



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

ΘΕΜΑ

ΝΕΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΣΤΟΥΣ ΛΙΜΕΝΕΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΕΛΗΜ ΝΤΕΝΤΕ

Α.Μ : 2212018139

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΛΙΛΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΧΙΟΣ 2023

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	3
Περίληψη.....	3
1. Η Ενέργεια στη Ναυτιλία.....	5
1.1 Ναυτιλία Ορισμός	5
1.1.1 Ιστορική Αναδρομή	11
1.2 Πράσινη Ναυτιλία	12
2. Ηλεκτρικά Πλοία.....	21
2.1 Ορισμός	21
2.2 Ιστορική Αναδρομή	24
2.3 Πλεονεκτήματα	26
2.4 Μειονεκτήματα	28
3. Υποδομές στα λιμάνια.....	30
3.1 Ηλεκτρική Ενέργεια στα Λιμάνια	30
3.2 Cold Ironing	36
3.2.1 Υποδομές και Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Cold Ironing	41
Συμπεράσματα	46
Βιβλιογραφία	47

Εισαγωγή

Η ναυτιλία αναφέρεται στη μεταφορά ανθρώπων, εμπορευμάτων, προϊόντων και άλλων αντικειμένων μέσω ναυτικών μεταφορών, όπως πλοία, φορτηγά πλοία, πλοία επιβατών και άλλα πλοία. Η ναυτιλία είναι ένας σημαντικός τομέας της διεθνούς εμπορίας και αποτελεί έναν από τους βασικούς τρόπους μεταφοράς αγαθών και προϊόντων σε όλο τον κόσμο. Η πράσινη ναυτιλία αναφέρεται στη χρήση αειφόρων τεχνολογιών και πρακτικών στη ναυτιλία, προκειμένου να μειωθεί ο αντίκτυπος της στο περιβάλλον. Η πράσινη ναυτιλία αποτελεί μέρος της ευρύτερης προσπάθειας για τη μείωση των αποβλήτων και την προστασία του περιβάλλοντος στην αρμοδιότητα της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

Τα ηλεκτρικά πλοία είναι πλοία που κινούνται χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια αντί για παραδοσιακά καύσιμα, όπως πετρέλαιο ή πετρέλαιο ντίζελ. Τα ηλεκτρικά πλοία συνήθως έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας και λιγότερες εκπομπές καυσαερίων από τα παραδοσιακά πλοία που κινούνται με καύσιμα. Οι ηλεκτρικές υποδομές στα λιμάνια αναφέρονται στην υποδομή ενέργειας που είναι διαθέσιμη στα λιμάνια για να τροφοδοτεί τα πλοία. Οι ηλεκτρικές υποδομές στα λιμάνια είναι σημαντικές για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία. Το cold ironing είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται στα λιμάνια για να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στα πλοία κατά τη διάρκεια της διαμονής τους στο λιμάνι, αντί να χρησιμοποιούν τα δικά τους συστήματα παραγωγής ενέργεια.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να αναλύσει την έννοια των ηλεκτρικών πλοίων και των αντίστοιχων υποδομών στα λιμάνια. Συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για την έννοια της ναυτιλίας ενώ δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στον ορισμό της πράσινης ναυτιλίας. Μετέπειτα, το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει τα ηλεκτρικά πλοία σχολιάζοντας παράλληλα και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους, Τέλος το τρίτο κεφάλαιο, περιγράφει τις υποδομές στα λιμάνια δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στον όρο cold ironing και τα χαρακτηριστικά του

Περίληψη

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν βασικό παράγοντα διευκόλυνσης του παγκόσμιου εμπορίου. Η ανταγωνιστικότητα στο παγκόσμιο εμπόριο εξαρτάται,

μεταξύ άλλων παραγόντων, από το επίπεδο συνδεσιμότητας μιας χώρας και την ενσωμάτωσή της στο παγκόσμιο δίκτυο υπηρεσιών τακτικών εμπορευματοκιβωτίων. Από τους αρχαίους χρόνους, τα πλοία και η ναυτιλία έχουν διαμορφώσει τον πολιτισμό. Τα πλοία έχουν χρησιμοποιηθεί για ανακάλυψη, πόλεμο και αναψυχή, αλλά κυρίως για μεταφορά φορτίου. Η παγκόσμια περιβαλλοντική ρύπανση που προκαλείται από τον μεγάλο αριθμό πλοίων και τις εκπομπές καυσαερίων τους έχει προσελκύσει εκτεταμένη προσοχή από τις κυβερνήσεις, τις βιομηχανικές ενώσεις και τον ακαδημαϊκό κόσμο, και αντίστοιχα ρυθμιστικά τμήματα και σχετικές πολιτικές πράσινης ναυτιλίας έχουν εμφανιστεί αυτήν την ιστορική στιγμή.

Η πράσινη ναυτιλία αναφέρεται στη χρήση πόρων και ενέργειας για τη μεταφορά ατόμων και αγαθών μέσω πλοίου και αφορά συγκεκριμένα τη μείωση των πόρων και της ενέργειας προκειμένου να διατηρηθεί το παγκόσμιο περιβάλλον από τους αερίους και τους περιβαλλοντικούς ρύπους που παράγονται από πλοία. Η χρήση ηλεκτρικών πλοίων έχει αρχίσει να επεκτείνεται στην θαλάσσια μεταφορά, κυρίως λόγω της ανησυχίας για τις εκπομπές αερίων των παραδοσιακών καυσίμων και της ανάγκης για μείωση της ρύπανσης στα λιμάνια. Τα ηλεκτρικά πλοία μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές αερίων τους κατά τη λειτουργία τους, καθιστώντας τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον.

Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα λιμάνια είναι μια από τις πρακτικές της πράσινης ναυτιλίας. Συγκεκριμένα, αντί να χρησιμοποιούνται παραδοσιακές πηγές ενέργειας, τα πλοία μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο του λιμανιού και να λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια ενώ βρίσκονται στο λιμάνι. Αυτό μειώνει την εκπομπή ρύπων από τα πλοία κατά τη διάρκεια του αγκυροβολήματος ή του φορτίου και μειώνει τον θόρυβο και τις δονήσεις που προκαλούνται από τη λειτουργία των παραγόντων κινητήρων του πλοίου. Οι υποδομές για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα λιμάνια είναι συνήθως διαθέσιμες για πλοία που δέχονται πλοία τουριστικών κρουαζιερόπλοιων, ενώ η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στα λιμάνια μπορεί να επεκταθεί και σε άλλα είδη πλοίων στο μέλλον.

Η ηλεκτροδότηση των λιμενικών υποδομών είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί σημαντικό σχεδιασμό και επενδύσεις. Περιλαμβάνει την εγκατάσταση υποδομής φόρτισης, την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων και την εκπαίδευση του προσωπικού για τη λειτουργία και συντήρηση του νέου εξοπλισμού. Ωστόσο, πολλά λιμάνια σε όλο

τον κόσμο έχουν ήδη αρχίσει να εφαρμόζουν προγράμματα ηλεκτροκίνησης και η τάση αναμένεται να συνεχιστεί καθώς περισσότερα λιμάνια αναζητούν τρόπους να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους και να βελτιώσουν τις δραστηριότητές τους. Το "κρύο σιδέρωμα" είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στη ναυτιλιακή βιομηχανία για να περιγράψει την πρακτική της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή σε ένα πλοίο που βρίσκεται αγκυροβολημένο, επιτρέποντας στο πλοίο να σβήσει τις βοηθητικές του μηχανές και να μειώσει τις εκπομπές, ενώ διατηρεί την ισχύ για τις λειτουργίες επί του σκάφους.

1. Η Ενέργεια στη Ναυτιλία

1.1 Ναυτιλία Ορισμός

Η ναυτιλία, όπως ορίζεται από τον Lai (2004) ασχολείται με δραστηριότητες που περιλαμβάνουν τη μετακίνηση φορτίων ενώ, παρέχει ουσιαστική υποστήριξη για την ολοκλήρωση των οικονομικών συναλλαγών στο εμπόριο. Επιπλέον, η ναυτιλία δεν είναι μόνο η σύνδεση μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης αλλά και ένας οικονομικός τομέας από μόνος του. (Xue & Lai, 2023)

Οι ζωές και οι οικονομίες των ανθρώπων δεν θα ήταν ίδιες αν δεν υπήρχαν οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε θάλασσες και ωκεανούς. Ως εκ τούτου, η γαλάζια οικονομία είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της ευρωπαϊκής οικονομίας, καθώς παρέχει τρόφιμα και άλλους πόρους, υποστηρίζει τον τουρισμό, διευκολύνει τις μεταφορές και συντελεί στην παραγωγή και στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Fratila, Gavril, Nita, & Hrebenciuc, 2021)

Λόγω της διεθνούς φύσης της ναυτιλιακής βιομηχανίας, έχει αναγνωριστεί εδώ και καιρό ότι η δράση για τη βελτίωση της ασφάλειας στις θαλάσσιες δραστηριότητες θα ήταν πιο αποτελεσματική εάν πραγματοποιούνταν σε διεθνές επίπεδο και όχι από μεμονωμένες χώρες που ενεργούν μονομερώς και χωρίς συντονισμό με άλλες. Αν και είχαν ήδη εγκριθεί ορισμένες σημαντικές διεθνείς συμφωνίες, πολλά έθνη πίστευαν ότι υπήρχε ανάγκη για ένα μόνιμο όργανο που θα ήταν σε θέση να συντονίζει και να προωθεί πρόσθετα μέτρα σε πιο τακτική βάση. Σε αυτό το πλαίσιο, μια διάσκεψη που πραγματοποιήθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη το 1948 υιοθέτησε μια σύμβαση για την

ίδρυση του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) ως του πρώτου διεθνούς οργανισμού αφιερωμένου αποκλειστικά σε θαλάσσια θέματα. (Wang, Spencer, Saidarasamoot, Thuanboon, Olson, & Mishra, 2012)

Οι σκοποί του οργανισμού, όπως συνοψίζονται στο άρθρο 1(α) της Σύμβασης, είναι «να παρέχει μηχανισμούς συνεργασίας μεταξύ των κυβερνήσεων στον τομέα των κυβερνητικών ρυθμίσεων και πρακτικών που σχετίζονται με τεχνικά θέματα κάθε είδους που επηρεάζουν τη ναυτιλία που ασκείται στο διεθνές εμπόριο, να ενθαρρύνει και να διευκολύνει τη γενική υιοθέτηση των υψηλότερων πρακτικών προτύπων σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια στη θάλασσα, την αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας και την πρόληψη και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία». Ο οργανισμός έχει επίσης την εξουσία να ασχολείται με διοικητικά και νομικά θέματα που σχετίζονται με αυτούς τους σκοπούς. Ο IMO είναι ο εξειδικευμένος οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών που είναι υπεύθυνος για τη βελτίωση της ασφάλειας στη θάλασσα και την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία. (Wang, Spencer, Saidarasamoot, Thuanboon, Olson, & Mishra, 2012)

Η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει συμβάλει σημαντικά στην παγκόσμια οικονομία τις τελευταίες δεκαετίες. Η «Ναυτιλιακή αναθεώρηση έως το 2015» που αναφέρθηκε από τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD) δείχνει ότι σχεδόν το 80% του παγκόσμιου εμπορίου εμπορευμάτων σε όρους όγκου ολοκληρώθηκε μέσω λιμένων και οδών θαλάσσιων μεταφορών. Η βιομηχανία των διεθνών θαλάσσιων μεταφορών συμβάλλει σημαντικά στην ευημερία και την ανάπτυξη των εθνών προσθέτοντας περίπου 380 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως μόνο μέσω των ναύλων στην παγκόσμια οικονομία. Για μια χώρα, οι θαλάσσιες μεταφορές όχι μόνο διασφαλίζουν την εισαγωγή σπάνιων πόρων που απαιτούνται για τις παραγωγικές διαδικασίες αλλά διευκολύνουν και την εξαγωγή υπερβολικών πόρων, που συσσωρεύουν περισσότερο πλούτο για τη χώρα. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν επίσης κλειδί για την οικονομική παγκοσμιοποίηση. Ειδικότερα, η μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων έχει γίνει ο σημαντικότερος τρόπος μεταφοράς στο διεθνές εμπόριο και το νέο παράθυρο για την ανάπτυξη των ξένων οικονομικών σχέσεων και του εμπορίου. (Chen, Xu, Zhang, & Zhang, 2018)

Σύμφωνα με το Τμήμα Περιβαλλοντικών Υποθέσεων (DEA) (2019), οι θαλάσσιες μεταφορές αφορούν τις μεταφορές ανθρώπων και εμπορευμάτων μέσω θαλάσσιων

διαδρομών. Η θαλάσσια μεταφορά έχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα που περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία, τη διαχείριση, την εξυπηρέτηση και τη συντήρηση εμπορικών και άλλων πλοίων στην υπηρεσία του θαλάσσιου εμπορίου. Περιλαμβάνει επίσης τη διεξαγωγή υπεράκτιων επιχειρήσεων, την κατασκευή λιμένων, τη ναυπηγική, τις θαλάσσιες υπηρεσίες κλπ. (Matekenya & Ncwadi, 2022)

Σύμφωνα με τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD) του 2019, οι θαλάσσιες μεταφορές παραμένουν η ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου εμπορίου και των αλυσίδων εφοδιασμού της παραγωγής. Η UNCTAD (2019) αναφέρει ότι περισσότερο από το ένα τέταρτο του όγκου του παγκόσμιου εμπορίου πραγματοποιείται μέσω θαλάσσιων μεταφορών. Σύμφωνα με τον Rodrigue (2020) με την πάροδο των αιώνων, οι θαλάσσιες μεταφορές έπαιξαν σημαντικό ρόλο στο εμπόριο. Εκτός από το ότι αντιπροσωπεύει μια συνεξάρτηση μεταξύ του εμπορίου, των ναυτιλιακών υπηρεσιών και της εφοδιαστικής αλυσίδας, έχει δημιουργήσει μετρήσιμα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, διαδραματίζει επίσης ζωτικό ρόλο στη συνένωση παρόχων και χρηστών θαλάσσιων μεταφορών, καθώς και όλων των μερών στη διεθνή αλυσίδα εφοδιασμού προς όφελος του εμπορίου. (Matekenya & Ncwadi, 2022)

Οι θαλάσσιες μεταφορές καλύπτουν μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών τύπων πλοίων και πολλά τμήματα ναυτιλιακών αγορών και υπηρεσιών, που κυμαίνονται από δεξαμενόπλοια έως πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, από υπηρεσίες επιβατών έως εμπορευματικές μεταφορές. Όλη αυτή η ποικιλομορφία έχει εξελιχθεί κατά τη διάρκεια μιας μακράς ιστορίας που έχει παραλληλιστεί με την εξέλιξη του ανθρωπίνου πολιτισμού και τη διαρκή ορμή για εξερεύνηση νέων κόσμων, εμπλοκή στο εμπόριο, σύνδεση απομακρυσμένων περιοχών και λαών. (Vickerman, 2021)

Οι θαλάσσιες μεταφορές ήταν πάντα ο πιο απελευθερωμένος τομέας μεταφορών. Οι κρίσιμες και κύριες κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη των θαλάσσιων μεταφορών είναι οι τάσεις στο παγκόσμιο ΑΕΠ και το εμπόριο. Άλλες κινητήριες δυνάμεις για τις θαλάσσιες μεταφορές περιλαμβάνουν την πρόσβαση, τη συνδεσιμότητα, τις υποδομές και τις αποθήκες, το κόστος ενέργειας και εργασίας, κανονισμούς που σχετίζονται με την ασφάλεια και την ποιότητα των μεταφορών, την ανταπόκριση στις αυξημένες απαιτήσεις των πελατών σε όλες τις αλυσίδες

εφοδιασμού και τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και την κλιματική αλλαγή. Οι ρυθμοί ανάπτυξης των θαλάσσιων μεταφορών είναι σχεδόν συνεχώς υψηλότεροι από τους ρυθμούς αύξησης του παγκόσμιου ΑΕΠ, λόγω της προοδευτικής απελευθέρωσης των εμπορικών συναλλαγών και του εμπορίου. Μεταξύ 1990 και 2015 οι θαλάσσιες μεταφορές αυξήθηκαν κατά 151,5%, σε σύγκριση με αύξηση 87,1% του παγκόσμιου ΑΕΠ. (Profillidis & Botzoris, 2019)

Οι θαλάσσιες μεταφορές οδηγούν το 80-90% του παγκόσμιου εμπορίου, μεταφέροντας ετησίως πάνω από 10 δισεκατομμύρια τόνους εμπορευματοκιβωτίων, στερεών και υγρών χύδην φορτίων στους ωκεανούς του κόσμου. Η βιομηχανική επανάσταση βελτίωσε περαιτέρω τις μεταφορές πλοίων αξιοποιώντας τις δυνατότητες της ισχύος του κινητήρα εσωτερικής καύσης και η επακόλουθη υιοθέτηση της μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων άλλαξε για άλλη μια φορά δραματικά τις θαλάσσιες μεταφορές στο όνομα της αποτελεσματικότητας. (Schnurr & Walker, 2019)

Ο ναυτιλιακός τομέας θεωρείται συχνά συντηρητικός όταν πρόκειται για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ή την ανάπτυξη νέων λύσεων αγοράς. Αυτή η υπόθεση υπογραμμίζεται συχνά από σχετικά έγγραφα πολιτικής και ακαδημαϊκές έρευνες. Παρά το γεγονός αυτό, ορισμένοι συγγραφείς (π.χ. Acciario et al., 2018· Arduino et al., 2013) υποστηρίζουν ότι η καινοτομία στους λιμενικούς και ναυτιλιακούς τομείς αναπτύσσεται γρήγορα, αλλά υπάρχει ένα ζήτημα μεταξύ των προσπαθειών για καινοτομία και της ικανότητας επίτευξης των επιδιωκόμενων στόχων. Η παρουσία τέτοιων τριβών μπορεί να επηρεάσει την προοπτική για την αξιολόγηση της ικανότητας του κλάδου να επιτύχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο καινοτομίας. Ένας πρώτος ορισμός της καινοτομίας μπορεί να εντοπιστεί στις αρχές του 20ου αιώνα και στο έργο του οικονομολόγου και πολιτικού επιστήμονα J.A. Schumpeter. Σε σχέση με τη ναυτιλία ο Θανόπουλος (2010) δήλωσε ότι η καινοτομία περιλαμβάνει τόσο οργανωτικούς όσο και τεχνολογικούς παράγοντες και σύμφωνα με το έργο του Schumpeter ορίζεται ως «οι νέες χρήσεις και/ή συνδυασμοί ήδη δημιουργημένων πόρων που προκαλούνται από αλλαγές στην τεχνολογία ή/και στην οργάνωση». (Koukaki & Tei, 2020)

Μαζί με την ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου, η επεκτεινόμενη ναυτιλιακή βιομηχανία προκάλεσε εκτεταμένες και σημαντικές ζημιές στο περιβάλλον, τους

πόρους, την κοινωνία, την υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη υπεύθυνης ναυτιλίας για την αναστροφή της κατάστασης. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει δοθεί μια αυξανόμενη έμφαση από τη ναυτιλιακή βιομηχανία στην εφαρμογή της υπεύθυνης ναυτιλίας για την επίτευξη στόχων βιωσιμότητας. Δεδομένου ότι η ναυτιλία είναι καθοριστική για την υποστήριξη της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης ολοκληρώνοντας τις οικονομικές συναλλαγές στην παραγωγή και την κατανάλωση, η υπεύθυνη ναυτιλία είναι ο απαραίτητος δρόμος για την υπεύθυνη παραγωγή και κατανάλωση. Επιπλέον, η ναυτιλία χρησιμεύει ως πυλώνας βιομηχανίας για πολλές πόλεις ή χώρες όπως το Χονγκ Κονγκ και η Σιγκαπούρη. Η προώθηση της γνώσης σχετικά με την υπεύθυνη ναυτιλία απαιτεί ερευνητικές προσπάθειες για τη βελτίωση και την τυποποίηση των πρακτικών. (Xue & Lai, 2023)

Πολλοί νόμοι, κανονισμοί και πράξεις έχουν επίσης θεσπιστεί παγκοσμίως, οι οποίοι επικεντρώνονται κυρίως στη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας, της αξιοπιστίας και της ασφαλούς λειτουργίας των πλοίων. Αν και το θαλάσσιο περιβάλλον θεωρείται ότι έχει αρκετά καλό ιστορικό ασφάλειας, τα ατυχήματα και τα περιστατικά παρ' ολίγον ατυχημάτων δεν βρίσκονται σε μηδενικό επίπεδο. Ως εκ τούτου, η ναυτιλιακή αξιοπιστία, ο κίνδυνος και η ασφάλεια έχουν αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον για την ερευνητική κοινότητα. Η αυξανόμενη τεχνική πολυπλοκότητα των συστημάτων ναυτιλιακής μηχανικής έχει οδηγήσει σε ένα ευρύ φάσμα βιβλιογραφίας σε ακαδημαϊκές και βιομηχανικές εκδόσεις. Έχουν δημοσιευθεί πολλές εργασίες που αφορούν κυρίως θέματα ασφάλειας και κινδύνου των θαλάσσιων συστημάτων. (Gaonkar, Xie, Habibullah, & Ng, 2011)

Η σχέση μεταξύ της βιωσιμότητας, της θαλάσσιας οικονομικής ανάπτυξης και των σχετικών προκλήσεων έχει συζητηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, τα ζητήματα βιωσιμότητας στη ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν γίνει σημαντικό στοιχείο της ναυτιλιακής επιμελητείας και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στη μελέτη τους οι Lee et al. (2019) αναφέρουν ότι μεταξύ των τριών πυλώνων της βιωσιμότητας, το κοινωνικό στοιχείο γίνεται το κύριο σημείο εστίασης της πολιτικής, καθώς όλες οι περιοχές των λιμένων έχουν επηρεαστεί από τις εκπομπές των πλοίων. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, οι Cheng et al. (2013) εξετάστε τις αλλαγές βιωσιμότητας όσον αφορά τα λιμάνια, την αλυσίδα εφοδιασμού και τη ναυτιλία. Οι Μαραγκόγιαννη και Παπαευθυμίου (2015) υποστηρίζουν ότι η λιμενική

δραστηριότητα αποκτά ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η τεχνική χρήση στις λιμενικές υπηρεσίες logistics περιλαμβάνει τεράστια ποσά εκπομπών στον αέρα. (Koilo, 2019)

Υπάρχει μεγάλος όγκος βιβλιογραφίας για τη διερεύνηση των μέτρων που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών από όλους τους τύπους πλοίων. Αυτά ενσωματώνουν το «πρασίνισμα» των λιμανιών, τη ναυτιλία με μηδενικό άνθρακα, τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων για τη θάλασσα, όπως το LNG, τον καθορισμό προτύπων και νόμων για την πράσινη ναυτιλία και κυρώσεις για μη συμμόρφωση στον τομέα της ναυτιλίας. Ως εκ τούτου, η ναυτιλιακή βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένων των λιμένων, της ναυτιλίας και της εφοδιαστικής, βρίσκεται αντιμέτωπη με διαφορετικούς τύπους κανονισμών για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των επιπτώσεων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, ερευνητές σε όλο τον κόσμο ξεκίνησαν την αμοιβαία συνεργασία τους για να δώσουν αποτελεσματικές συστάσεις σχετικά με τον καθορισμό προτύπων και νόμων για την πράσινη ναυτιλία. Οι Nicolae et al. (2017) υποστηρίζουν ότι «οι ναυτικές/λιμενικές αρχές θα πρέπει να προωθήσουν διοικητικά μέτρα για τη διευκόλυνση της παρακολούθησης των εκπομπών των πλοίων και του εντοπισμού υποβαθμισμένων, εξαιρετικά ρυπογόνων πλοίων. (Koilo, 2019)

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει εφαρμόσει διάφορα μέτρα για να επιτύχει πιο ισχυρή διαχείριση και διαδικασίες για την ασφάλεια στα σκάφη. Μεταξύ των άλλων, η Solas - Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα - θεωρείται ευρέως η σημαντικότερη διεθνής συνθήκη σχετικά με την ασφάλεια των εμπορικών πλοίων. Το 1994, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) πρόσθεσε στη Solas τον Διεθνή Κώδικα Διαχείρισης Ασφαλείας (ISM), ο σκοπός του οποίου είναι να παράσχει ένα διεθνές πρότυπο για την ασφαλή διαχείριση και λειτουργία των πλοίων και για την πρόληψη της ρύπανσης. (Paolo, et al., 2021)

Παρά τη σημαντική πρόοδο που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια των ετών, τα ατυχήματα της ναυτιλίας παραμένουν σημαντικά. Οι αιτίες των σχέσεων θαλάσσιων ατυχημάτων είναι πολύπλοκες και πολλοί διαφορετικοί παράγοντες μπορεί να έχουν κάποιο ρόλο στην αιτία ενός ατυχήματος. Οι Luo και Shin (2016) ταξινομούν τις κύριες αιτίες των θαλάσσιων ατυχημάτων διαιρώντας τα ως εξής: παράγοντες σκάφους και εξοπλισμού, περιβαλλοντικούς παράγοντες, παράγοντες πλοήγησης και λειτουργίας, παράγοντες κυκλοφορίας και ανθρώπινοι παράγοντες. Αν και οι αιτίες

ενός ατυχήματος μπορεί να είναι διαφορετικές και πολυάριθμες, αναγνωρίζεται ευρέως ότι οι ανθρώπινοι παράγοντες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στα περισσότερα από αυτά. Η Allianz Global Corporate and Specialty (2019) εκτιμά ότι το 75% έως το 96% των θαλάσσιων ατυχημάτων περιλαμβάνει ανθρώπινα σφάλματα ή/και παραβιάσεις. (Paolo, et al., 2021)

1.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Οι άνθρωποι μεταφέρουν αγαθά στις θάλασσες εδώ και χιλιάδες χρόνια. Καθώς οι άνθρωποι εξερευνούσαν τον κόσμο, έφεραν πίσω μαζί τους στο εμπόριο αγαθά που δεν είχαν ξαναδεί, όπως υλικά, κοσμήματα και τρόφιμα. Η ιστορία και η εξέλιξη της ναυτιλιακής βιομηχανίας είναι μακρά. Οι θαλάσσιοι δρόμοι είναι το παλαιότερο μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων. Τα πρώτα ίχνη πλοίων χρονολογούνται από την αρχαία Αίγυπτο. Τα σκάφη αυτά κινούνταν με πανιά και κουπιά. Η ναυσιπλοΐα είχε μεγάλη επιρροή στην ανάπτυξη του πολιτισμού και στη ζωή των ναυτικών στη θάλασσα. Στα τέλη του 20ου αιώνα αναπτύχθηκαν οι μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων, οι οποίες οδήγησαν στη σημερινή ναυτιλιακή βιομηχανία. (Baduel, 2022)

Η σχέση του ανθρώπου με τη θάλασσα εκτείνεται πολλές χιλιάδες χρόνια πίσω. Μέχρι τις εξερευνήσεις του Henry, του Columbus και του Vasco Da Gama, οι περισσότερες εξελίξεις της ναυτιλίας οφείλονταν στη δημιουργία εμπορικών κέντρων και στη διατήρηση του μονοπωλίου του εμπορίου. Τα αρχαιολογικά ευρήματα στην πόλη Xiaoshan της Κίνας και στην As-Sabiyah του Κουβέιτ δείχνουν στοιχεία για τις δεξιότητες ναυπηγικής και ναυτικής αρχιτεκτονικής του πρώτου ανθρώπου. Πριν από περισσότερα από 4000 χρόνια, οι Φοίνικες έγιναν οι μεγαλύτεροι ναυτικοί του αρχαίου κόσμου με δύο ξεχωριστά στυλ πλοίων. Ένα οκλαδόν, δυσκίνητο σχέδιο εμπορικού σκάφους, στρογγυλεμένο στα δύο άκρα, ιδανικό για τη μεταφορά εμπορευμάτων και ανθρώπων, και πολεμικές γαλέρες με κουπιά ικανές για σύντομες εκρήξεις ταχύτητας και γρήγορους ελιγμούς. Οι Σκανδιναβοί ανέλαβαν ταξίδια επιδρομών και εξερεύνησης στα τέλη του όγδοου αιώνα μ.Χ., φτάνοντας στην Ιρλανδία, τη Γροιλανδία και τη Βόρεια Αμερική, σε μια περιοχή γνωστή ως Βίνλαντ. (Jones, 2017)

Ο βασιλιάς Άλφρεντ που ανέβηκε στον αγγλικό θρόνο το 871 ήταν ο πρώτος βασιλιάς που συνειδητοποίησε τη σημασία της θαλάσσιας δύναμης για την Αγγλία, κατασκευάζοντας μεγάλα πλοία άνω των 60 κουπιών. Ο διάδοχός του, Έντγκαρ,

αύξησε το ναυτικό σε 3600 πλοία και ξεκίνησε θαλάσσιες περιπολίες. Η ανάπτυξη της θαλάσσιας ισχύος στη Βενετία και τη Γένοβα ήρθε μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Τόσο οι Βενετοί όσο και οι Γενουάτες ήταν ειδικοί ναυπηγοί ακόμη και να κατασκευάζουν πλοία για τον Λουδοβίκο Θ' της Γαλλίας το 1268. (Jones, 2017)

Από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ο κόσμος έχει δει μια εκρηκτική ανάπτυξη στο εμπόριο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το άθροισμα των αξιών των εξαγωγών και των εισαγωγών ως ποσοστό του συνολικού παγκόσμιου ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) αυξήθηκε από περίπου 20% στα τέλη της δεκαετίας του 1940 έως τις αρχές της δεκαετίας του 1950 σε σχεδόν 60% το 2011, με τη ναυτιλιακή βιομηχανία ως τη ραχοκοκαλιά των παγκόσμιων εμπορικών συναλλαγών. (Noble, 2019)

Η ναυτιλία ήταν μια σημαντική ανθρώπινη δραστηριότητα σε όλη την ιστορία, ιδιαίτερα όπου η ευημερία εξαρτιόταν κυρίως από το διεθνές και διαπεριφερειακό εμπόριο. Στην πραγματικότητα, οι μεταφορές έχουν ονομαστεί ένας από τους τέσσερις ακρογωνιαίους λίθους της παγκοσμιοποίησης, μαζί με τις επικοινωνίες, τη διεθνή τυποποίηση και την ελευθέρωση του εμπορίου. (Corbett & Winebrake, 2008)

1.2 Πράσινη Ναυτιλία

Η ατμοσφαιρική ρύπανση απειλεί σοβαρά την υγεία, το περιβάλλον, το κλίμα και συνεπώς το μέλλον. Δεδομένου ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί περίπου 9 εκατομμύρια θανάτους ετησίως, δεν θα ήταν λάθος να πούμε ότι ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους για τη δημόσια υγεία παγκοσμίως είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση. Είναι γνωστό ότι οι δραστηριότητες μεταφοράς είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που οδηγούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Αν και οι θαλάσσιες μεταφορές είναι οι καθαρότεροι τύποι μεταφοράς σε σύγκριση με άλλους, με βάση την ποσότητα του φορτίου που μεταφέρεται, όταν αναλύονται οι συνολικές εκπομπές, φαίνεται ότι οι εκπομπές που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση από τις θαλάσσιες μεταφορές είναι αρκετά υψηλές. Κατά τη διαδικασία καύσης από τις κύριες και βοηθητικές μηχανές των πλοίων, σημαντική ποσότητα ρύπων όπως μαύρος καπνός, σωματίδια (PM), οξειδία του αζώτου (NOx), άκαυστοι υδρογονάνθρακες (UHC), οξειδία του θείου (SOx), μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) απελευθερώνονται. Είναι γνωστό ότι οι θαλάσσιες

εκπομπές έχουν σημαντικό μερίδιο στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές και το μερίδιο αυτό αυξάνεται κάθε χρόνο. Μάλιστα, σύμφωνα με την 4η έκθεση του ΙΜΟ για τα αέρια θερμοκηπίου (GHG), ενώ το μερίδιο των θαλάσσιων εκπομπών στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές ήταν 2,76% το 2012, το ποσοστό αυτό αυξήθηκε στο 2,89% το 2018. (Kose & Sekban, 2022)

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες θεωρούνται άμεσα ή έμμεσα υπεύθυνες για την υπερθέρμανση του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή. Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν μακροχρόνιες ζημιές στο περιβάλλον και τα οικοσυστήματα και εκτεταμένες αλλαγές στην παγκόσμια οικονομία. Μία από τις κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες που συμβάλλουν στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου είναι η εφοδιαστική και η μεταφορά εμπορευμάτων και επιβατών. Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι υπεύθυνες για το 90% του παγκόσμιου εμπορίου και παρόλο που, θεωρούν ότι είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς, ωστόσο ο τεράστιος όγκος των δραστηριοτήτων τους καθιστά τη ναυτιλία την πιο ατμοσφαιρική ρύπανση από όλες. (Khabir, Emad, & Shahbakhsh, 2020)

Ο Lee ανέλυσε τον αντίκτυπο ενός ναυτιλιακού φόρου άνθρακα στην παγκόσμια οικονομία και πίστευε ότι η Κίνα θα υποστεί τη μεγαλύτερη απώλεια στο πραγματικό ΑΕΠ. Ο Dessens αξιολόγησε ένα παγκόσμιο σύστημα εμπορίας εκπομπών για τη διεθνή ναυτιλία και πίστευε ότι αυτή η μέθοδος θα μείωνε τις εκπομπές CO₂ κατά 65% έως το 2050. Οι Wang και Shi υποστήριζαν ότι διαφορετικά συστήματα εμπορίας εκπομπών θα μπορούσαν να είναι αποτελεσματικά για την ενέργεια διατήρηση και μείωση των εκπομπών. (Deng, Li, & Chen, 2021)

Οι ναυτιλιακές εταιρείες αντιμετωπίζουν νέες ευκαιρίες και προκλήσεις στη σημερινή παγκόσμια οικονομία. Ειδικότερα, οι ανησυχίες του κοινού για περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η εξάντληση των πόρων και η ρύπανση που προκαλείται από τις ναυτιλιακές δραστηριότητες αυξάνονται ραγδαία ενόψει της παγκοσμιοποίησης των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων. Η προστασία του περιβάλλοντος και η διατήρηση των πόρων έχουν συζητηθεί ευρέως από επιχειρηματικούς και πολιτικούς ηγέτες. Υπήρξε επίσης μια έκρηξη στην έρευνα που αφιερώθηκε στην αντιμετώπιση των σχετικών ζητημάτων (π.χ., Ostrom, 2008). Παίζοντας το ρόλο ενός μεσάζοντα στις μεταφορές για τη διευκόλυνση των εμπορικών ροών στην παγκόσμια αλυσίδα

εφοδιασμού, πολλές ναυτιλιακές εταιρείες έχουν αρχίσει να ανταποκρίνονται στις περιβαλλοντικές ανησυχίες υιοθετώντας πράσινες πρακτικές ναυτιλίας (GSPs) για να πρασινίσουν τις δραστηριότητές τους. Οι πράσινες πρακτικές ναυτιλίας είναι πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης που αναλαμβάνουν οι ναυτιλιακές εταιρείες με έμφαση στη μείωση των απορριμμάτων και στη διατήρηση των πόρων κατά το χειρισμό και τη διανομή φορτίων. Παραδείγματα τέτοιων πρακτικών περιλαμβάνουν την καταμέτρηση του αποτυπώματος άνθρακα των ναυτιλιακών διαδρομών και τη χρήση εναλλακτικού εξοπλισμού μεταφοράς με στόχο τη μείωση της περιβαλλοντικής ζημίας κατά την εκτέλεση ναυτιλιακών δραστηριοτήτων. (Lai, Lun, Wong, & Cheng, 2011)

Με τον αυξημένο ρυθμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής κατά την τελευταία δεκαετία, έχει δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στο ζήτημα της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Η διαχείριση της πράσινης εφοδιαστικής αλυσίδας (GSCM) έχει γίνει ένα θέμα μείζονος ενδιαφέροντος για τις επιχειρήσεις, τις κυβερνήσεις και τους καταναλωτές. Η διεθνής ναυτιλιακή βιομηχανία εμπορευματοκιβωτίων δεν αποτελεί εξαίρεση σε αυτήν την πράσινη τάση, με παρόμοια έμφαση να δίνεται στην περιβαλλοντική διαχείριση. Ωστόσο, η ικανότητα διαχείρισης της πράσινης ναυτιλίας (GSM) έχει γίνει επίσης ένα σημαντικό θέμα στη ναυτιλιακή βιομηχανία τακτικών γραμμών, επειδή η βιομηχανία μεταφέρει περισσότερο από το ένα τρίτο της αξίας του παγκόσμιου εμπορίου και έχει προσφέρει περισσότερες από 4,2 εκατομμύρια θέσεις εργασίας, ενώ αντιπροσωπεύει ένα βαρύ περιβαλλοντικό αποτύπωμα, αφού εκτιμάται ότι εκπέμπει περίπου το 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. (Lirn & Shang, 2014)

Η παγκοσμιοποίηση των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων έχει αναδείξει τη συζήτηση γύρω από τα περιβαλλοντικά ζητήματα της προστασίας και διατήρησης των πόρων, όπως στην περίπτωση της ρύπανσης από τις θαλάσσιες μεταφορές. Η πράσινη ναυτιλία γίνεται σημαντικό ζήτημα για μια βιώσιμη οικονομία και περιβαλλοντικές επιδόσεις, με σημαντικές επιπτώσεις για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Το εμπόριο έχει αυξηθεί δραματικά, επηρεάζοντας τη ναυτιλιακή βιομηχανία που έχει βρεθεί στο επίκεντρο της διεθνούς προσοχής λόγω της αυξανόμενης πίεσης για μείωση των εκπομπών από τα πλοία στις μετακινήσεις και τις λιμενικές τους δραστηριότητες. Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της ναυτιλιακής επιχείρησης που προέρχεται από καθημερινές διεργασίες ή προκαλείται από μεγάλα ατυχήματα έχει

παρακινήσει τις προσπάθειες για τη βελτίωση των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης. Ως αποτέλεσμα, η ναυτιλιακή βιομηχανία άρχισε να ενσωματώνει νέες τεχνολογίες και καινοτομίες για να ανταποκριθεί στις περιβαλλοντικές προκλήσεις. (Felício, Rodrigues, & Caldeirinha, 2021)

Η πράσινη ναυτιλία είναι η αποτελεσματική θαλάσσια μεταφορά με ελάχιστες υγειονομικές και οικολογικές βλάβες. Η πράσινη ναυτιλία θα μπορούσε να υλοποιήσει ενεργειακά αποδοτικά μέσα μεταφοράς τεράστιων ποσοτήτων φορτίου και μια παγκόσμια μετάβαση σε μια πράσινη οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ως αποτέλεσμα, η πράσινη ναυτιλία θεωρείται ευρέως ότι είναι αποτελεσματική στον έλεγχο των εκπομπών ρύπανσης και στην επίτευξη ενός πιο φιλικού περιβάλλοντος. (Shi, Xiao, Chen, McLaughlin, & Li, 2018)

Ακόμη, η πράσινη ναυτιλία αναφέρεται στο σύνολο πρακτικών και οικολογικής περιβαλλοντικής αποτελεσματικότητας που υιοθετούνται στη ναυτιλία. Περιλαμβάνει τη βελτίωση των διαδικασιών και των τεχνολογικών καινοτομιών για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και το εμπόριο, ενώ ενθαρρύνει την οικό-επιχειρηματικότητα. Τέτοιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, τη ρύπανση των υδάτων και τα απόβλητα. Η πράσινη διαχείριση στοχεύει στη διασφάλιση συνθηκών κερδοφορίας και μεγαλύτερης συμμετοχής των εταιρειών στην αγορά, που προέρχονται από τη μεγαλύτερη δέσμευση για την προστασία του περιβάλλοντος. Η πράσινη διαχείριση σχετίζεται με την προστασία του περιβάλλοντος, την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση υλικών και τη μείωση των εκπομπών αερίου. (Felício, Rodrigues, & Caldeirinha, 2021)

Ωστόσο, η λειτουργία ενός πλοίου απαιτεί διάφορες εισροές, συμπεριλαμβανομένων καυσίμων και υλικών, με αποτέλεσμα μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Έτσι, ο τρόπος με τον οποίο οι διεθνείς εταιρείες μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητά τους για πράσινη ναυτιλία και να αποκτήσουν ένα διαρκές ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έχει γίνει σημαντικό ζήτημα. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, μπορούν να εντοπιστούν τρεις βασικοί παράγοντες δηλαδή η πιο πράσινη πολιτική, τα πιο πράσινα πλοία και οι πιο πράσινοι προμηθευτές:

- * Πιο πράσινη πολιτική: Η ανάπτυξη μιας περιβαλλοντικής πολιτικής αντιπροσωπεύει τον ακρογωνιαίο λίθο ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης. Η πιο πράσινη πολιτική αφορά την εφαρμογή μιας περιβαλλοντικής πολιτικής για τη δημιουργία ενός οράματος ή κουλτούρας προστασίας του περιβάλλοντος. Οργανισμοί που εφαρμόζουν μια πιο πράσινη πολιτική επιδεικνύουν πολλούς από τους ακόλουθους τύπους δραστηριοτήτων: σεμινάρια για στελέχη, δέσμευση για την προστασία του περιβάλλοντος από ανώτερα στελέχη, επινόηση κωδίκων πρακτικής για την προστασία του περιβάλλοντος, συμμετοχή σε κρατικά επιδοτούμενα φυσικά περιβαλλοντικά προγράμματα και ανακοίνωση γραπτής περιβαλλοντικής πολιτικής. (Lirn & Shang, 2014)
- * Πιο πράσινα πλοία: Η προστασία του περιβάλλοντος είναι, μακράν, η μεγαλύτερη πρόκληση βιωσιμότητας για τις διεθνείς εταιρείες μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σήμερα. Ωστόσο, είναι γενικά αποδεκτό ότι τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι η μεγαλύτερη πηγή θαλάσσιας ρύπανσης. Το πώς η ναυτιλία μπορεί να γίνει πράσινη είναι μια σημαντική πρόκληση στη βιομηχανία πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Ο πιο πράσινος παράγοντας πλοίων εστιάζει στην πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία, βελτιώνοντας τις μεθόδους διαχείρισης του έρματος των πλοίων. (Lirn & Shang, 2014)
- * Πιο οικολογικοί προμηθευτές: Εάν η επιλογή προμηθευτή, η παρακολούθηση και η συνεργασία δεν ακολουθούν τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, μια επιχείρηση μπορεί να υποφέρει από διαταραχή της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο παράγοντας των πιο πράσινων προμηθευτών περιλαμβάνει την καθοδήγηση των προμηθευτών να δημιουργήσουν τα δικά τους περιβαλλοντικά προγράμματα, την απαίτηση από τους προμηθευτές να παρέχουν πιστοποίηση δοκιμών για τη συμμόρφωση των πράσινων προϊόντων, την πίεση των προμηθευτών να αναλάβουν περιβαλλοντική δράση, την παροχή στους προμηθευτές σχεδιαστικών προδιαγραφών που περιλαμβάνουν περιβαλλοντικές απαιτήσεις για αγορασμένα είδη, καθώς και την επιλογή προμηθευτών σύμφωνα με περιβαλλοντικά κριτήρια. (Lirn & Shang, 2014)

Από την επιχειρησιακή άποψη, η πράσινη ναυτιλία πρέπει να συμμορφώνεται με τις συνθήκες λειτουργίας που σχετίζονται με το περιβάλλον που ρυθμίζονται από το

IMO. Αυτές οι προϋποθέσεις περιγράφονται από συμβάσεις όπως το Marpol 73/78, η Σύμβαση για την ετοιμότητα, την ανταπόκριση και τη συνεργασία των επικίνδυνων και επιβλαβών ουσιών (OPRC-HNS), Σύμβαση διαχείρισης (BWM) και Σύμβαση ανακύκλωσης πλοίων. Ο συνολικός σκοπός είναι η διαχείριση και η παρακολούθηση όλων των επιβλαβών ουσιών που εκπέμπονται από πλοία. Τα φιλικά προς το περιβάλλον σκάφη χρησιμεύουν ως βασικά εργαλεία στον τομέα της ναυτιλίας και των επιχειρησιακών τομέων που επιτρέπουν την πράσινη αποστολή. Ένα πράσινο πλοίο ή ένα οικολογικό πλοίο σημαίνει ένα πλοίο που έχει μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέσω της ανάπτυξης τεχνολογιών που σχετίζονται με την εξοικονόμηση καυσίμων και τα εναλλακτικά καύσιμα. (Lee & Nam, 2017)

Το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης (EMS) έχει αναγνωριστεί ευρέως από τις επιχειρήσεις ως σημαντικός παράγοντας για την απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος έναντι των ανταγωνιστών. Ωστόσο, θεωρείται επίσης επιβάρυνση λόγω της αντίληψης ότι το να είναι μια εταιρεία φιλική προς το περιβάλλον περιλαμβάνει ένα τεράστιο ποσό επένδυσης. Οι πλοιοκτήτες, για παράδειγμα, ασκούν πιέσεις ενάντια στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς για δεκαετίες λόγω ανησυχίας για το αυξημένο κόστος και τη στρέβλωση του ανταγωνισμού της αγοράς. Οι Melnyk et al. όρισε το EMS ως ένα επίσημο σύστημα με βάση δεδομένων που συνδυάζει διαδικασίες για την εκπαίδευση του εργατικού δυναμικού, την παρακολούθηση, τη σύνοψη και την αναφορά εξειδικευμένων περιβαλλοντικών πληροφοριών που σχετίζονται με την επιχείρηση και τα ενδιαφερόμενα μέρη της. Αυτή η τεκμηρίωση των περιβαλλοντικών πληροφοριών επικεντρώνεται κυρίως στα εσωτερικά ζητήματα της εταιρείας. Τα εσωτερικά ζητήματα περιλαμβάνουν το σχεδιασμό, τον έλεγχο της ρύπανσης και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, την εκπαίδευση του εργατικού δυναμικού, την αναφορά στην ανώτατη διοίκηση και τον καθορισμό στόχων. (Chang & Danao, 2017)

Στη ναυτιλιακή βιομηχανία, έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες σχετικά με το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης σχετικά με τον μετριασμό των επιβλαβών επιπτώσεων που προκαλούνται από τις εκπομπές της ναυτιλίας. Ο σχεδιασμός και η συμμόρφωση της ναυτιλίας αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής ζημίας του κύκλου ζωής των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων μέσω της συμμόρφωσης με τις κανονιστικές απαιτήσεις του κυβερνώντος φορέα. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση σχεδιασμού ναυτιλιακών δραστηριοτήτων και εξοπλισμού που βοηθά την εταιρεία να

μειώσει την κατανάλωση υλικών και ενέργειας, τη χρήση ρυπογόνου ενέργειας και να εφαρμόσει προγράμματα επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης των υλικών. (Chang & Danao, 2017)

Τα λιμάνια αποτελούν σημαντικές πύλες για το διεθνές εμπόριο, που περιλαμβάνουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, όπως η φόρτωση και η εκφόρτωση φορτίου. Τα λιμάνια παρέχουν επίσης λειτουργίες αποθήκευσης και συσκευασίας και αποτελούν κόμβους για τη διευθέτηση των χερσαίων μεταφορών. Έτσι, τα λιμάνια θεωρούνται ότι παίζουν τον μεγαλύτερο ρόλο στην «πράσινη εφοδιαστική». Περίπου το 80% του παγκόσμιου όγκου εμπορίου και περισσότερο από το 70% της αξίας διήλθαν μέσω θαλάσσιων μεταφορών και παγκόσμιων λιμένων το 2018. Ωστόσο, ο αρνητικός αντίκτυπος των λιμανιών στο περιβάλλον είναι σημαντικός και υπάρχουν διάφορες οικολογικές προκλήσεις, όπως αυτές που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη ρύπανση των υδάτων, τη διάθεση αποβλήτων, τη χρήση γης και την κατανάλωση ενέργειας. Με την αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση του κοινού, αναδείχθηκε η έννοια των πράσινων λιμανιών. Ήδη από τον Ιανουάριο του 2005, το λιμάνι του Λονγκ Μπιτς υιοθέτησε την Πολιτική Πράσινου Λιμένα, καθιερώνοντας το βασικό πλαίσιο για φιλικές προς το περιβάλλον λιμενικές λειτουργίες. Η έννοια των πράσινων λιμανιών προτάθηκε επίσημα στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή το 2009. Τα πράσινα λιμάνια αναφέρονται σε λιμάνια με υγιές οικολογικό περιβάλλον, λογική χρήση των πόρων, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και ελαχιστοποιημένη ρύπανση με βάση έναν οργανικό συνδυασμό ανάπτυξης λιμένων, αποδοτικής χρήσης πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος. (Lin, Dai, Wang, & Fu, 2022)

Οι μελετητές έχουν πραγματοποιήσει πολυάριθμες μελέτες για τους οδηγούς, τις καινοτομίες και τις προκλήσεις των πράσινων λιμανιών, θέτοντας μια σταθερή βάση για πρακτικές πράσινων λιμένων. Όσον αφορά τους παράγοντες, τα οικονομικά και τεχνολογικά μέτρα μπορούν να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητα των πράσινων λιμένων. Τέτοια μέτρα περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό συμβάσεων παραχώρησης, την αλλαγή των επιχειρηματικών μοντέλων και τη βελτίωση των πράσινων τεχνολογιών. Η τεχνολογική καινοτομία στα πράσινα λιμάνια περιλαμβάνει διάφορους τομείς, όπως βασικά, λειτουργικά και ενεργειακά μέτρα. Όσον αφορά τα βασικά μέτρα, το περιβάλλον θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις πολιτικές σχεδιασμού και στις υποδομές, θα πρέπει να δημιουργηθούν απογραφές εκπομπών για την

παρακολούθηση των λιμενικών δραστηριοτήτων και οι περιβαλλοντικές βελτιώσεις και τα κέρδη απόδοσης θα πρέπει να επιτυγχάνονται μέσω βιώσιμων κατασκευαστικών μεθόδων. Όσον αφορά τα επιχειρησιακά μέτρα, η μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης του πλοίου (TAT), η ανάπτυξη συστημάτων εικονικής άφιξης (VA), η δημιουργία αυτοματοποιημένων λειτουργικών συστημάτων για τερματικά εμπορευματοκιβωτίων και η μείωση των εκπομπών φορτηγών είναι σημαντικά καθήκοντα. Όσον αφορά τα ενεργειακά μέτρα, μέτρα εναλλακτικής ενέργειας, όπως η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου, καθαρά καύσιμα, συστήματα εναλλακτικής ενέργειας με ηλεκτροδότηση, μέτρα υβριδικής και ανανεώσιμης ενέργειας και έξυπνα μέτρα με τεχνολογίες, όπως υπολογιστές αιχμής, τεχνητή νοημοσύνη, blockchain, και drones, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν. (Lin, Dai, Wang, & Fu, 2022)

Οι Mansouri et al. (2015) διαπίστωσε ότι υπάρχουν αυξανόμενες έρευνες για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στη ναυτιλία από το 2005. Πριν από αυτή τη χρονιά, πολύ λίγη έρευνα είχε αφιερωθεί σε αυτόν τον συγκεκριμένο ερευνητικό τομέα. Οι Lam και Lai (2015) απέδωσαν αυτό στις εξωτερικές πιέσεις κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία έχει δει μια αυξανόμενη υιοθέτηση των πράσινων πρακτικών ναυτιλίας στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι ναυτιλιακές εταιρείες μέσω της περιβαλλοντικής διακυβέρνησης άρχισαν να υιοθετούν πράσινες πρακτικές ναυτιλίας για τη μείωση της περιβαλλοντικής ζημίας. Οι Lai et al. (2013) όρισαν τις GSP (Πράσινες ναυτιλιακές πρακτικές) ως «μια προσέγγιση διαχείρισης που δίνει έμφαση στον χειρισμό και τη διανομή φορτίων με περιβαλλοντικά βιώσιμο τρόπο με σκοπό τη μείωση της δημιουργίας αποβλήτων και τη διατήρηση των πόρων κατά την εκτέλεση ναυτιλιακών δραστηριοτήτων». Υπάρχουν έξι διαστάσεις των πράσινων πρακτικών ναυτιλίας και περιλαμβάνουν την πολιτική και τη διαδικασία της εταιρείας, την τεκμηρίωση αποστολής, τον εξοπλισμό αποστολής, τη συνεργασία αποστολών, τα υλικά αποστολής και τον σχεδιασμό αποστολής για συμμόρφωση. Οι Lam και Lai (2015) υποστήριξαν ότι οι εσωτερικές πρακτικές, όπως η πολιτική και οι διαδικασίες της εταιρείας είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή εφαρμογή των πρακτικών. Απαιτείται στενότερη συνεργασία με τους πελάτες για να μπορέσουν οι εταιρείες να βελτιώσουν τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις (Cheng et al., 2014). (Pang, Lu, Shang, & Weng, 2021)

Οι Chang και Danao (2017) υιοθέτησαν τέσσερις διαστάσεις από τους Lai et al. (2013) οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την υιοθέτηση των πράσινων πρακτικών

ναυτιλίας από τις ναυτιλιακές εταιρείες. Οι τέσσερις παράγοντες αποτελούνται από τη ρύθμιση, τους βιομηχανικούς κανόνες, τη ζήτηση των πελατών και την περιβαλλοντική στρατηγική της ίδιας της εταιρείας. Τα ευρήματά τους διαπίστωσαν ότι οι ναυτιλιακές εταιρείες παρακινούνται από τη δική τους στρατηγική να παρέχουν μια καλή εταιρική εικόνα. Ωστόσο, οι διεθνείς κανονισμοί δεν ήταν σημαντικοί για να επηρεάσουν τις ναυτιλιακές εταιρείες να υιοθετήσουν τις συγκεκριμένες πρακτικές. (Pang, Lu, Shang, & Weng, 2021)

Η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει ήδη αρχίσει να αλλάζει και να εφαρμόζει τεχνολογίες που μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Υπάρχουν πολυάριθμες ερευνητικές μελέτες, πειράματα και πρωτότυπα που προσπαθούν να εφαρμόσουν σχεδόν κάθε εναλλακτική τεχνολογία και καύσιμο στα πλοία. Αν και δεν είναι ακόμη γνωστό ποια από αυτές τις τεχνολογίες θα γίνει κυρίαρχη στο μέλλον, ορισμένες από αυτές έχουν ισχυρή δήλωση προσόντων και φαίνεται να είναι κοινώς αποδεκτές προς το παρόν. Όσον αφορά τα εναλλακτικά καύσιμα, τα βιοκαύσιμα, το υδρογόνο, το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το υγραέριο (LPG) και η μεθανόλη είναι από τα πιο αντιπροσωπευτικά. Οι κατασκευαστές κινητήρων πλοίων έχουν αρχίσει να παράγουν κινητήρες αερίου διπλού καυσίμου για να επιτρέπουν τη χρήση τόσο φυσικού αερίου όσο και συμβατικών καυσίμων. Όσον αφορά τις νέες τεχνολογίες, εξετάζονται έντονα οι μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμου και η αιολική πρόωση. (Koumentakos, 2019)

Οι προαναφερθείσες εναλλακτικές έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ανεξάρτητα από τη βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη εφαρμογή τους ή απλώς να αποτελούν μέρος του μεταβατικού σταδίου της εξελισσόμενης ναυτιλιακής βιομηχανίας. Μια λύση που ταιριάζει σε όλους τους διαφορετικούς τύπους. Κάνοντας ένα βήμα πίσω από τη ναυτιλιακή βιομηχανία, ο ενεργειακός τομέας γενικότερα αλλάζει. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της αλλαγής αποδίδεται στον ηλεκτρισμό. Η έρευνα και η ανάπτυξη σε τομείς όπως η χωρητικότητα, η ανθεκτικότητα και η προσαρμογή της μπαταρίας ωθούν την απόδοση και την τιμή των μπαταριών να είναι οικονομικά βιώσιμες. (Koumentakos, 2019)

2. Ηλεκτρικά Πλοία

2.1 Ορισμός

Αρκετές εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης (AI) σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εισαχθεί από τον περασμένο αιώνα. Οι τεχνικές (AI) διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αυξήσεις των διαφόρων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι εγγενείς αβεβαιότητες της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας οδηγούν σε πολυπλοκότητα στην απόδοση του συστήματος ισχύος, στην πρόβλεψη φορτίου, στην προστασία και στον έλεγχο όταν συνδέονται στο δίκτυο. (Gaber, El-Banna, El-Dabah, & Hamad, 2021)

Η ναυτιλία υπήρξε μια σημαντική ανθρώπινη δράση σε όλη την ιστορία, ειδικά σε διεθνείς και διαπεριφερειακές εμπορικές εφαρμογές. Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τύποι τεχνολογιών για την παροχή της δύναμης πρόωσης των πλοίων μέχρι στιγμής. Τα αμιγώς ηλεκτρικά πλοία είναι μια από τις τεχνολογίες που εισήχθησαν πρόσφατα και αναφέρεται στα πλοία που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για την παροχή της δύναμης πρόωσης. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια αυτών των πλοίων μπορεί να παραχθεί από διαφορετικούς πόρους όπως γεννήτριες ενέργειας ντίζελ και αερίου, μπαταρίες και καθαρές ενέργειες όπως κυψέλες καυσίμου ή από υβρίδιο αυτών των πόρων. Επί του παρόντος, το υβρίδιο γεννητριών ντίζελ και μπαταριών είναι γνωστό ως μια δημοφιλή μέθοδος για την τροφοδοσία των πλήρως ηλεκτρικών φορτίων των πλοίων και τη μείωση των εκπομπών. (Banaei, Ghanami, Rafiei, Boudjadar, & Khooban, 2020)

Τα υβριδικά ηλεκτρικά πλοία έχουν προσελκύσει αυξανόμενη προσοχή ως πολλά υποσχόμενα πράσινα πλοία με το πλεονέκτημα να επιτυγχάνουν την αποτελεσματική χρήση πολλαπλών πηγών ενέργειας, βελτιώνοντας έτσι την οικονομία των πλοίων και μειώνοντας τις εκπομπές. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα υβριδικά ηλεκτρικά πλοία όχι μόνο εξοικονομούν την κατανάλωση καυσίμου, αλλά βελτιώνουν και τη λειτουργική απόδοση του κύριου κινητήρα. Όσον αφορά τη λειτουργία του πλοίου, η μείωση της ταχύτητας των πλοίων για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης των εκπομπών έχει αποδειχθεί αποτελεσματικό μέτρο. Ωστόσο, η απλή μείωση της ταχύτητας στην πλοήγηση μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις όσον αφορά το κόστος μεταφοράς και την αξιοπιστία της μεταφοράς. Ως εκ τούτου, η ταχύτητα πλεύσης θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί εύλογα ώστε να ανταποκρίνεται στις

απαιτήσεις εξοικονόμησης ενέργειας, μείωσης εκπομπών και μεταφοράς, που συνίσταται στην αναζήτηση μιας δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των αναμενόμενων κερδών και των αναμενόμενων ζημιών. (Liu, Gao, Yang, & Hu, 2022)

Λόγω των κανονισμών που επιβάλλονται από τις διεθνείς ναυτιλιακές αρχές, η ναυτιλιακή βιομηχανία εργάζεται εκτενώς για τη μείωση των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων. Η μείωση των εκπομπών και η αύξηση της απόδοσης των καυσίμων επιδιώκονται με την εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών σχεδιασμού και διαχείρισης ενέργειας. Τις τελευταίες δεκαετίες, προκειμένου να καταστεί δυνατή η βέλτιστη χρήση των πηγών ενέργειας, μία από τις κύριες στρατηγικές ήταν η εισαγωγή νέων και πιο αποδοτικών διαμορφώσεων συστημάτων ισχύος και πρόωσης. Αυτά τα προηγμένα συστήματα ισχύος και πρόωσης θεωρούνται ως υποκατάστατα της συμβατικής διάταξης άμεσου ντίζελ στην οποία η σχέση μεταξύ της προπέλας και του κινητήρα ντίζελ δημιουργείται απευθείας μέσω ενός άξονα μετάδοσης κίνησης. Ο μετασχηματισμός σε προηγμένα συστήματα ισχύος και πρόωσης οδηγεί σε πιο αποτελεσματική μετατροπή ενέργειας και πιο αποτελεσματική εξοικονόμηση καυσίμου. Μία από αυτές τις νέες διαμορφώσεις είναι η διαμόρφωση του συστήματος εξ ολοκλήρου ηλεκτρικής ισχύος και προώθησης συνεχούς ρεύματος (DC-PPS), όπου η σχέση μεταξύ των πηγών ισχύος και των ελίκων εδραιώνεται μέσω ενός μικροδικτύου συνεχούς ρεύματος. (Haseltalab, Wani, & Negenborn, 2022)

Με τις προόδους στον τομέα των ημιαγωγών, το DC-PPS είναι γνωστό ως μία από τις πιο αποδοτικές διαμορφώσεις καυσίμου. Σε αυτή τη διαμόρφωση, η μηχανική ισχύς που παράγεται από τον(τους) κινητήρα(ες) ντίζελ μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ από σύγχρονη(ες) γεννήτρια(ες). Η τάση και το ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) των γεννητριών στη συνέχεια μετατρέπονται σε DC χρησιμοποιώντας ανορθωτές που συνδέονται στο δίκτυο DC. Η μπαταρία συνδέεται επίσης στο ίδιο δίκτυο μέσω ενός αμφίδρομου μετατροπέα. Οι έλικες συνδέονται στο δίκτυο DC μέσω σετ μηχανών επαγωγής μετατροπέα ελεγκτή κινητήρα. Η διαθεσιμότητα της προωθητικής ισχύος εξαρτάται από τη στιβαρότητα και τη σταθερότητα του DC-PPS. Οι ενσωματωμένες πηγές ενέργειας θα πρέπει να μπορούν να παράγουν ενέργεια παράλληλα και να αποτρέπουν τις διακοπές ρεύματος μέσω συνεργατικού ελέγχου. (Haseltalab, Wani, & Negenborn, 2022)

Καθώς τα σύγχρονα πλοία έχουν γίνει πιο πολύπλοκα και περιλαμβάνουν έναν αυξανόμενο αριθμό ετερογενών αλληλοεξαρτώμενων υποσυστημάτων. Αυτή η αυξημένη πολυπλοκότητα απαιτεί νέες μεθόδους για το σχεδιασμό και τη λειτουργία αυτών των θαλάσσιων συστημάτων. Η επιτυχής ανάπτυξη του συστήματος θαλάσσιας ηλεκτρικής πρόωσης απαιτεί μια αληθινή φιλοσοφία σχεδιασμού συστήματος στη μηχανική προσέγγιση. Βασικό στοιχείο για την επιτυχία αυτού του εγχειρήματος είναι η ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος μοντελοποίησης και προσομοίωσης (M&S) που ενσωματώνει τους αλγόριθμους ελέγχου και τη στρατηγική ελέγχου, την παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και άλλα θαλάσσια υποσυστήματα EPS (σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης) νωρίς στις φάσεις σχεδιασμού. Το σύστημα θαλάσσιας ηλεκτρικής πρόωσης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο αλληλοεξαρτώμενων δικτύων διανομής πόρων. Αυτά τα δίκτυα διανέμουν ηλεκτρική ενέργεια, υγρά και δεδομένα. Το υποσύστημα που προσδιορίστηκε ως το πιο κρίσιμο για την επιβίωση και την ανάκτηση του πλοίου περιλαμβάνει τη ζώνη διανομής ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος, την παραγωγή και την πρόωση ηλεκτρικής ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος και δίκτυα δεδομένων που σχετίζονται με αισθητήρες και ελεγκτές. Η ενσωμάτωση αυτών των μοντέλων υποσυστημάτων EPS σε ένα ενιαίο περιβάλλον προσομοίωσης που εξαρτάται από το χρόνο είναι ο κύριος στόχος αυτής της πλατφόρμας. (Yutao, Fanming, & Jiaming, 2012)

Η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων έχει γίνει μια αυξανόμενη τάση στον κλάδο των μεταφορών λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών. Κατά συνέπεια, καταβάλλονται παγκόσμιες προσπάθειες για την ανάπτυξη όλων των πλοίων ηλεκτρικής πρόωσης που χρησιμοποιούν φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας, όπως οι μπαταρίες. Η χρήση συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης στα πλοία μειώνει την περιβαλλοντική ρύπανση και τον λειτουργικό θόρυβο, ενώ επιτρέπει επίσης μεγαλύτερη ελευθερία στον σχεδιασμό των πλοίων. Ωστόσο, το υψηλό κόστος και η περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών θέτουν πρακτικές προκλήσεις. Ως εκ τούτου, για να επιταχυνθεί η ηλεκτροδότηση των πλοίων, είναι σημαντική η έρευνα για τεχνολογίες που μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση. (Lee & Kim, 2021)

Η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών ισχύος σε πλοία και υπεράκτιες εγκαταστάσεις έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες και οι συζητήσεις σχετικά με

προβλήματα ποιότητας ισχύος τονίζονται σε πρόσφατες δημοσιεύσεις όπως Mindykowski and Tarasiuk και Tarasiuk. Η ηλεκτρική πρόωση έχει κερδίσει περισσότερο χώρο στις ναυτικές εφαρμογές, λόγω του απλού και αποτελεσματικού ελέγχου της ταχύτητας μέσω μετατροπέων συχνότητας (drives), καθώς και της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου, του αριθμού των μελών του πληρώματος, των εκπομπών ρύπων και του κόστους συντήρησης. Οι κινητήρες ή οι μετατροπείς συχνότητας χρησιμοποιούνται συνήθως σε πλοία. Η εισαγωγή ηλεκτρικών κινητήρων στο κύριο σύστημα πρόωσης του σκάφους αλλάζει τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού του δικτύου. Αυτή η φιλοσοφία εισάγει τα λεγόμενα «Ηλεκτρικά Πλοία». (Rodrigues, Neves, Gouveia, Abi-Ramia, Fortes, & Gomes, 2018)

Χάρη στις αξιοσημείωτες τεχνολογικές προόδους στα συστήματα μπαταριών, ο αριθμός των πλοίων που κινούνται με μπαταρίες αυξάνεται ταχύτατα παγκοσμίως. Από τον Μάρτιο του 2019, περισσότερα από 150 υβριδικά πλοία (συμπεριλαμβανομένων πλοίων με πλήρη μπαταρία) χρησιμοποιούν συστήματα μπαταριών ως κύρια ή/και δευτερεύουσα πηγή ενέργειας. (Jeong, Jeon, Kim, Kim, & Zhou, 2020)

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Τα πλοία είχαν γνωρίσει μια εκπληκτική εξέλιξη τα τελευταία 200 χρόνια. Η εισαγωγή του κινητήρα εσωτερικής καύσης ξεκίνησε μια ολοένα και πιο γρήγορη αλλαγή, τόσο στην απόδοση όσο και στη λειτουργικότητα που δίνουν τα πλοία. Από τα ατμοκίνητα πλοία των αρχών του 1800 έως τα σύγχρονα πετρελαιοηλεκτρικά πλοία, οι βελτιώσεις ήταν σημαντικές και ολοένα και πιο γρήγορες. Συγκεκριμένα, τα τελευταία 30 χρόνια, ο σχεδιασμός των πλοίων έχει κάνει ένα τεράστιο άλμα προς τα εμπρός, τόσο από πλευράς αποτελεσματικότητας ολόκληρου του σκάφους όσο και νέων λειτουργιών που έχουν δοθεί στους πλοιοκτήτες. Αυτό οφείλεται στον προοδευτικό ηλεκτρισμό που έχει συμβεί. Σχεδόν πριν από έναν αιώνα, την εποχή της γέννησης της σύγχρονης πρόωσης πλοίων, ο ανταγωνισμός μεταξύ των ηλεκτροκινητήρων και των τότε αναπτυσσόμενων μηχανικών μετάδοσης κίνησης ήταν έντονος. (Vicenzutti, Bosich, Giadrossi, & Sulligoi, 2015)

Η ηλεκτρική λύση θεωρήθηκε ως έγκυρος υποψήφιος το 1912. Το Ναυτικό των ΗΠΑ κατασκεύασε ένα πειραματικό ηλεκτροκίνητο πλοίο. Τα πολλά υποσχόμενα

αποτελέσματα οδήγησαν στην παραγωγή, λίγα χρόνια αργότερα, μιας σειράς ηλεκτροκίνητων πολεμικών πλοίων που απέδειξαν την αξία τους στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Μερικά από αυτά τα πολεμικά πλοία, χρησιμοποιώντας ηλεκτρική πρόωση, κατανάλωναν 20% λιγότερο καύσιμο σε σύγκριση με τα συμβατικά πλοία με κινητήρες στροβίλου. Τα κύρια ζητήματα αυτών των πρώτων μοντέλων ήταν το μέγεθος και το βάρος της ηλεκτρικής πρόωσης. Ως εκ τούτου, η ιδέα εγκαταλείφθηκε γρήγορα. Εκτός από την υιοθέτηση της ηλεκτρικής πρόωσης, ο αριθμός των ηλεκτροκίνητων συσκευών που οι ιδιοκτήτες ζητούν να εγκαταστήσουν σε αυτά τα πλοία έχει αυξηθεί. Αυτό έχει γίνει με στόχο την προσθήκη νέων λειτουργιών, την αντικατάσταση μηχανικών ή υδραυλικών μηχανισμών κίνησης, εξοικονόμηση χώρου και μείωση του παραγόμενου θορύβου και των κραδασμών. Το αποτέλεσμα αυτής της επεμβατικής υιοθέτησης του ηλεκτροκίνητου εξοπλισμού ήταν η γέννηση των λεγόμενων αμιγώς ηλεκτρικών πλοίων (AES). Τα AES διαθέτουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα ισχύος (IPS), που παρέχεται από ένα σύνολο γεννητριών που τροφοδοτούν όλα τα φορτία του πλοίου, συμπεριλαμβανομένης της πρόωσης. (Vicenzutti, Bosich, Giadrossi, & Sulligoi, 2015)

Η ηλεκτρική πρόωση σε θαλάσσιες εφαρμογές δεν είναι μια νέα ιδέα, αλλά χρονολογείται εδώ και αρκετά χρόνια. Πρόσφατα, η θαλάσσια ηλεκτροδότηση έχει γίνει ολοένα και πιο δημοφιλής μετά την ανάπτυξη κινητήρων μεταβλητής ταχύτητας υψηλής ισχύος (VSD) τη δεκαετία του 1970-1980. Με την εισαγωγή των VSD, ένα κοινό σύνολο γεννητριών θα μπορούσε να τροφοδοτήσει τόσο την υπηρεσία του πλοίου όσο και τα συστήματα πρόωσης. Αυτή η έννοια αναφέρεται ως ολοκληρωμένο σύστημα ισχύος (IPS), το οποίο είναι το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός πλήρως ηλεκτρικού πλοίου (AES). Η αρχιτεκτονική IPS παρέχει την ηλεκτρική ισχύ τόσο για την υπηρεσία πλοίου όσο και για τα φορτία ηλεκτρικής πρόωσης ενσωματώνοντας την παραγωγή, τη διανομή, την αποθήκευση και τη μετατροπή ενέργειας. Η ηλεκτροδότηση των πλοίων είναι μια τεχνολογική τάση στην ανάπτυξη εμπορικών και στρατιωτικών πλοίων ως απάντηση στις πρόσφατες πρωτοβουλίες ενεργειακής απόδοσης και προστασίας του περιβάλλοντος. Η εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης έχει δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για μια νέα ματιά στα παλιά προβλήματα και την ανάπτυξη νέων λύσεων. (Hou, 2017)

Το πρώτο ηλεκτρικό φορτηγό πλοίο καθελκύστηκε το 2017 στο Guangzhou της Κίνας. Το σκάφος έχει μήκος 70,5 μέτρα και ταξιδεύει στο εσωτερικό τμήμα του

ποταμού Pearl, καλύπτοντας μια απόσταση περίπου 80 km με μία μόνο φόρτιση. Σε χωρητικότητα μπαταρίας, αυτό μεταφράζεται σε 2,4 MWh και χρόνο φόρτισης 2 ώρες. Οι μπαταρίες είναι κατασκευασμένες από λίθιο και μπορούν να παρέχουν ισχύ για τη μεταφορά 2000 μετρικών τόνων αγαθών. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κίνηση του πλοίου είναι όχι μόνο πιο φιλική προς το περιβάλλον, αλλά και φθηνότερη σε σύγκριση με την ισχύ ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, προτείνονται περαιτέρω δόσεις μπαταρίας που θα ανεβάσουν το μέγιστο φορτίο που θα μπορούσε να μεταφέρει το πλοίο σε πάνω από 2000 τόνους. Η ηλεκτρική ναυτιλία δεν εφαρμόζεται μόνο στην Ασία, αλλά και στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Ένα από τα πρώτα, τα πρώτα αμιγώς ηλεκτρικά πορθμεία που κυκλοφόρησε στη Σουηδία. Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την πόλη όπου εισήχθησαν αυτά τα πλοία. Η σουηδική πόλη του Γκέτεμποργκ είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα πόλης χαμηλών εκπομπών, που προσπαθεί να εφαρμόσει οποιαδήποτε νέα τεχνολογία συμβάλλει σε αυτόν τον στόχο, μέσω του έργου ElectriCity. (Koumentakos, 2019)

2.3 Πλεονεκτήματα

Η ηλεκτρική πρόωση πλοίου σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο άμεσης σύγκρισης κινητήρων ντίζελ, έχει κυρίως τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: α) η ηλεκτρική πρόωση εξαλείφει την ανάγκη για μεγάλο χώρο μεταξύ του κινητήρα ντίζελ και των αξόνων και των πηδαλίων της προπέλας, με σημαντική μείωση στο συνολικό βάρος του μηχανολογικού εξοπλισμού, αυξημένη χωρητικότητα δεξαμενής και βελτιωμένη οικονομία ναυσιπλοΐας πλοίων και β) η ισχύς ενός υψηλού βαθμού αυτοματισμού και ελέγχου, ικανού να αντιμετωπίσει καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά τον χειρισμό, την κινητικότητα και την ασφάλεια και την αξιοπιστία του πλοίου. (Niu, Zhao, & Qin, 2017)

Ακόμη, η γεννήτρια του συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης είναι πιο κοντά στην προπέλα και ο άξονας μετάδοσης δεν χρησιμοποιείται, γεγονός που μπορεί να εξοικονομήσει πολύ χώρο. Ο εξοπλισμός στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μπορεί εύλογα να διαμορφωθεί σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες του πλοίου και δεν επηρεάζεται από τον κινητήρα και την προπέλα. Το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μπορεί να τοποθετηθεί στην καμπίνα, το οποίο είναι πολύ ευέλικτο και μπορεί να τοποθετηθεί σε διαφορετικά διαμερίσματα, εάν ληφθούν υπόψη τα ζητήματα

ασφαλείας. Όταν το πλοίο χρησιμοποιεί ένα σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης, δεν υπάρχει πηδάλιο και κινητήριος άξονας. Το συνολικό βάρος του πλοίου μειώνεται περισσότερο από 30% σε σύγκριση με το βάρος ενός συμβατικού πετρελαιοκίνητου πλοίου και η χωρητικότητα του πλοίου μειώνεται. Αυτό το πλεονέκτημα είναι προφανές για τα μεγάλα επιβατηγά πλοία. Και το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης δεν παράγει μεγάλο θόρυβο και κραδασμούς όταν λειτουργεί, κάτι που είναι το κλειδί για να κερδίσετε την αναγνώριση και την επιβεβαίωση του συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης. Με το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές γεννήτριες, και ακόμη και αν αποτύχουν μεμονωμένες μονάδες, δεν θα επηρεαστεί η πλοήγηση του πλοίου. Γενικά, τα πλοία που χρησιμοποιούν ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης διαθέτουν περισσότερα από δύο σετ συστημάτων πρόωσης, έτσι ώστε να μπορούν να λαμβάνονται εγκαίρως διορθωτικά μέτρα για αστοχίες. (Zhemin & Yuxin, 2020)

Όσον αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τις εφαρμογές θαλάσσιων μπαταριών, οι περισσότερες έρευνες και δημοσιεύσεις έχουν δώσει έμφαση στις μηδενικές εκπομπές στο στάδιο λειτουργίας του σκάφους. Εν τω μεταξύ, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες να επεκταθεί το πεδίο των περιβαλλοντικών εκτιμήσεων στον κύκλο ζωής των υβριδικών πλοίων. (Jeong, Jeon, Kim, Kim, & Zhou, 2020)

Συνοπτικά τα ηλεκτρικά πλοία προσφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μειωμένες εκπομπές: Τα ηλεκτρικά πλοία παράγουν μηδενικές εκπομπές κατά τη λειτουργία, γεγονός που τα καθιστά μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά πλοία που κινούνται με ορυκτά καύσιμα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, η οποία συμβάλλει σημαντικά στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Χαμηλότερο λειτουργικό κόστος: Τα ηλεκτρικά πλοία έχουν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πλοία, καθώς δεν απαιτούν καύσιμα και έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη, πράγμα που σημαίνει λιγότερη συντήρηση.
- Πιο αθόρυβη λειτουργία: Τα ηλεκτρικά πλοία είναι πιο αθόρυβα από τα παραδοσιακά πλοία, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε

περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές, όπως λιμάνια, όπου η ηχορύπανση μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη θαλάσσια ζωή.

- **Αυξημένη απόδοση:** Τα ηλεκτρικά πλοία είναι πιο αποδοτικά από τα παραδοσιακά πλοία, καθώς μετατρέπουν περισσότερη ενέργεια που χρησιμοποιούν σε πρόωση. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να ταξιδέψουν περαιτέρω με την ίδια ποσότητα ενέργειας, η οποία μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων.
- **Βελτιωμένη ασφάλεια:** Τα ηλεκτρικά πλοία έχουν λιγότερους κινδύνους πυρκαγιάς και έκρηξης σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πλοία, καθώς δεν μεταφέρουν καύσιμα ή άλλα εύφλεκτα υλικά επί του σκάφους.
- **Ευελιξία στις πηγές ενέργειας:** Τα ηλεκτρικά πλοία μπορούν να τροφοδοτούνται από διάφορες πηγές, όπως μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακή ή αιολική ενέργεια. Αυτό τα καθιστά μια ευέλικτη και προσαρμόσιμη επιλογή για διαφορετικές εφαρμογές.
- **Συμμόρφωση με τους κανονισμούς εκπομπών:** Τα ηλεκτρικά πλοία μπορούν να βοηθήσουν τους πλοιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης να συμμορφωθούν με ολοένα και πιο αυστηρούς κανονισμούς εκπομπών, όπως είναι οι στόχοι μείωσης των εκπομπών του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO)
- **Αυξημένη αξιοπιστία:** Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης είναι απλούστερα και έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη από τα παραδοσιακά μηχανικά συστήματα πρόωσης, γεγονός που μειώνει τον κίνδυνο βλαβών και βελτιώνει την αξιοπιστία. (Jeong, Jeon, Kim, Kim, & Zhou, 2020)

2.4 Μειονεκτήματα

Παρόλο που υπάρχουν αναρίθμητα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών συστημάτων, οι Blokland & Ebling (1995) και Guimarães (1999) εφιστούν την προσοχή στην ανθρώπινη ασφάλεια στη χρήση ηλεκτρικών συσκευών. Είναι απαραίτητο κάθε άτομο που εμπλέκεται στη λειτουργία και τη συντήρηση των συσκευών να είναι ενήμερο και προετοιμασμένο για τους κινδύνους αυτών των συστημάτων. Επομένως, είναι σημαντικό το πλήρωμα να είναι έτοιμο να δουλέψει με ατυχήματα που μπορεί να συμβούν. (Pereira, 2007)

Συγκεκριμένα, ενώ τα ηλεκτρικά πλοία προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, μειωμένο κόστος καυσίμων και πιο αθόρυβη λειτουργία, έχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα, όπως:

- Μεγαλύτεροι χρόνοι φόρτισης: Η φόρτιση των μπαταριών ενός ηλεκτρικού πλοίου μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες ή και ημέρες, ανάλογα με τη χωρητικότητα της μπαταρίας και τη διαθέσιμη υποδομή φόρτισης. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη διαθεσιμότητα του πλοίου για λειτουργίες.
- Περιορισμένη υποδομή φόρτισης: Η διαθεσιμότητα υποδομής φόρτισης για ηλεκτρικά πλοία είναι περιορισμένη και μπορεί να είναι δύσκολο να βρεθούν κατάλληλοι σταθμοί φόρτισης ή λιμένες για μεγαλύτερα πλοία.
- Κόστος συντήρησης και επισκευής: Το κόστος συντήρησης και επισκευής των ηλεκτρικών εξαρτημάτων του πλοίου, όπως οι μπαταρίες και οι κινητήρες, είναι υψηλότερο από εκείνο των παραδοσιακών κινητήρων και συστημάτων καυσίμων. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην εξειδικευμένη εκπαίδευση και τον εξοπλισμό που απαιτείται για τη συντήρηση και τις επισκευές.
- Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής και απόρριψης μπαταριών: Η παραγωγή και η απόρριψη μπαταριών για ηλεκτρικά πλοία μπορεί να έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης μετάλλων σπάνιων γαιών, της διάθεσης επικίνδυνων χημικών ουσιών και της πιθανότητας τα απόβλητα να καταλήγουν σε χωματερές ή πλωτές οδούς.
- Περιορισμένη ταχύτητα: Τα ηλεκτρικά πλοία μπορεί να έχουν περιορισμένη ταχύτητα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πλοία λόγω των περιορισμών της τεχνολογίας μπαταριών.
- Ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια: Τα ηλεκτρικά πλοία δημιουργούν ορισμένες μοναδικές ανησυχίες για την ασφάλεια, όπως ο κίνδυνος πυρκαγιάς ή εκρήξεων μπαταριών. Η τεχνολογία των μπαταριών είναι ακόμα σχετικά νέα και υπάρχει κίνδυνος να προκύψουν απρόβλεπτα ζητήματα ασφάλειας καθώς αναπτύσσονται περισσότερα ηλεκτρικά πλοία.
- Αντίσταση στην αλλαγή: Ενδέχεται να υπάρχει αντίσταση στην υιοθέτηση ηλεκτρικών πλοίων σε ορισμένες βιομηχανίες ή περιοχές, ιδιαίτερα εάν υπάρχει εξάρτηση από παραδοσιακά πλοία που κινούνται με ντίζελ. Αυτό

μπορεί να επιβραδύνει την υιοθέτηση ηλεκτρικών πλοίων και να περιορίσει τα πιθανά οφέλη τους. (Zhemin & Yuxin, 2020)

3. Υποδομές στα λιμάνια

3.1 Ηλεκτρική Ενέργεια στα Λιμάνια

Το λιμάνι είναι ένας χώρος στην ακτή όπου μπορούν να αγκυροβολήσουν και να αποβιβάσουν τα εμπορεύματα ή οι επιβάτες. Τα λιμάνια μπορούν να είναι φυσικά ή τεχνητά, και συχνά εξυπηρετούν ως σημαντικά κέντρα διεθνούς εμπορίου και μεταφορών. Τα λιμάνια παρέχουν επίσης καταφύγιο για τα πλοία κατά τη διάρκεια κακοκαιρίας και άλλων κινδύνων στη θάλασσα. Τα λιμάνια είναι σημαντικά για το διεθνές εμπόριο και την οικονομία καθώς παρέχουν ένα σημαντικό κανάλι για τη μεταφορά εμπορευμάτων και ανθρώπων σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Είναι συχνά ένα κρίσιμο σημείο για την εισαγωγή και εξαγωγή προϊόντων σε μια χώρα και μπορεί να επηρεάσει το εμπορικό και οικονομικό της κλίμα. (Marriner, Morhange, Flaux, & Carayon, 2015)

Ως αποτέλεσμα των βιομηχανικών και τεχνολογικών εξελίξεων, εκτός από την αύξηση του πληθυσμού και των παγκόσμιων δικτύων, η ζήτηση και η κατανάλωση ενέργειας έχουν αυξηθεί όλα αυτά τα χρόνια, δείχνοντας απόλυτη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα ειδικά από το πετρέλαιο. Είναι σαφές ότι ο τομέας των μεταφορών έχει ένα αυξανόμενο μερίδιο περίπου 20% στην κατανάλωση πετρελαίου μεταξύ άλλων τομέων όπως η στέγαση, η γεωργία και η βιομηχανία. Αντίστοιχα, οι μεταφορές αποτελούν σημαντικό μέρος των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τα ορυκτά καύσιμα σε παγκόσμια κλίμακα. Ενώ οι συνολικές εκπομπές CO₂ που προκαλούνται από ορυκτά καύσιμα αυξήθηκαν κατά 37,8% από το 1990 έως το 2007, το μερίδιο των τρόπων μεταφοράς αυξάνεται περίπου κατά 45%. Η σχέση μεταξύ κατανάλωσης πετρελαίου και εκπομπών CO₂ είναι γνωστή. Από αυτή την άποψη, οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ο τρόπος μεταφοράς που έχει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και παράγει τις λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. (Kılıç, Yolcu, Kılıç, & Bilgili, 2020)

Ο τομέας των θαλάσσιων μεταφορών αποτελεί σημαντικό στοιχείο της παγκόσμιας οικονομίας, παρέχοντας αγαθά από μεγάλες παραγωγικές αγορές στην Ασία και την περιοχή του Ειρηνικού σε μεγάλες καταναλωτικές αγορές στην Ευρώπη και τη

Βόρεια Αμερική. Η Ναυτιλιακή Διοίκηση του Υπουργείου Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών κατέγραψε πάνω από ένα δισεκατομμύριο τόνους εξωτερικού εμπορίου μέσω των λιμένων των ΗΠΑ το 2009. Δεδομένης της οικονομικής σημασίας αυτού του τομέα, η συμπερίληψή του σε μελλοντικά καθεστάτα περιβαλλοντικής αποκατάστασης είναι καίριας σημασίας. Το Pew Center for the Environment έδειξε ότι ο τομέας της ναυτιλίας ευθύνεται για το 2% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις ΗΠΑ. (Weiner, 2012)

Τα λιμάνια αποτελούν τις κορυφές του διεθνούς εμπορίου, τα εμπορεύματα παραλαμβάνονται και φορτώνονται σε όλους τους τρόπους μεταφοράς, από μεγάλα ωκεάνια πλοία έως μικρά φορτηγά, με τρένα και φορτηγίδες εσωτερικής ναυσιπλοΐας. Όλη αυτή η σημαντική οικονομική δραστηριότητα δυστυχώς έχει και μια αρνητική πλευρά. Αυτές οι λιμενικές δραστηριότητες έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον. Το γεγονός ότι τα λιμάνια τείνουν να βρίσκονται κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και ο αντίκτυπος των εκπομπών όπως SO_x (οξειδία του θείου), NO_x (Οξειδία του αζώτου) και συγκεκριμένα σωματίδια (PM) έχει ξεχωριστό τοπικό χαρακτήρα, αυξάνει τον αντίκτυπο των λιμενικών λειτουργιών. (Weiner, 2012)

Εντός της ναυτιλιακής και λιμενικής βιομηχανίας, η οποία έχει βιώσει δεκαετίες συνεχούς αύξησης της απόδοσης και συνολικής επέκτασης, η διαχείριση ενέργειας δεν θεωρούνταν ιδιαίτερα επείγον ζήτημα μέχρι πολύ πρόσφατα. Ωστόσο, ενόψει των τρεχουσών οικονομικών προκλήσεων και της δομής του εμπορίου, το θέμα της ενεργειακής απόδοσης έχει έρθει στο προσκήνιο των ακαδημαϊκών και βιομηχανικών συζητήσεων. Τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και κατανάλωσης των τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων σχετίζονται με 3 από τους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) (2016) ανέφερε ότι ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό 1,4%. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αύξησης στη συνολική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές συσχετίζεται με την οικονομική ανάπτυξη, το υψηλότερο βιοτικό επίπεδο και τη συνακόλουθη αύξηση της ζήτησης για προσωπική κινητικότητα. (Wilmsmeier & Spengler, 2016)

Τα λιμάνια αποτελούν σημαντικό στοιχείο της φυσικής υποδομής και διευκολύνουν πάνω από το 80% των παγκόσμιων εμπορευματικών ροών. Οι λιμενικές δραστηριότητες είναι δραστηριότητες υψηλής έντασης ενέργειας και επομένως θα

πρέπει να διαδραματίσουν αναπόσπαστο ρόλο στην ανάπτυξη υψηλής ποιότητας, αξιόπιστης, βιώσιμης και ανθεκτικής υποδομής που μπορεί να υποστηρίξει τη μελλοντική οικονομική ανάπτυξη. Η αναβάθμιση και ο εκσυγχρονισμός της λιμενικής υποδομής θα αυξήσει την αποδοτικότητα της χρήσης των πόρων και θα τονώσει την υιοθέτηση καθαρών και φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών και βιομηχανικών διαδικασιών. (Wilmsmeier & Spengler, 2016)

Η ηλεκτρική ενέργεια στα λιμάνια είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία των πλοίων και των εγκαταστάσεων στα λιμάνια. Συνήθως, η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από τοπικούς παροχείς ηλεκτρικής ενέργειας ή από γεννήτριες που βρίσκονται στο ίδιο το λιμάνι. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία είναι απαραίτητη για τη λειτουργία τους ενώ βρίσκονται στο λιμάνι, καθώς τα πλοία χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τις ανάγκες τους σε φως, θέρμανση, κλιματισμό και για να λειτουργήσουν τα ηλεκτρονικά συστήματά τους. Επιπλέον, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα λιμάνια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων στο λιμάνι, όπως για τη φόρτωση και την αποθήκευση εμπορευμάτων. Στα περισσότερα λιμάνια, η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή από γεννήτριες ισχύος που λειτουργούν με καύσιμα. Στα πλοία, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από γεννήτριες ισχύος ή από μπαταρίες. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία μπορεί να γίνει μέσω συνδέσεων στην ακτή ή μέσω γεννητριών που είναι εγκατεστημένες στα πλοία. Στην περίπτωση της σύνδεσης στην ακτή, τα πλοία μπορούν να συνδεθούν σε ειδικούς σταθμούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο λιμάνι, ενώ στην περίπτωση των γεννητριών, τα πλοία μπορούν να παράγουν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια. (Merkel, Nyberg, Ek, & Sjöstrand, 2022)

Η χερσαία παροχή ρεύματος έχει κερδίσει μεγάλη προσοχή από την πρώτη μεγάλη εγκατάσταση ηλεκτρικής παροχής από ακτή σε πλοίο στο λιμάνι του Γκέτεμποργκ τον Ιανουάριο του 2000 από την ABB. Ο σκοπός της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή σε πλοίο είναι να μεταφέρει το ηλεκτρικό φορτίο που απαιτείται από το πλοίο ενώ είναι ελλιμενισμένο σε λιμάνι στο τοπικό δίκτυο. Για την ξηρά, η παροχή ρεύματος από το τοπικό δίκτυο λαμβάνεται στον κεντρικό υποσταθμό που ουσιαστικά αποτελείται από μετασχηματιστές. (Dhuria, Adnanes, Lee, & Kennedy, 2011)

Ο χειρισμός του φορτίου στα λιμάνια γίνεται συνήθως με γερανούς και οχήματα. Για παράδειγμα, στα λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων, οι γερανοί από πλοίο σε ακτή ανυψώνουν τα εμπορευματοκιβώτια προς/από το πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και η μεταφορά στην ξηρά γίνεται με γερανούς και χειροκίνητα ή αυτόματα οχήματα. Ο αριθμός των μετακινήσεων εμπορευματοκιβωτίων και η αποτελεσματικότητα κάθε κίνησης θα επηρεάσει άμεσα την κατανάλωση ενέργειας και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Εισάγονται αυτοματοποιημένες λειτουργίες και βέλτιστη διαχείριση logistics και φορτίου για τη βελτίωση της οικονομίας του λιμένα και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. (Dhuria, Adnanes, Lee, & Kennedy, 2011)

Η ηλεκτροδότηση της λιμενικής υποδομής αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής του λιμενικού εξοπλισμού και των οχημάτων από ενέργεια βασισμένη σε ορυκτά καύσιμα σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρικών γερανών, περονοφόρων ανυψωτικών, φορτηγών και άλλων τύπων οχημάτων που λειτουργούν σε λιμάνια. Υπάρχουν πολλά οφέλη από την ηλεκτροδότηση της λιμενικής υποδομής. Πρώτον, μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Δεύτερον, μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος των λιμενικών λειτουργιών μειώνοντας το κόστος καυσίμων και συντήρησης. Τέλος, μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των λιμενικών λειτουργιών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερους χρόνους διεκπεραίωσης του φορτίου και βελτιωμένη ικανοποίηση των πελατών. (Mertikas, et al., 2018)

Στην ουσία, ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά αποτελείται από πέντε μέρη. Η παροχή ενέργειας στην ξηρά, το σημείο σύνδεσης ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά, το σύστημα διαχείρισης καλωδίων, το σημείο σύνδεσης στο πλοίο και το ενεργειακό σύστημα στο πλοίο. Η παράκτια παροχή ενέργειας είναι ο υποσταθμός στον οποίο η ισχύς του δικτύου υψηλής τάσης μετατρέπεται στη σωστή τάση και συχνότητα. Στις περισσότερες χώρες, η συχνότητα είναι 50 Hz. Επιπλέον, η σύνδεση ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή προς πλοίο είναι τυποποιημένη κατά IEC 80,005 και αποτελείται από πολλαπλά καλώδια με τάση είτε 11 είτε 6,6 kV. Ο αριθμός των καλωδίων εξαρτάται από τη συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη σύνδεση. Εκτός από το κόστος του σταθμού μετατροπής, τα οφέλη εκπομπών της ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το ενεργειακό μείγμα της

χώρας στην οποία είναι συνδεδεμένο το σκάφος. Το μέσο μερίδιο της πράσινης ενέργειας στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εξακολουθεί να είναι αρκετά χαμηλό. Η ΕΕ προσπαθεί για μερίδιο της πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας τουλάχιστον 49%, και ως εκ τούτου ο αντίκτυπος θα βελτιωθεί στο μέλλον. (Pruyn & Willeijns, 2022)

Η τοποθέτηση του συστήματος διαχείρισης καλωδίων (CMS) στην πλευρά του τερματικού έχει παρατηρηθεί στις κανονιστικές οδηγίες από τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC). Επιπλέον, η θέση του CMS σχετικά με το πλοίο είναι σημαντική γιατί θα καθορίσει την απόσταση από την οποία πρέπει να μεταφερθεί το καλώδιο στο σημείο παραλαβής του πλοίου. Και οι δύο πτυχές αποτελούν σαφή ένδειξη ότι οι ιδιαιτερότητες του σχεδιασμού του εμπλεκόμενου τερματικού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ως δεδομένα για τους υπολογισμούς. (Pruyn & Willeijns, 2022)

Υπάρχουν δύο σημεία σύνδεσης για το πλοίο: στο μέσο και στο πίσω μέρος του πλοίου. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα λιμάνια διαθέτουν προβλήτες για φόρτωση/εκφόρτωση, η σύνδεση στο μέσο του πλοίου είναι πιο ευέλικτη όταν εξετάζονται σημαντικές διαφορές στα μεγέθη των πλοίων, καθώς παραμένει στην ίδια θέση. Από την άλλη πλευρά, η σύνδεση στο μπροστινό μέρος απαιτεί μεγαλύτερη ευελιξία από το σύστημα, καθώς λόγω της σύνδεσης στο μέσο του πλοίου, η θέση θα ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου. Ο τομέας υγρού χύδην περιλαμβάνει διάφορα δοχεία και μεγέθη. Επιπλέον, εκτός από τις γεννήτριες ντίζελ, χρησιμοποιούνται και λέβητες επί των οχημάτων μεταφοράς υγρού χύδην φορτίου. Ο ατμός που παράγεται από τους λέβητες χρησιμοποιείται τόσο για τη θέρμανση του φορτίου όσο και για την κίνηση των αντλιών φορτίου. (Pruyn & Willeijns, 2022)

Πρόσφατα, η ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά έχει χρησιμοποιηθεί ειδικά για τη μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά σε χρήση σε όλο τον κόσμο. Το 1991, η Pohang Iron and Steel Company (POSCO) στο Πίτσμπουργκ της Καλιφόρνια, δημιούργησε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. Το 2002, πέντε κρουαζιερόπλοια Princess μετατράπηκαν για να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά στο Τζούνιο της Αλάσκας. Αυτά τα πλοία απαιτούν 7 MW βοηθητικής ισχύος. Το 2004, κατασκευάστηκε ένα έκτο πλοίο Princess Cruise με εγκαταστάσεις ηλεκτρικής

ενέργειας στην ξηρά, με αναμενόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας 8-9 MW. Το λιμάνι του Λος Άντζελες έχει μετατρέψει τον Τερματικό Ναυτιλιακό Σταθμό της Κίνας για να χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια στην ακτή. Το λιμάνι του Lubeck στη Γερμανία επιδιώκει επί του παρόντος να θεσπίσει τεχνικές απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά στα λιμάνια της Βαλτικής. Το λιμάνι του Λούμπεκ σχεδιάζει επίσης να εφαρμόσει ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά για πορθμεία και τερματικούς σταθμούς επιβατών. Η κύρια ώθηση για αυτήν την αλλαγή είναι οι υπερβάσεις της ποιότητας του αέρα SO₂ που σημειώνονται σε μεγάλο βαθμό. Η πόλη του Λούμπεκ εργάζεται επίσης σε ένα πιο εκτεταμένο σχέδιο ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά, που ονομάζεται Plan Baltic 21, με όλες τις πόλεις λιμάνια της Βαλτικής. (Fiadomor, 2009)

Οι συνδέσεις ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τις εκπομπές ρύπων και τον θόρυβο από τα πλοία στο λιμάνι, παρέχοντας έτσι οφέλη για το περιβάλλον και την υγεία. Ως αποτέλεσμα, το πλήρωμα του πλοίου εκτίθεται σε λιγότερο θόρυβο και εκπομπές ρύπων στο κατάστρωμα, το περιβάλλον του μηχανοστασίου είναι ήσυχο σε όλα τα λιμάνια. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά έχει βοηθήσει στη μείωση των επικίνδυνων ρύπων που επηρεάζουν τις γύρω κοινότητες τροφοδοτώντας τεράστια κοντέινερ και άλλα πλοία με ηλεκτρική ενέργεια στην ακτή. (Fiadomor, 2009)

Συνολικά, φαίνεται ότι, η παροχή ενέργειας από την ξηρά στα πλοία αναγνωρίζεται ως αποτελεσματικό μέτρο για τη μείωση των εκπομπών CO₂ καθώς και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις θαλάσσιες μεταφορές, αν και η αξιοποίηση αυτού του δυναμικού υπόκειται σε φραγμούς. Η απορρόφηση ενέργειας από την ξηρά στα πλοία απαιτεί δαπανηρή μετασκευή, κάτι που έχει οικονομικό νόημα για έναν πλοιοκτήτη μόνο εάν ένας επαρκής αριθμός λιμένων που επισκέπτεται παρέχει ισχύ από την ξηρά, η οποία με τη σειρά της απαιτεί δαπανηρές επενδύσεις και είναι κερδοφόρα μόνο όταν ένας αξιόπιστος αριθμός πλοίων είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει τις εγκαταστάσεις. Ένα κεντρικό μέρος του προβλήματος στις επενδύσεις και την απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά σχετίζεται με τη διασπορά των προτύπων κυκλοφορίας. (Merkel, Nyberg, Ek, & Sjöstrand, 2022)

3.2 Cold Ironing

Αρκετές εκθέσεις έχουν υπογραμμίσει ότι οι εκπομπές από τη ναυτιλία είναι σημαντικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις λιμενικές περιοχές παγκοσμίως. Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την υιοθέτηση πράσινων ναυτιλιακών πρακτικών και τη μείωση των περιβαλλοντικών εξωτερικών επιπτώσεων στις λειτουργίες πλοίων και λιμένων. Ο κύριος στόχος της μείωσης των εκπομπών είναι η υιοθέτηση μιας πολιτικής πράσινων λιμένων που περιλαμβάνει μια ποικιλία προσεγγίσεων και μεθόδων για τη βιώσιμη ναυτιλιακή βιομηχανία για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις λιμενικές τοποθεσίες. Σε αυτό το πλαίσιο, το κρύο σιδέρωμα (cold ironing) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μείωση των εκπομπών. Είναι μια βασική διαδικασία που παρέχει ηλεκτρική ισχύ από την πλευρά της ακτής στα σκάφη στην αποβάθρα. (Κιλίς, Yolcu, Κιλίς, & Bilgili, 2020)

Το κρύο σιδέρωμα είναι μια διαδικασία που επιτρέπει σε ένα πλοίο να σβήνει τις μηχανές του ενώ είναι ελλιμενισμένο και να συνδέεται σε μια χερσαία πηγή ενέργειας. Το φορτίο ισχύος του πλοίου μεταφέρεται στην παροχή ρεύματος από την ξηρά χωρίς διακοπή των υπηρεσιών του πλοίου. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει σε εξοπλισμό έκτακτης ανάγκης, ψύξη, θέρμανση, φωτισμό και άλλο εξοπλισμό να λαμβάνουν συνεχή ηλεκτρική ενέργεια ενώ το πλοίο φορτώνει ή εκφορτώνει το φορτίο του. Το Cold Ironing είναι επίσης γνωστό ως Shore Connection, On Shore Power Supply, Alternative Maritime Power Supply (AMP). Το κρύο σιδέρωμα έχει υιοθετηθεί σε ορισμένα λιμάνια σε όλο τον κόσμο ως μέτρο που ανήκει στον όρο των «Green Ports». Αυτή η έννοια αναφέρεται σε ένα σύνολο πολλών μέτρων που έχουν ως στόχο στην επίτευξη βιωσιμότητας στα λιμάνια, λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα λιμάνι όχι μόνο πληροί όλα τα περιβαλλοντικά πρότυπα στις καθημερινές του λειτουργίες, αλλά έχει επίσης ένα μακροπρόθεσμο σχέδιο για τη συνεχή βελτίωση των περιβαλλοντικών του επιδόσεων. Το κρύο σιδέρωμα μπορεί να θεωρηθεί τεχνολογική καινοτομία καθώς είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλα θαλάσσια πλοία και δεδομένου ότι υπάρχει περιορισμένος αριθμός πληροφοριών, η ιδέα αυτή απαιτεί πλήρη διερεύνηση. Επιπλέον, μπορεί να οριστεί ως «μη επιτυχημένη πρωτοβουλία» όσον αφορά την καινοτομία. (Arduino, Murillo, & Ferrari, 2011)

Τα συστήματα τροφοδοσίας από ακτή σε πλοίο έχουν διάφορες ονομασίες: κρύο σιδέρωμα, εναλλακτική θαλάσσια τροφοδοσία (AMP), παροχή ρεύματος στην ξηρά, παροχή ρεύματος από ακτή σε πλοίο και ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά. Οι παραλλαγές στην ονομασία οφείλονται αυστηρά στη χρήση που υιοθετείται από τους διάφορους οργανισμούς που εμπλέκονται σε αυτήν την εφαρμογή. (Paul, Peterson, & Chavdarian, 2014)

Ο όρος «κρύο σιδέρωμα» χρησιμοποιείται για να δηλώσει μια σύνδεση με μια συσκευή ξηράς που παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τις υπηρεσίες επί του σκάφους. Η άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε έτσι να μειωθεί δραματικά μαζί με τις εκπομπές από κινητήρες που τροφοδοτούν γεννήτριες. Όμως, ενώ αυτή η μέθοδος είναι εύκολο να εφαρμοστεί όταν η απαιτούμενη ισχύς είναι χαμηλή, οι σχετικοί ρυθμοί ενέργειας συνεπάγονται πολύ περίπλοκα εργαλεία σύνδεσης και ένα αποκλειστικό και τεράστιο σύστημα παραγωγής, διανομής και ελέγχου της ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από τα «κλασικά» συστήματα ψυχρού σιδερώματος και αυτά που βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη (π.χ. κυψέλες καυσίμου), άλλα συστήματα χρησιμοποιούνται με στόχο την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία στα λιμάνια χωρίς μεγάλες επενδύσεις. (Coppola & Quaranta, 2014)

Οι Tseng και Pilcher (2015) εξετάζουν το δυναμικό της παράκτιας ενέργειας στο λιμάνι του Kaohsiung και εκτιμούν τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα είχαν για διαφορετικούς αριθμούς πλοίων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία. Παρέχουν επίσης ποιοτικές γνώσεις βασισμένες σε συνεντεύξεις με φορείς εκμετάλλευσης λιμένων. Από την τεχνολογική πλευρά του cold ironing οι Sciberras et al. (2015) εξετάζουν τις επιπτώσεις τέτοιων συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο (πώς επηρεάζονται άλλοι καταναλωτές που τροφοδοτούνται από το δίκτυο) και την ποιότητα της παραδοθείσας ισχύος στο πλοίο. (Zis, 2019)

Οι εκπομπές από τα πλοία από τις θαλάσσιες μεταφορές συμβάλλουν στη σημαντική αλλαγή του κλίματος, με τις ναυτιλιακές δραστηριότητες να αντιπροσωπεύουν το 2,5% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Από την άλλη πλευρά, οι επιπτώσεις στην υγεία που προκαλούνται από τις εκπομπές των πλοίων είναι σημαντικές. Ως εναλλακτική λύση, εφαρμόζεται κρύο σιδέρωμα (CI) στην ακτή για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο, αντικαθιστώντας τους μολυσμένους βοηθητικούς κινητήρες με βάση τα καύσιμα. Κατά τη διάρκεια της κατάστασης αδράνειας

(προσέλκυση) του πλοίου που επισκέπτεται στο λιμάνι, ορισμένες από τις συσκευές επί του σκάφους και τα φορτία ξενοδοχείων χρειάζονται την ισχύ για να διατηρηθούν. Έτσι, απενεργοποιούνται μόνο οι κύριοι κινητήρες πρόωσης, ενώ οι βοηθητικοί κινητήρες παραμένουν σε λειτουργία για την παροχή του απαραίτητου φορτίου, όπως φωτισμός, συσκευές επικοινωνίας, σύστημα συναγερμού και χώρος διαβίωσης του πληρώματος. Η γεννήτρια αυτών των βοηθητικών συσκευών καίει κυρίως βαρύ πετρέλαιο ντίζελ και εκπέμπει επικίνδυνες εκπομπές στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της παραμονής τους. Λόγω του αυστηρού ελέγχου του θείου από τον IMO και το ECA, η παροχή ρεύματος από ακτή σε πλοίο ή γνωστή ως CI κερδίζει την προσοχή από τους φορείς εκμετάλλευσης λιμένων και τις ναυτιλιακές εταιρείες για την επίλυση του προβλήματος των εκπομπών κατά τον τρόπο λειτουργίας ελλιμενισμού. Αυτή η τεχνολογία ηλεκτροδότησης τροφοδοτεί τα φορτία επί του σκάφους συνδέοντας το πλοίο με το σύστημα ισχύος της ξηράς επιτρέποντας την απενεργοποίηση των βοηθητικών κινητήρων και αποτρέποντας τις εκπομπές. Έτσι, η εφαρμογή κρύου σιδερώματος στα λιμάνια γίνεται μια από τις προοδευτικές στρατηγικές προς την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, σύμφωνα με τη νομική σύμβαση της Συμφωνίας του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή το 2015. (Bakar, Bazmohammadi, Çimen, Uyanik, Vasquez, & Guerrero, 2022)

Το μικροδίκτυο microgrid και το CI είναι δύο από τις πιο σημαντικές τεχνικές θαλάσσιας ηλεκτροδότησης που δείχνουν την εξέλιξη της ενέργειας από το ντίζελ στην ηλεκτρική ενέργεια. Το καλά διαχειριζόμενο συντονισμό μεταξύ του μικροδικτύου του θαλάσσιου λιμένα και του CI είναι απαραίτητο για τη διασφάλιση της ισορροπίας ισχύος και τη μεγιστοποίηση της χρήσης των πόρων. Η διακοπή της παροχής ρεύματος μπορεί να προκαλέσει τεράστια ζημιά στη λειτουργία των λιμένων και να οδηγήσει σε σημαντικές οικονομικές απώλειες για τα συνδεδεμένα μέρη. Για την αποφυγή οποιασδήποτε διακοπής ρεύματος, η αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη πολύπλευρων αποφάσεων για τη διατήρηση αξιόπιστης παροχής ενέργειας. (Bakar, Bazmohammadi, Çimen, Uyanik, Vasquez, & Guerrero, 2022)

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ζήτηση για καλύτερη διαχείριση στη λειτουργία του κρύου σιδερώματος συνδέεται στενά με τη συμπεριφορά του κύριου καταναλωτή του, που είναι η μεταφορά με πλοίο. Η διάρκεια ελλιμενισμού του εισερχόμενου πλοίου είναι μια κρίσιμη πτυχή, καθώς η μεγαλύτερη παραμονή στο λιμάνι καταναλώνει

περισσότερη ενέργεια από το CI και μπορεί να προκαλέσει κυκλοφοριακή συμφόρηση καθώς και παρατεταμένους χρόνους αναμονής για άλλα πλοία. Η διάρκεια της ελλιμενισμού μπορεί επίσης να παρέχει μια προβολή του πόση ρύπανση μπορεί να αποτραπεί με τη βοήθεια της ηλεκτροδότησης CI. (Bakar, Bazmohammadi, Çimen, Uyanik, Vasquez, & Guerrero, 2022)

Το κρύο σιδέρωμα παρουσιάζει μια πρόκληση μηχανικής στη σύνδεση δύο κατά τα άλλα ξεχωριστών συστημάτων. Η αντιστοίχιση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας του λιμένα με αυτή του καταναλωτή (δηλαδή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο) ως προς την τάση και τη συχνότητα είναι κρίσιμη για μια απρόσκοπτη και εύκολη σύνδεση. Τα πλοία εγκαθίστανται με μια ποικιλία ενσωματωμένων ηλεκτρικών συστημάτων, ανάλογα με τον τύπο και τον ατομικό σχεδιασμό τους. Το καλοκαίρι του 2012 δημοσιεύτηκε ένα κοινό πρότυπο ISO/IEC/IEEE το οποίο αντιμετωπίζει τη σύνδεση των πλοίων στην ξηρά και καθορίζει τις θεμελιώδεις απαιτήσεις για το παγκόσμιο κρύο σιδέρωμα. Πριν από την τυποποίηση, όλες οι εφαρμογές κρύου σιδερώματος ήταν κατά παραγγελία συστήματα που υιοθετήθηκαν κατά περίπτωση με βάση μια κοινή δέσμευση μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης λιμένων και πλοίων. Αυτό περιοριζόταν κυρίως σε πλοία που πραγματοποιούσαν τακτικές επισκέψεις στο ίδιο αγκυροβόλιο. Σαφώς, η ύπαρξη ενός ενιαίου συστήματος παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα στο ότι συμβατά πλοία μπορούν εύκολα να συνδεθούν με συμμορφούμενες λιμενικές εγκαταστάσεις. (Sciberras, Zahawi, Atkinson, Juandó, & Sarasquete, 2014)

Σήμερα, έχει σημειωθεί μια αξιοσημείωτη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως και η ευαισθητοποίηση των ανθρώπων σε περιβαλλοντικά ζητήματα αποκτά σημασία και η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας προχωρά σταθερά. Επιπλέον, τα παραδοσιακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής αντικαθίστανται από κατανεμημένη παραγωγή με βάση τις ΑΠΕ (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας). Οι προαναφερθέντες λόγοι δίνουν τη δυνατότητα στις κυβερνήσεις να προωθήσουν πολιτικές για την προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ και των κατανεμημένων συστημάτων ισχύος. Για το σκοπό αυτό, η έννοια του μικροδικτύου προκύπτει ως ο τρόπος δημιουργίας ενός ανεξάρτητου δικτύου με κατανεμημένη παραγωγή που έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί είτε συνδεδεμένο με το κύριο δίκτυο είτε σε λειτουργία νησίδας. Σε περιοχές λιμένων που διαθέτουν επαρκή ποσότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,

μπορούν να χρησιμοποιηθούν DERs (καταναμημένος ενεργειακός πόρος) για την υλοποίηση ενός μικροδικτύου εντός τους. Τα DER (Distributed Energy Resource) περιλαμβάνουν τόσο συστήματα LES (τοπική αποθήκευση ενέργειας) όσο και διανεμημένη παραγωγή που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές, όπως γεννήτριες θαλάσσιας ενέργειας, φωτοβολταϊκά πάρκα ή αιολικά πάρκα. Κατά την υλοποίηση ενός μικροδικτύου σε μια λιμενική υποδομή, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο το κόστος και οι κανονισμοί, όσο και τα ζητήματα βιωσιμότητας. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι η λειτουργία του λιμένα απαιτεί υψηλές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. (Rolan, Manteca, Oktar, & Siano, 2019)

Συνεπώς, τα μικροδίκτυα παρέχουν μια ενδιαφέρουσα ευκαιρία για να επιτρέψουν στα λιμάνια να ανταποκριθούν στις ενεργειακές απαιτήσεις τους χρησιμοποιώντας τις ΑΠΕ. Τα συστήματα κρύου σιδερώματος χρησιμοποιούνται σήμερα σε ορισμένα λιμάνια σε όλο τον κόσμο. Ένα παράδειγμα έξυπνης θύρας που χρησιμοποιεί αυτή την τεχνολογία είναι το λιμάνι του Λονγκ Μπιτς των ΗΠΑ στην Καλιφόρνια. Το Συμβούλιο Αεροπορικών Πόρων της Καλιφόρνια υπολόγισε ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μπορούσαν να μειωθούν κατά 70%. Επιπλέον, από το 2010 η EPA (Environmental Protection Agency) από την Πολιτεία της Καλιφόρνια προωθεί τη χρήση προτύπων για το κρύο σιδέρωμα προκειμένου να τηρούνται τα όρια μείωσης των εκπομπών. Στη συνέχεια, λόγω αυτών και άλλων περιβαλλοντικών νόμων, περισσότερα λιμάνια τόσο στην Καλιφόρνια όσο και στην Αλάσκα χρησιμοποιούν σήμερα συστήματα HVSC (High-voltage shore connection) για κρουαζιερόπλοια και μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Η συντονισμένη ανάπτυξη αναλυτικών τεχνικών, η λιμενική υποδομή και η ενσωματωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα διευκολύνουν την εκτέλεση συστημάτων ψυχρού σιδερώματος για πλοία. (Rolan, Manteca, Oktar, & Siano, 2019)

Περισσότερα παραδείγματα θυρών που χρησιμοποιούν συστήματα κρύου σιδερώματος μπορούν να εντοπιστούν στην Ευρώπη, όπως π.χ

- 1) το λιμάνι του Γκέτεμποργκ (Σουηδία)
- 2) το λιμάνι του Όσλο (Νορβηγία).
- 3) το λιμάνι του Ρότερνταμ (Ολλανδία)
- 4) το λιμάνι του Αμβούργου (Γερμανία)

5) το λιμάνι του Βίγκο (Ισπανία)

Σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις και στα μελλοντικά έξυπνα λιμάνια, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας μικροδικτύων στα λιμάνια και οι πολιτικές της κυβέρνησης για την αύξηση της ευαισθητοποίησης των πολιτών για την κλιματική αλλαγή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη του στόχου του λιμανιού μηδενικών εκπομπών. (Rolan, Manteca, Oktar, & Siano, 2019)

Συνοπτικά, φαίνεται ότι, το κρύο σιδέρωμα γίνεται όλο και πιο δημοφιλές ως τρόπος συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλίας. Εκτός από τη μείωση των εκπομπών και της ηχορύπανσης, μπορεί επίσης να βοηθήσει τα πλοία να εξοικονομήσουν καύσιμα και χρήματα χρησιμοποιώντας το χερσαίο τροφοδοτικό αντί να χρησιμοποιούν τις δικές τους μηχανές ενώ βρίσκονται στο λιμάνι. Για να επιτραπεί το κρύο σιδέρωμα, τα λιμάνια πρέπει να διαθέτουν την απαραίτητη υποδομή, συμπεριλαμβανομένων εγκαταστάσεων τροφοδοσίας στην ξηρά και συνδέσμων που μπορούν να ανταποκρίνονται στις ηλεκτρικές απαιτήσεις των διαφόρων τύπων πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι. Πολλά λιμάνια σε όλο τον κόσμο έχουν ήδη εγκαταστήσει εγκαταστάσεις κρύου σιδερώματος και η τάση αναμένεται να συνεχιστεί καθώς οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί γίνονται πιο αυστηροί. (Bakar, Bazmohammadi, Çimen, Uyanik, Vasquez, & Guerrero, 2022)

3.2.1 Υποδομές και Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Cold Ironing

Μέχρι πρόσφατα, δεν υπήρχε καθολικός κανονισμός για το κρύο σιδέρωμα. Υπήρξαν διαφορετικοί κανονισμοί σε διάφορες χώρες σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των πλοίων. Το 2012, κυκλοφόρησε το πρώτο διεθνές πρότυπο για το κρύο σιδέρωμα: το IEC/ISO/IEEE 80005-1 παρείχε τις απαιτήσεις σύνδεσης χρησιμότητας στις θύρες για συστήματα HVSC και το 2016, το δεύτερο μέρος αυτού του διεθνούς προτύπου καθιέρωσε την επικοινωνία δεδομένων για παρακολούθηση και έλεγχο. Σύμφωνα με αυτό το διεθνές πρότυπο, τα γενικά ζητήματα που πρέπει να εξετάζονται κατά την εφαρμογή ενός συστήματος κρύου σιδερώματος μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ποιότητα ισχύος, διαμόρφωση πρίζας/φίς, εξοπλισμός μετατροπής, γαλβανική απομόνωση, ουδέτερη αντίσταση γείωσης και σύνδεση εξοπλισμού, προστασία βραχυκυκλώματος, διακόπτες

κυκλώματος , κλειδώματα ασφαλείας και εξοπλισμός διεπαφής. (Rolan, Manteca, Oktar, & Siano, 2019)

Η σημείωση τροφοδοτικών (OPS) του Lloyds Register (LR) για κρύο σιδέρωμα αντιμετωπίζει τους πιθανούς κινδύνους όσον αφορά την ασφάλεια, τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων στο πλοίο και του εξοπλισμού σύνδεσης. Οι τεχνικές προκλήσεις που εντόπισε ο LR σε σχέση με τη ρύθμιση OPS όπως αναφέρεται από τον Tinsley περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Παροχή τροφοδοσίας στην ξηρά επαρκούς χωρητικότητας με σημεία σύνδεσης στο αγκυροβόλιο
- Παροχή και ενσωμάτωση κατάλληλου εξοπλισμού σύνδεσης στην ξηρά στο σχεδιασμό του πλοίου
- Πιθανή ασυμβατότητα όταν χρησιμοποιείται διαφορετική συχνότητα ή τάση ηλεκτρικού συστήματος στην ξηρά και στο πλοίο
- Συμβατότητα εξοπλισμού σύνδεσης πλοίου και ξηράς και χειρισμός αυτού του εξοπλισμού
- Διευθέτηση μέτρων προστασίας και ασφάλειας του συστήματος και εφαρμογή νέων διαδικασιών ασφαλούς εργασίας.

Ο Tinsley σημείωσε περαιτέρω ότι, κατά τη θέσπιση αυτών των κανόνων, οι νηογνώμονες δεν έλαβαν υπόψη τα περιβαλλοντικά οφέλη του CI, αλλά το επίκεντρο δόθηκε στη σύνδεση της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά κατά τη διάρκεια της παραμονής του πλοίου στο λιμάνι, κάτι που σημείωσε ότι θα έπρεπε να είναι εξίσου ασφαλές και αποτελεσματικό με τη συμβατική πρακτική να βασίζεσαι σε γεννήτριες του πλοίου. (Fiadomor, 2009)

Προκειμένου να επιτρέπεται το κρύο σιδέρωμα, οι τερματικοί σταθμοί πλοίων πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με επιπλέον ηλεκτρική χωρητικότητα, αγωγούς και την υποδομή «βύσματος» που θα δέχεται καλώδια τροφοδοσίας από ένα σκάφος. Ένα μεγάλο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων απαιτεί συνήθως περίπου 1.600 κιλοβάτ (kW) ισχύος ενώ βρίσκεται σε αγκυροβόλιο, αλλά οι απαιτήσεις ισχύος μπορεί να διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου και τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός τερματικού εξοπλισμού για κρύο σιδέρωμα θα κοστίσει περισσότερο από ένα συμβατικό

τερματικό που δεν έχει τη δυνατότητα παροχής ρεύματος στην ακτή. Τα πλοία που καταπλέουν στο αγκυροβόλιο θα πρέπει επίσης να είναι εξοπλισμένα με την απαιτούμενη ηλεκτρική υποδομή για να επωφεληθούν από την ισχύ της ακτής. (Sisson & McBride, 2011)

Για την υποστήριξη του κρύου σιδερώματος, πρέπει να υπάρχει μια υποδομή στην αποβάθρα για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει την εγκατάσταση ηλεκτρικού εξοπλισμού διανομής και μετασχηματιστών στην αποβάθρα, καθώς και ενός σημείου σύνδεσης στο πλοίο για να συνδέεται το καλώδιο τροφοδοσίας. Η πηγή ενέργειας μπορεί να προέρχεται από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο ή από ένα αποκλειστικό σύστημα παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί καθαρότερες πηγές ενέργειας όπως η αιολική ή η ηλιακή. Εκτός από την ίδια την υποδομή, υπάρχουν επίσης κανονιστικά και τεχνικά ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την εφαρμογή του κρύου σιδερώματος. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν πρότυπα ασφαλείας που πρέπει να πληρούνται, όπως η διασφάλιση ότι το τροφοδοτικό είναι σωστά γειωμένο και προστατευμένο από ζημιές. Μπορεί επίσης να υπάρχουν τεχνικές προκλήσεις, όπως η διασφάλιση ότι η παροχή ρεύματος είναι συμβατή με το ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου και ότι το καλώδιο μπορεί να χειριστεί την απαιτούμενη τάση και ρεύμα. (Papoutsoglou, 2012)

Η υποδομή κρύου σιδερώματος απαιτεί συνήθως τη συνεργασία μεταξύ λιμενικών αρχών, πλοιοκτητών και φορέων εκμετάλλευσης και παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να χρειαστούν επίσης κυβερνητικοί κανονισμοί για να διασφαλιστεί ότι τα πλοία είναι εξοπλισμένα για να χρησιμοποιούν ενέργεια από την ξηρά και ότι υπάρχει η απαραίτητη υποδομή. Η εγκατάσταση υποδομής κρύου σιδερώματος μπορεί να είναι μια σημαντική επένδυση κεφαλαίου για τα λιμάνια, αλλά τα μακροπρόθεσμα οφέλη όσον αφορά τις μειωμένες εκπομπές και τη βελτιωμένη ποιότητα του αέρα μπορούν να την καταστήσουν μια αξιόλογη επένδυση. Επιπλέον, πολλά λιμάνια προσφέρουν κίνητρα για την ενθάρρυνση των πλοίων να χρησιμοποιούν την ισχύ της ξηράς, όπως μειωμένα λιμενικά τέλη ή άλλα οικονομικά κίνητρα. Η υποδομή κρύου σιδερώματος μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή όπου η ποιότητα του αέρα αποτελεί σημαντική ανησυχία για τη δημόσια υγεία. Σε αυτές τις περιοχές, η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των

εκπομπών και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα για τις κοντινές κοινότητες. (Fiadomor, 2009)

Τα τελευταία χρόνια, η υιοθέτηση υποδομών κρύου σιδερώματος έχει αυξηθεί καθώς περισσότερα λιμάνια και ναυτιλιακές εταιρείες αναγνωρίζουν τη σημασία της μείωσης των εκπομπών και της βελτίωσης της ποιότητας του αέρα. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμη πολλά λιμάνια σε όλο τον κόσμο που δεν διαθέτουν ακόμη τις απαραίτητες υποδομές. Γίνονται προσπάθειες για την ενθάρρυνση της ευρύτερης υιοθέτησης του κρύου σιδερώματος και για την υποστήριξη της ανάπτυξης της απαραίτητης υποδομής σε λιμάνια σε όλο τον κόσμο. Συνολικά, η υλοποίηση υποδομών κρύου σιδερώματος μπορεί να είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, αλλά προσφέρει σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την υγεία μειώνοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση και την ηχορύπανση στις περιοχές των λιμανιών. (Rolan, Manteca, Oktar, & Siano, 2019)

Από τεχνική και λειτουργική άποψη, το κρύο σιδέρωμα είναι ένα σύνθετο τεχνολογικό σύστημα που αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία. Ηλεκτρική υποδομή στα λιμάνια (απαιτούνται μηχανικά και ολοκληρωμένα συστήματα για να ταιριάζουν σε όλους τους τύπους λιμένων), ηλεκτρική υποδομή σε πλοία (μετασκευές ή νέες κατασκευές), λύσεις σύνδεσης και ελέγχου για τη διασφάλιση της ασφάλειας του προσωπικού και της απρόσκοπτης μεταφοράς ισχύος. Ειδικότερα, μια ολοκληρωμένη λύση συστήματος επί του σκάφους θα πρέπει να περιλαμβάνει όλο τον εξοπλισμό ισχύος που είναι απαραίτητος για τη σύνδεση του πλοίου σε ένα σημείο ισχύος στην ακτή. Επιπλέον, αυτό το ολοκληρωμένο σύστημα πρέπει να συμμορφώνεται με τα νέα διεθνή πρότυπα, όπως: Σύνδεση στην ξηρά υψηλής τάσης (HVSC) από IEC, ISO και IEEE, έκδοση IEC 60092-510 1 IEC/ISO PAS. Λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές και χρηματοοικονομικές πτυχές, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι το κρύο σιδέρωμα είναι πιο αποτελεσματικό και βολικό για εκείνα τα πλοία που καταπλέουν συχνά στο ίδιο λιμάνι και εκτελούν ειδικά δρομολόγια, και για εκείνους που καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας και εκπέμπουν υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων όταν ελλιμενίζονται. Οι τυπικές τυπολογίες πλοίων περιλαμβάνουν: πορθμεία, κρουαζιερόπλοια, πλοία

μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοία μεταφοράς LNG και δεξαμενόπλοια. (Arduino, Murillo, & Ferrari, 2011)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κρύου σιδερώματος είναι:

- ✓ Τάση και συχνότητα: Η παροχή ρεύματος στην ξηρά πρέπει να ταιριάζει με τις απαιτήσεις τάσης και συχνότητας του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου. Συνήθως, τα πλοία χρησιμοποιούν συστήματα ισχύος 440V/60Hz ή 220V/50Hz.
- ✓ Ισχύς: Η χωρητικότητα ισχύος του τροφοδοτικού στην ξηρά πρέπει να είναι επαρκής για να καλύψει το ηλεκτρικό φορτίο του πλοίου. Αυτό μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες κιλοβάτ για μικρότερα πλοία έως αρκετά μεγαβάτ για μεγαλύτερα πλοία.
- ✓ Μηχανισμός σύνδεσης: Απαιτείται μηχανισμός σύνδεσης για τη σύνδεση του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου με την παροχή ρεύματος στην ξηρά. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση καλωδίου ή βύσματος και μπορεί να απαιτείται ένας ειδικά σχεδιασμένος μετασχηματιστής για να ταιριάζει με την τάση και τη συχνότητα των δύο συστημάτων.
- ✓ Σύστημα ελέγχου: Απαιτείται ένα σύστημα ελέγχου για τη διαχείριση της σύνδεσης και της αποσύνδεσης της παροχής ρεύματος στην ξηρά. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μηχανισμούς ασφαλείας για την αποτροπή ηλεκτρικών υπερφορτώσεων ή βραχυκυκλωμάτων, καθώς και συστήματα παρακολούθησης για την παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας του πλοίου.
- ✓ Περιβαλλοντικά ζητήματα: Ο σχεδιασμός και η λειτουργία του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής στην ξηρά πρέπει να λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως ο θόρυβος και οι εκπομπές από τον εξοπλισμό, καθώς και πιθανές επιπτώσεις στην τοπική άγρια ζωή και ενδιαίτηματα.

Τα κύρια οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή του κρύου σιδερώματος είναι κοινωνικά και περιβαλλοντικά. Πρώτον, εάν αυτή η καινοτόμος τεχνολογία εφαρμοστεί σωστά, μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Η χρήση κρύου σιδερώματος θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂. Πράγματι, το σύστημα κρύου σιδερώματος, λόγω της υψηλότερης απόδοσης και των «εγκαταστάσεων περιοριστικών εκπομπών» στις χαμηλότερες εγκαταστάσεις, επιτρέπει την εξοικονόμηση περισσότερο από 30% των εκπομπών

CO₂ και περισσότερο από 95% οξυγόνου και σωματιδίων αζώτου. Έχει αποδειχθεί ότι, σε 10 ώρες στάσης ενός κρουαζιερόπλοιου, οι εκπομπές του μειώνονται από 72,2 σε 50,1 τόνους CO₂, από 1,47 σε 0,04 τόνους οξειδίου του αζώτου και από 1,23 σε 0,04 τόνους οξειδίου του θείου. Αυτό το σύστημα επιτρέπει επίσης τη μείωση της ηχορύπανσης. Άλλες θετικές επιπτώσεις είναι η καλύτερη άνεση στο λιμάνι, το πράσινο προφίλ για πλοιοκτήτες και πελάτες, καθώς και το μειωμένο κόστος κύκλου ζωής με μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και κόστος συντήρησης. (Arduino, Murillo, & Ferrari, 2011)

Συμπεράσματα

Ένας συγκεκριμένος κλάδος που έχει καίρια σημασία για την παγκόσμια οικονομία είναι η ναυτιλιακή βιομηχανία. Συνεισφέρει δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως και απασχολεί εκατομμύρια ανθρώπους σε διάφορες θαλάσσιες επιχειρήσεις. Παρέχει επίσης στους ανθρώπους εμπορικές λειτουργίες, δραστηριότητες που βασίζονται στην αναψυχή κλπ. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν τη ραχοκοκαλιά της ολοένα και πιο παγκοσμιοποιημένης οικονομίας και του διεθνούς εμπορικού συστήματος. Ωστόσο, τα αέρια θερμοκηπίου και άλλες εκπομπές από πλοία και συναφείς δραστηριότητες στο θαλάσσιο εμπόριο έχουν προκαλέσει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ειδικά στις παράκτιες περιοχές.

Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα διαδραματίζει όλο και πιο σημαντικό ρόλο στη σημερινή ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι πράσινες στρατηγικές, όπως η μείωση της ταχύτητας, η αλλαγή καυσίμου, τα εναλλακτικά καύσιμα, μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τις επιβλαβείς εκπομπές από τα πλοία και να αυξήσουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η ναυτιλιακή τεχνολογία έχει αρχίσει να αντικαθιστά τη μηχανική πρόωση με ηλεκτρική πρόωση. Στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η μετάβαση από τα συμβατικά προϊόντα πετρελαίου σε εναλλακτικά καύσιμα είναι πιο σημαντική από ποτέ, καθώς οι περιβαλλοντικές ανησυχίες μεγαλώνουν και ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός καθώς και οι τοπικές κυβερνήσεις επιβάλλουν αυστηρότερους κανονισμούς. Η ηλεκτρική πρόωση με συστήματα μπαταρίας έχει αναγνωριστεί ως μία από τις πιο αξιόπιστες επιλογές για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος και την επίτευξη απαλλαγής από τον άνθρακα στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητη για τη λειτουργία των λιμένων, καθώς οι περισσότερες από τις σύγχρονες λειτουργίες τους απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια. Τα πλοία πρέπει να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο του λιμένα για να μπορούν να φορτίζουν τις μπαταρίες τους, να εκτελούν τις λειτουργίες τους, όπως η λειτουργία των κινητήρων, και να επεξεργάζονται τα απόβλητα τους. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα λιμάνια έχει πλεονεκτήματα, όπως η μείωση της ρύπανσης και η βελτίωση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας των λιμένων. Το κρύο σιδέρωμα είναι μια εναλλακτική λύση ηλεκτροδότησης στον ναυτιλιακό τομέα που χρησιμοποιείται για τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία με τη μετάβαση από καύσιμο σε ηλεκτρική ενέργεια όταν ένα πλοίο ελλιμενίζεται σε λιμάνι. Συνολικά, το κρύο σιδέρωμα απαιτεί ένα πολύπλοκο σύστημα ηλεκτρικών, μηχανικών και περιβαλλοντικών εξαρτημάτων για να διασφαλιστεί η ασφαλής και αξιόπιστη παροχή ρεύματος στα πλοία που βρίσκονται σε ελλιμενισμό.

Βιβλιογραφία

Arduino, G., Murillo, D., & Ferrari, C. (2011). Key factors and barriers to the adoption of cold ironing in europe. *Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica* .

Baduel, A. (2022, June). The history and evolution of the Maritime Industry. *CRIBB Cyber Security* .

Bakar, N., Bazmohammadi, N., Çimen, H., Uyanik, T., Vasquez, J., & Guerrero, J. (2022, November 15). Data-driven ship berthing forecasting for cold ironing in maritime transportation. *Applied Energy* .

Banaei, M., Ghanami, F., Rafiei, M., Boudjadar, J., & Khooban, M. (2020, August 12). Energy Management of Hybrid Diesel/Battery Ships in Multidisciplinary Emission Policy Areas. *Energies, Volume 13, Issue 16* .

Barreiro, J., Zaragoza, S., & Diaz-Casas, V. (2022, August). Review of ship energy efficiency. *Ocean Engineering* .

Chang, Y., & Danao, D. (2017, May 15). Green Shipping Practices of Shipping Firms. *Sustainability, Volume 9, Issue 5* .

Chen, L., Xu, X., Zhang, P., & Zhang, X. (2018). Analysis on Port and Maritime Transport System Researches. *Hindawi Journal of Advanced Transportation* , σσ. 1-20.

Coppola, T., & Quaranta, F. (2014, October). Fuel saving and reduction of emissions in ports with cold ironing applications . *X HSMV - Naples* .

Corbett, J., & Winebrake, J. (2008, November). The Impacts of Globalisation on International Maritime Transport Activity. *Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World* .

Deng, G., Li, X., & Chen, J. (2021, December 16). Research on Coupling Coordination and the Development of Green Shipping and Economic Growth in China. *Sustainability* .

Dhupia, J., Adnanes, A., Lee, K., & Kennedy, L. (2011, April). Electrification of Port and Port Operations. *Conference: International Maritime Technology Conference* .

Felício, J., Rodrigues, R., & Caldeirinha, V. (2021, April 12). Green Shipping Effect on Sustainable Economy and Environmental Performance. *Sustainability* .

Fiadomor, R. (2009). Assessment of alternative maritime power (cold ironing) and its impact on port management and operations. *World Maritime University Dissertations* .

Fratila, A., Gavril, I., Nita, S., & Hrebenciuc, A. (2021, July 16). The Importance of Maritime Transport for Economic Growth in the European Union: A Panel Data Analysis. *Sustainability* .

Gaber, M., El-Banna, S., El-Dabah, M., & Hamad, M. (2021, November). Intelligent Energy Management System for an all-electric ship based on adaptive neuro-fuzzy inference system. *Energy Reports* , σσ. 7989-7998.

Gaonkar, R., Xie, M., Habibullah, M., & Ng, K. (2011, October). Subjective operational reliability assessment of maritime transportation system. *Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 11* .

Haseltalab, A., Wani, F., & Negenborn, R. (2022, February). Multi-level model predictive control for all-electric ships with hybrid power generation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* .

Hou, J. (2017). Control and Optimization of Electric Ship Propulsion Systems with Hybrid Energy Storage.

Jeong, B., Jeon, H., Kim, S., Kim, J., & Zhou, P. (2020, August 2). Evaluation of the Lifecycle Environmental Benefits of Full Battery Powered Ships: Comparative Analysis of Marine Diesel and Electricity. *Journal of Marine Science and Engineering* .

Jones, B. (2017). Historical Development of the Marine Industry. *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering* , σσ. 1-15.

Khabir, M., Emad, G., & Shahbakhsh, M. (2020, November). Toward Future Green Shipping: Resilience and Sustainability Indicators. *10th Asian Logistics Round Table Conference (ALRT)* , σσ. 391-417.

Kılıç, A., Yolcu, M., Kılıç, F., & Bilgili, L. (2020, November 12). Assessment of ship emissions through cold ironing method for Iskenderun Port of Turkey. *Environmental Research & Technology, Volume 3, Issue 4* , σσ. 193-201.

- Koilo, V. (2019, August 27). Sustainability issues in maritime transport and main challenges of the shipping industry. *Environmental Economics, Volume 10, Issue 1* .
- Kose, S., & Sekban, D. (2022, June). Emphasizing the importance of using cold-ironing technology by determining the share of hotelling emission value within the total emission . *Transportation Safety and Environment, Volume 4, Issue 2* , .
- Koukaki, T., & Tei, A. (2020). Innovation and maritime transport: A systematic review. *Case Studies on Transport Policy, Volume 8, Issue 3* , σσ. 700-710.
- Koumentakos, A. (2019, October 28). Developments in Electric and Green Marine Ships. *Developments in Electric and Green Marine Ships, Volume 2, Issue 4* .
- Lai, K., Lun, V., Wong, C., & Cheng, T. (2011). Green shipping practices in the shipping industry: Conceptualization, adoption, and implications. *Resources Conservation and Recycling, Volume 55, Issue 6* , σσ. 631-638.
- Lee, C., & Kim, J. (2021). Energy Efficient Control for Electric Ship Propulsion Considering Thrust Fluctuation in Regular Waves. *IFAC-PapersOnLine, Volume 54, Issue 16* , σσ. 364-369.
- Lee, T., & Nam, H. (2017, December). A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies. *The Asian Journal of Shipping and Logistics, Volume 33, Issue 4* , σσ. 253-262.
- Lin, C., Dai, G., Wang, S., & Fu, X. (2022, September 21). The Evolution of Green Port Research: A Knowledge Mapping Analysis. *Sustainability, Volume 14, Issue 19* .
- Lirn, T., & Shang, K. (2014). Green shipping management capability and firm performance in the container shipping industry. *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research* .
- Liu, B., Gao, D., Yang, P., & Hu, Y. (2022, November 14). An Energy Efficiency Optimization Strategy of Hybrid Electric Ship Based on Working Condition Prediction. *Journal of Marine Science and Engineering* .
- Marriner, N., Morhange, C., Flaux, C., & Carayon, N. (2015). Harbors and Ports, Ancient. *Encyclopedia of Geoarchaeology* , σσ. 382-403.
- Matekenya, W., & Ncwadi, R. (2022, February 5). The impact of maritime transport financing on total trade in South Africa. *Journal of Shipping and Trade, Volume 7, Issue 5* .
- Merkel, A., Nyberg, E., Ek, K., & Sjöstrand, H. (2022). Economics of shore power for non-liner shipping: Socioeconomic appraisal under different access pricing. *VTI Working Paper 2022:6* .
- Mertikas, P., Dallas, S., Dimos, S., Kourmpelis, T., Georgakopoulos, I., Prousalidis, J., και συν. (2018). Furthering the Electricity to Ships and Ports: the ELEMED Project. *Conference: 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM)* .

- Niu, H., Zhao, M., & Qin, F. (2017). Study on the Ship Electric Propulsion System and Its Development . *7th International Conference on Applied Science, Engineering and Technology* , σσ. 212-216.
- Noble, P. (2019). Growth in the Shipping Industry: Future Projections and Impacts. *The Future of Ocean Governance and Capacity Development* , σσ. 456-561.
- Pang, K., Lu, C., Shang, K., & Weng, H. (2021, March). An empirical investigation of green shipping practices, corporate reputation and organisational performance in container shipping. *International Journal of Shipping and Transport Logistics* , σσ. 422-444.
- Paolo, F., Fancello, G., Frigau, L., Marco, M., Serra, P., Porta, M., και συν. (2021). Investigating the Role of the Human Element in Maritime Accidents using Semi-Supervised Hierarchical Methods. *Transportation Research Procedia, Volume 52, Issue 1* , σσ. 252-259.
- Papoutsoglou, T. (2012). A Cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits Thriving for Worldwide Ports. *School of Naval Architecture & Marine Engineering* .
- Paul, D., Peterson, K., & Chavdarian, P. (2014). Designing Cold Ironing Power Systems: Electrical Safety During Ship Berthing. *IEEE Industry Applications Magazine, Volume 20, Issue 3* .
- Pereira, N. (2007, October). A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships. *Revista Ciencia & Tecnología de Buques* .
- Profillidis, V., & Botzoris, G. (2019). Evolution and Trends of Transport Demand. *Modeling of Transport Demand* .
- Pruyn, J., & Willeijns, J. (2022, July 13). Cold ironing: modelling the interdependence of terminals and vessels in their choice of suitable systems. *Journal of Shipping and Trade* .
- Rodrigues, T., Neves, G., Gouveia, L., Abi-Ramia, M., Fortes, M., & Gomes, S. (2018, February). Impact of electric propulsion on the electric power quality of vessels. *Electric Power Systems Research* , σσ. 350-362.
- Rolan, A., Manteca, P., Oktar, R., & Siano, P. (2019). Integration of Cold Ironing and Renewable Sources in the Barcelona Smart Port. *IEEE Transactions on Industry Applications, Volume 55, Issue 6* .
- Schnurr, R., & Walker, T. (2019). Marine Transportation and Energy Use. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* .
- Sciberras, E., Zahawi, B., Atkinson, D., Juandó, A., & Sarasquete, A. (2014, May 13). Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment* .

Shi, W., Xiao, Y., Chen, Z., McLaughlin, H., & Li, K. (2018). Evolution of green shipping research: themes and methods. *Maritime Policy and Management, Volume 45, Issue 7* , σσ. 863-876.

Sisson, M., & McBride, K. (2011). The economics of cold ironing. *Port Technology International* .

Vicenzutti, A., Bosich, D., Giadrossi, G., & Sulligoi, G. (2015, May 25). The Role of Voltage Controls in Modern All-Electric Ships: Toward the all electric ship. *IEEE Electrification Magazine, Volume 3, Issue 2* , σσ. 49-65.

Vickerman, R. (2021). The future of maritime transport. *International Encyclopedia of Transportation* , σσ. 535-539.

Wang, G., Spencer, J., Saidarasamoot, S., Thuanboon, S., Olson, D., & Mishra, D. (2012). Tanker Corrosion. *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition)* .

Weiner, P. (2012). Cold-Ironing as a Cost-Effective Tool for Improving Sustainability in the Shipping Industry. *Nicholas School of the Environment and Earth Sciences* .

Wilmsmeier, G., & Spengler, T. (2016). Energy consumption and container terminal efficiency. *FAL Bulletin No. 350* .

Xue, Y., & Lai, K. (2023, January). Responsible shipping for sustainable development: Adoption and performance value. *Transport Policy, Volume 130* , σσ. 89-99.

Yanyan, T., & Jianfeng, M. (2014, May). Towards Green Shipping with Integrated Bunkering and Cruising Policy. *12th IFAC/IEEE Workshop on Discrete Event Systems* .

Yutao, C., Fanming, Z., & Jiaming, W. (2012). Integrated Design Platform for Marine Electric Propulsion System. *Energy Procedia, Volume 17, Part A* , σσ. 540-546.

Zhemin, J., & Yuxin, Y. (2020). Research on ship electric propulsion. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* .

Zis, T. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 119* , σσ. 82-95.