωστόσο να έχει επιτευχθεί πλήρης ενεργειακή ολοκλήρωση. Αν και ο λιμένας δεν έχει ακόμη αναπτύξει πλήρεις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων μηδενικών εκπομπών, έχουν υλοποιηθεί έργα που αποτελούν σημαντικά βήματα προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αναβάθμισης.

Στο πλαίσιο του ίδιου κριτηρίου, κεντρική πρωτοβουλία αποτελεί το έργο παροχής ηλεκτροδότησης πλοίων από ξηρά (Onshore Power Supply – OPS), γνωστό ως CIPORT. Το έργο αυτό, χρηματοδοτούμενο από τον μηχανισμό Connecting Europe Facility (CEF), στοχεύει στη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων και θορύβου κατά τη διάρκεια της παραμονής των πλοίων στο λιμάνι, μέσω της σύνδεσής τους με το χερσαίο ηλεκτρικό δίκτυο (European Commission, 2022). Η εφαρμογή του OPS θεωρείται βασικό μέτρο απανθρακοποίησης των λιμενικών λειτουργιών και αποτελεί προτεραιότητα της ευρωπαϊκής πολιτικής για βιώσιμα λιμάνια.

Επιπλέον, ο Οργανισμός Λιμένος Πειραιώς έχει ενσωματώσει περιβαλλοντική και ενεργειακή πολιτική στο πλαίσιο της εταιρικής του στρατηγικής, υιοθετώντας μέτρα παρακολούθησης εκπομπών και ενεργειακής κατανάλωσης, σύμφωνα με ευρωπαϊκά πρότυπα βιωσιμότητας (Piraeus Port Authority, 2024). Αν και οι πρωτοβουλίες αυτές επικεντρώνονται κυρίως στη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας, δημιουργούν τη βάση για μελλοντική ανάπτυξη πιο σύνθετων ενεργειακών υποδομών.

Εν κατακλείδι, η παρούσα εικόνα φανερώνει πως ο Πειραιάς βαδίζει σε μια πορεία σταδιακής μετάβασης ενεργειακής φύσης. Αν και η πλήρης μεταμόρφωσή του σε ενεργειακό κέντρο ικανό να προσφέρει εναλλακτικές λύσεις καυσίμων για τη ναυτιλία δεν έχει ολοκληρωθεί, η ενεργός συμμετοχή σε ευρωπαϊκά εγχειρήματα και η ενσωμάτωση καινοτομιών, όπως τα Συστήματα Παροχής Ενέργειας εν Πλω (OPS), αποτελούν σημαντικές προόδους προς αυτή την κατεύθυνση.

6.4 Δυνατότητες μετατροπής του Πειραιά σε ενεργειακό κόμβο

Με βάση το κριτήριο της οικονομικής και επενδυτικής διάστασης, ο Πειραιάς εμφανίζει σημαντικές προοπτικές, αλλά και περιορισμούς λόγω του υψηλού κόστους υποδομών και της τεχνολογικής αβεβαιότητας. Αν και ο Πειραιάς δεν διαθέτει ακόμη εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού πράσινου υδρογόνου ή αμμωνίας, η στρατηγική του θέση και η σύνδεσή του με το εθνικό ενεργειακό σύστημα δημιουργούν τις προϋποθέσεις για μελλοντική ανάπτυξη σχετικών υποδομών.

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης της επενδυτικής διάστασης, η Ελλάδα τα τελευταία έτη έχει προχωρήσει σε επενδύσεις ενεργειακής διαφοροποίησης και ενίσχυσης των διασυνδέσεων φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, ενισχύοντας τον ρόλο της ως ενεργειακού κόμβου στη Νοτιοανατολική Ευρώπη (International Energy Agency [IEA], 2023). Η γεωγραφική εγγύτητα του Πειραιά με βασικές ενεργειακές υποδομές και το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο της Αττικής επιτρέπει τη μελλοντική ενσωμάτωση συστημάτων ηλεκτροδότησης, αποθήκευσης ενέργειας ή ακόμη και εγκαταστάσεων παραγωγής και διανομής εναλλακτικών καυσίμων.

Επιπλέον, η ένταξη του λιμένα στο βασικό δίκτυο TEN-T και η συμμετοχή του σε ευρωπαϊκά έργα δημιουργούν πρόσβαση σε χρηματοδοτικούς μηχανισμούς που μπορούν να υποστηρίξουν ενεργειακές επενδύσεις (European Commission, 2023). Στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής Fit for 55 και της εφαρμογής του FuelEU Maritime, οι λιμένες που εξυπηρετούν υψηλό όγκο κίνησης αναμένεται να διαδραματίσουν κεντρικό ρόλο στη διάθεση καυσίμων χαμηλών εκπομπών, γεγονός που ενισχύει τη στρατηγική σημασία του Πειραιά.

Ένας λιμένας αναδεικνύεται σε κέντρο ενέργειας όχι μόνο με το να στοχεύει στον περιορισμό των δικών του ρύπων, αλλά και όταν συμμετέχει ενεργά στη συλλογή, την αποθήκευση και τη διοχέτευση ενέργειας είτε προς τα πλοία είτε προς την ευρύτερη γεωγραφική ζώνη (Akhavan et al., 2025). Για τον Πειραιά, οι δράσεις που έχουν ήδη δρομολογηθεί συνιστούν το αρχικό βήμα αυτής της μετατροπής. Η περαιτέρω πρόοδος, ωστόσο, θα καθοριστεί από την επιλογή των καυσίμων που θα υιοθετηθούν στρατηγικά, από τη σύνδεσή του με τα εθνικά προγράμματα υδρογόνου, καθώς και από την ικανότητά του να προσελκύσει επενδύσεις.

Ως εκ τούτου, το να γίνει ο Πειραιάς ενεργειακός κόμβος δεν είναι κάτι που συμβαίνει τώρα, αλλά μάλλον ένα εφικτό όραμα για το μέλλον. Τα υπάρχοντα νομικά πλαίσια, η στρατηγική του θέση όσον αφορά την οικονομία και η δυνατότητα άντλησης ευρωπαϊκών κεφαλαίων συνθέτουν ένα θετικό υπόβαθρο. Αν αυτό το θεμέλιο ενισχυθεί με επενδύσεις που έχουν

συγκεκριμένο στόχο και μεθοδικό σχεδιασμό, ο λιμένας έχει τη δυναμική να εξελιχθεί σε κεντρικό στήριγμα για την ενεργειακή αλλαγή στην ευρύτερη περιοχή.

6.5 Κριτική αξιολόγηση: προοπτικές και περιορισμοί

Η αξιολόγηση του Λιμένα Πειραιά ως δυνητικού περιφερειακού ενεργειακού κόμβου, βάσει των τεσσάρων αξόνων που αναπτύχθηκαν στην παρούσα μελέτη, απαιτεί ισορροπημένη αποτίμηση τόσο των συγκριτικών του πλεονεκτημάτων όσο και των υφιστάμενων περιορισμών. Παρότι η στρατηγική του θέση και η ένταξή του σε ευρωπαϊκά δίκτυα δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες, η μετάβαση προς έναν ολοκληρωμένο ενεργειακό ρόλο προϋποθέτει δομικές και επενδυτικές μεταβολές.

Στα βασικά πλεονεκτήματα συγκαταλέγεται η γεωγραφική του θέση στον βασικό διάδρομο Orient/East–Med του TEN-T, η οποία ενισχύει τη διασύνδεση με την ευρωπαϊκή ενδοχώρα και δημιουργεί δυνατότητες αξιοποίησης ευρωπαϊκών χρηματοδοτικών εργαλείων (European Commission, 2023). Επιπλέον, ο μεγάλος όγκος διακίνησης φορτίων και η ισχυρή διαμετακομιστική του λειτουργία προσδίδουν οικονομία κλίμακας, στοιχείο που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την προσέλκυση επενδύσεων σε ενεργειακές υποδομές (Notteboom & Haralambides, 2020).

Περαιτέρω, η πραγματοποίηση πρωτοβουλιών όπως η Παροχή Ενέργειας στο Χερσαίο Δίκτυο (OPS) και η ενεργή συμμετοχή σε ανάλογες ευρωπαϊκές δράσεις, δείχνουν πως ο οργανισμός έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται θεσμικά και είναι τεχνολογικά έτοιμος για βήματα προς την ενεργειακή αναβάθμιση (Pallis & Vaggelas, 2023). Ως αποτέλεσμα, η εικόνα του Πειραιά ενισχύεται ως ένα λιμάνι που υπερβαίνει την απλή παθητική τήρηση των κανονισμών για το περιβάλλον, επιδιώκοντας την συστηματική ένταξη καινοτόμων ενεργειακών λύσεων.

Ωστόσο, παραμένουν σημαντικοί περιορισμοί. Πρώτον, δεν υπάρχουν ακόμη εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού εναλλακτικών ναυτιλιακών καυσίμων, όπως πράσινη μεθανόλη, υδρογόνο ή αμμωνία, γεγονός που περιορίζει τον ρόλο του λιμένα στην ενεργειακή αλυσίδα αξίας. Σύμφωνα με τη θεωρητική προσέγγιση των ενεργειακών κόμβων, ένας λιμένας καθίσταται πλήρως ενεργειακός κόμβος όταν ενσωματώνεται στην παραγωγή και διανομή καυσίμων χαμηλών εκπομπών, και όχι μόνο στη μείωση των δικών του λειτουργικών εκπομπών (Akhavan et al., 2025). Υπό αυτό το πρίσμα, ο Πειραιάς βρίσκεται ακόμη σε μεταβατικό στάδιο.

Δεύτερον, η ενεργειακή μετάβαση προϋποθέτει συντονισμό μεταξύ λιμενικής αρχής, εθνικών ενεργειακών φορέων και ιδιωτικών επενδυτών. Η απουσία ολοκληρωμένης εθνικής στρατηγικής για ναυτιλιακά καύσιμα μηδενικών εκπομπών ενδέχεται να επιβραδύνει την υλοποίηση σχετικών έργων σε επίπεδο λιμένα (International Energy Agency [IEA], 2023). Η ενεργειακή στρατηγική ενός λιμένα δεν μπορεί να λειτουργήσει αποκομμένα από το εθνικό ενεργειακό πλαίσιο.

Τρίτον, η αβεβαιότητα σχετικά με το ποιο καύσιμο θα επικρατήσει στη ναυτιλία δημιουργεί επενδυτικό ρίσκο.

Στο σύνολό του, ο Πειραιάς ως λιμάνι φέρει σημαντικές δυνατότητες για να μετατραπεί σε κεντρικό σημείο ενέργειας για την ευρύτερη περιοχή, όμως η πραγμάτωση αυτής της εξέλιξης προϋποθέτει ένα συνεκτικό σχέδιο δράσης, συνεργασία μεταξύ των φορέων και κεφαλαιουχικές επενδύσεις με συγκεκριμένο στόχο. Η τρέχουσα συγκυρία βρίσκεται σε φάση προετοιμασίας, διότι έχουν τεθεί οι αρχικές βάσεις, πλην όμως η πλήρης ένταξη του λιμένα στη συνολική ενεργειακή ροή της ναυτιλιακής δραστηριότητας εκκρεμεί.

6.6 Συμπεράσματα μελέτης περίπτωσης

Η εφαρμογή του πλαισίου αξιολόγησης στον Λιμένα Πειραιά καταδεικνύει ότι πρόκειται για έναν λιμένα με ουσιαστικές προϋποθέσεις εξέλιξης σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο, χωρίς ωστόσο να έχει ακόμη ολοκληρώσει τη μετάβαση αυτή. Η στρατηγική του θέση στη Νοτιοανατολική Ευρώπη, η ένταξή του στα βασικά Διευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφορών και η συμμετοχή του σε ευρωπαϊκά έργα ενεργειακής αναβάθμισης συνιστούν σημαντικά θεμέλια για περαιτέρω ενεργειακή ενσωμάτωση (European Commission, 2023; Pallis & Vaggelas, 2023).

Η πορεία της περαιτέρω ανάπτυξής του θα κριθεί από την ορθή επιλογή των εκάστοτε καυσίμων, την ενσωμάτωσή του στο δίκτυο ενέργειας της χώρας, καθώς και την ικανότητα να προσελκύσει κεφάλαια για την ανάπτυξη εγκαταστάσεων που θα υποστηρίζουν εναλλακτικές ναυτιλιακές λύσεις. Για την επιτυχία αυτής της μεταμόρφωσης, είναι απαραίτητη η σύμφωνη δράση μεταξύ της διαχείρισης των λιμανιών, της εθνικής στρατηγικής για την ενέργεια και του κανονιστικού πλαισίου που ορίζεται σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (Notteboom & Haralambides, 2020).

Συνεπώς, η περίπτωση του Πειραιά επιβεβαιώνει ότι οι λιμένες της Ανατολικής Μεσογείου μπορούν να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο στην απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών, υπό την προϋπόθεση ότι θα μεταβούν από τη

σταδιακή περιβαλλοντική προσαρμογή σε ολοκληρωμένη ενεργειακή στρατηγική. Το case study αναδεικνύει ότι η μετατροπή ενός λιμένα σε ενεργειακό κόμβο δεν αποτελεί αυτόματη συνέπεια της γεωγραφικής θέσης, αλλά αποτέλεσμα συνδυασμού θεσμικής βούλησης, επενδυτικής ικανότητας και πολιτικής συνοχής. Κατά συνέπεια, το ερευνητικό ερώτημα της παρούσας εργασίας απαντάται μερικώς θετικά, καθώς ο Λιμένας Πειραιά διαθέτει σημαντικές προϋποθέσεις για να εξελιχθεί σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο, χωρίς όμως να έχει ακόμη επιτύχει πλήρη ενεργειακή και λειτουργική ωριμότητα. Η απάντηση στο ερευνητικό ερώτημα της παρούσας εργασίας λοιπόν αναδεικνύει ότι η μετεξέλιξη του Λιμένα Πειραιά σε περιβαλλοντικά βιώσιμο λιμένα και σε περιφερειακό ενεργειακό κόμβο δεν αποτελεί αποτέλεσμα ενός μεμονωμένου παράγοντα, αλλά προϋποθέτει τον συνδυασμό τεχνολογικών, θεσμικών, ενεργειακών και επενδυτικών συνθηκών.

Κρίσιμος παράγοντας είναι η δυνατότητα των λιμένων να λειτουργούν ως ενεργειακοί κόμβοι, δηλαδή όχι μόνο ως καταναλωτές αλλά και ως σημεία διαχείρισης και διανομής ενέργειας. Η σχετική βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι οι σύγχρονοι λιμένες καλούνται να ενσωματώσουν υποδομές για καύσιμα χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών, όπως το υδρογόνο, η αμμωνία και η μεθανόλη, καθώς και να συνδεθούν με ευρύτερα ενεργειακά και βιομηχανικά δίκτυα (Akhavan et al., 2025; Osman et al., 2024).

Επιπλέον, η μετάβαση αυτή εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, πολιτικές όπως το πακέτο Fit for 55, η ένταξη της ναυτιλίας στο EU ETS και ο κανονισμός FuelEU Maritime δημιουργούν ισχυρά κίνητρα για τη μείωση των εκπομπών και την υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων, ενισχύοντας τον ρόλο των λιμένων στη διαδικασία ενεργειακής μετάβασης (European Union, 2023a; European Union, 2023b; European Commission, 2024).

Στο ίδιο πλαίσιο, η οικονομική και επενδυτική διάσταση αναδεικνύεται ως καθοριστική. Η ανάπτυξη ενεργειακών υποδομών υψηλού κόστους απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και πρόσβαση σε χρηματοδοτικούς μηχανισμούς. Η εμπειρική έρευνα δείχνει ότι η συμμετοχή σε ευρωπαϊκά προγράμματα και η ύπαρξη ισχυρής οικονομικής βάσης αποτελούν βασικούς παράγοντες επιτάχυνσης της ενεργειακής μετάβασης των λιμένων (Pallis & Vaggelas, 2023; International Energy Agency [IEA], 2023).

Τέλος, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η λειτουργία ενός λιμένα ως ενεργειακού κόμβου αποτελεί παραγοντική διαδικασία που συνδέεται με τη διακυβέρνηση, τη συνεργασία μεταξύ φορέων και τη στρατηγική οργάνωση των επενδύσεων. Η επιτυχής μετάβαση προϋποθέτει συντονισμό μεταξύ λιμενικών αρχών, κρατικών πολιτικών και ιδιωτικών επενδύσεων, καθώς και ενσωμάτωση των

λιμένων σε ευρύτερα δίκτυα μεταφορών και ενέργειας (Notteboom & Haralambides, 2020; Akhavan et al., 2025).

7 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση και αναλυτική διερεύνηση του ρόλου των λιμένων ως ενεργειακών κόμβων στο πλαίσιο της απανθρακοποίησης των θαλάσσιων μεταφορών και της υποστήριξης της περιφερειακής ενεργειακής μετάβασης. Η μελέτη εστίασε τόσο στο θεωρητικό πλαίσιο των Green Shipping Corridors και των εναλλακτικών καυσίμων στη ναυτιλία, όσο και στον ρόλο που δύνανται να διαδραματίσουν οι λιμένες ως κρίσιμοι κρίκοι μεταξύ μεταφορών και ενεργειακών συστημάτων.

Από τη βιβλιογραφική ανάλυση προέκυψε ότι η μετάβαση της ναυτιλίας προς καύσιμα χαμηλών και μηδενικών εκπομπών δεν αποτελεί αποκλειστικά τεχνολογική πρόκληση, αλλά σύνθετη διαδικασία που περιλαμβάνει θεσμικό συντονισμό, επενδύσεις υποδομών και πολιτικές παρεμβάσεις. Οι Green Shipping Corridors αναδεικνύονται ως μηχανισμός επιτάχυνσης της μετάβασης, καθώς δημιουργούν γεωγραφικά εστιασμένα οικοσυστήματα συνεργασίας μεταξύ λιμένων, ναυτιλιακών εταιρειών και κρατικών φορέων. Παράλληλα, η διεθνής και ευρωπαϊκή ρυθμιστική πολιτική (IMO, Fit for 55, FuelEU Maritime, ETS) λειτουργεί ως βασικός μοχλός πίεσης και κινήτρων για επενδύσεις σε καθαρότερες ενεργειακές λύσεις.

Η εξέταση της περίπτωσης του Λιμένος Πειραιά προσέφερε τη δυνατότητα γεφύρωσης του θεωρητικού πλαισίου με την εφαρμοσμένη πρακτική. Η διερεύνηση αποκάλυψε ότι ο Πειραιάς κατέχει κρίσιμα στρατηγικά συγκριτικά πλεονεκτήματα. Τέτοια είναι η ενσωμάτωσή του στα Διευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφορών, ο υψηλός ρυθμός διακίνησης αγαθών και η ενεργός συμμετοχή σε ευρωπαϊκές δράσεις αναβάθμισης ενεργειακών υποδομών. Επιπροσθέτως, δράσεις όπως η εισαγωγή συστημάτων παροχής ηλεκτρικού ρεύματος σε πλοία εν αναμονή (Cold Ironing/OPS) αποδεικνύουν απτές προόδους προς την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής του επιβάρυνσης. Ωστόσο, από τη συνολική ανάλυση προκύπτει ότι ο Πειραιάς δεν έχει ακόμη εξελιχθεί σε πλήρη ενεργειακό κόμβο με δυνατότητα παροχής και διαχείρισης εναλλακτικών ναυτιλιακών καυσίμων. Παρατηρείται, συνεπώς, μια απόκλιση μεταξύ της θεωρητικής προσέγγισης των λιμένων ως ολοκληρωμένων ενεργειακών κόμβων και της σημερινής πρακτικής εφαρμογής.

Εν κατακλείδι, είναι πλέον προφανές πως η ενεργειακή στροφή των λιμενικών εγκαταστάσεων δεν μπορεί να στηριχθεί μόνο σε μεμονωμένες τεχνολογικές λύσεις. Απαραίτητη καθίσταται μια συνολική μεθοδολογία που θα ενσωματώνει

χρηματοδοτήσεις για τα έργα υποδομής, τη διασφάλιση σταθερών ρυθμιστικών πλαισίων και τη συνεργασία μεταξύ κρατών. Η μεταμόρφωση των λιμανιών σε ενεργειακά κέντρα δεν είναι δεδομένη λόγω απλώς της γεωγραφικής τους τοποθεσίας, αλλά προκύπτει από προσεκτικό στρατηγικό σχεδιασμό και δέσμευση σε μακροπρόθεσμες πολιτικές. Σε αυτό το πλαίσιο, τα λιμάνια της Ανατολικής Μεσογείου, και ο Πειραιάς ενδεικτικά, έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν σημαντικά στην απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών, εφόσον η ενεργειακή αναβάθμιση τεθεί ως θεμέλιος λίθος της στρατηγικής τους ανάπτυξης.

8 Βιβλιογραφία

- Energy transition outlook 2023: Maritime forecast to 2050*. . (2026, February 24). Ανάκτηση από <https://www.dnv.com/maritime/maritime-forecast/>
- (2022), E. C. (2022). *Cold ironing in ports (CIPOrt) project – Connecting Europe Facility*. Ανάκτηση από https://cinea.ec.europa.eu/programmes/connecting-europe-facility_en
- (n.d.), E. C. (2026, March 14). *Orient/East Med Core Network Corridor*. Directorate-General for Mobility and Transport. Ανάκτηση από https://transport.ec.europa.eu/other-pages/transport-basic-page/orient-east-med-core-network-corridor_en
- Akhavan,, M., Tavasszy,, L., & Vanelislander,, T. (2025). Decarbonising maritime transport: . *The role of green shipping corridors in making sustainable port-city ecosystems*. *Ocean and Society*. doi: <https://doi.org/10.17645/oas.9411>
- Bouman, E., Lindstad, E., Riialand, A., & Stromman, A. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions

- from shipping. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 408–421. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.20>
- Certifications*. (2026, March 14). Ανάκτηση από Piraeus Port Authority. (n.d.): <https://www.olp.gr/en/quality-control/certifications>
- Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency*. (2026). *CIPORT – Cold ironing in the Port of Piraeus: Taking the final step (Project fiche 2020-EL-TM-0062-S)*. (2026, February 24). Ανάκτηση από European Commission: <https://ec.europa.eu/assets/cin>
- Clydebank Declaration for Green Shipping Corridors*. . (2021). Ανάκτηση από United Nations Framework Convention on Climate Change. (2021). : <https://unfccc.int>
- Commission, E. (2022, February 24). *Maritime forecast to 2069*. Ανάκτηση από <https://www.dnv.com/maritime/maritime-forecast/>
- Commission., E. (2024). *Reducing emissions from the shipping sector*. . Ανάκτηση από https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en
- Decarbonising maritime transport – FuelEU Maritime*. . (2026, February 24). Ανάκτηση από European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport. (2026).: <https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fue>
- Financial results announcement for fiscal year 2023*. . (2024, March 29). Ανάκτηση από Piraeus Port Authority: <https://www.olp.gr/en/news/press-releases/item/13829-2024-03-29-19-00-00>
- Hellenic Electricity Distribution Network Operator. (n.d.). CIPORT project. (2026, March 14). doi:<https://www.deddie.gr/en/innovation-program/ciport/>
- International Energy Agency*. (2023). *Greece 2023: Energy policy review*. (2026, February 24). Ανάκτηση από <https://www.iea.org/reports/greece-2023>
- International Maritime Organization*. . (2026, February 24). Ανάκτηση από Resolution MEPC.377(80): 2023 IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships (adopted 7 July 2023).: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOR>
- International Maritime Organization*. (2023a). *2023 IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships*. Retrieved . (2026, February 24). Ανάκτηση από

- <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx>
- Jugović, A. (2025). Green shipping corridors: A bibliometric analysis of policy, technology, and stakeholder collaboration. *Avákτηση από* <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/6/3304>
- Notteboom, T., & Haralambies, H. (2020). Port management and governance in a post-COVID-19. *Maritime Economics & Logistics*, 22, 329–352. doi:<https://doi.org/10.1057/s41278-020-00162-7>
- Osman, A., Nasr, M., & Lichtfouse, E. (2024). Hydrogen, ammonia and methanol for marine transportation. *Environmental Chemistry Letters*, 22, 2151–2158. doi:<https://doi.org/10.1007/s10311-024-01757-9>
- Pallis, A., & Vaggelas, G. (2023). EU-funded energy-related projects for sustainable ports: Evidence from the Port of Piraeus. *Sustainability*, 15(5), 4363. doi:<https://doi.org/10.3390/su15054363>
- Quality, environmental & energy policy*. (2026, March 14). Avákτηση από Piraeus Port Authority. (n.d.): <https://www.olp.gr/en/quality-control/quality-environmental-energy-policy>
- Sustainability report*. (2026, March 2026). Avákτηση από Piraeus Port Authority.: <https://www.olp.gr>
- The competitiveness of global port-cities*. (2014). Avákτηση από OECD Publishing.: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2014/12/the-competitiveness-of-global-port-cities_g1g37699/9789264205277-en.pdf
- Union, C. o. (2026, February 24). Avákτηση από <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>
- United Kingdom Department for Transport*. (2021). (2026, February 24). Avákτηση από COP26: Clydebank Declaration for green shipping corridors: <https://www.gov.uk/government/publications/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors/cop-26-clyde>
- Wang, Y., Xiao, X., & Ji, Y. (2025). A review of LCA studies on marine alternative fuels: Fuels, methodology, case studies, and recommendations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(2), 196. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse13020196>
- Zero Carbon Shipping (Getting to Zero Coalition / Global Maritime Forum)*. (2026, February 24). Avákτηση από Green shipping corridors: Explainer document.: <https://www.zerocarbonsshipping.com/files/green-corridors-explainer-document.pdf>

