



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**Πρόγραμμα Σπουδών
Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας Λάρισας**

Τίτλος Πτυχιακής

**« ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΕΛΛΙΜΕΝΙΣΜΕΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΑΠΟ
ΤΗΝ ΞΗΡΑ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΛΙΜΕΝΩΝ »**

« COLD IRONING AND SUSTAINABLE PORT ENERGY MANAGEMENT »

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κλεοπάτρα Κουντούρη (ΑΜ: 2919067)

Επιβλέπων: <Στέφανος Ζαούτσος>

ΛΑΡΙΣΑ 2025

«Εγώ η < *Κλεοπάτρα Κουντούρη* >, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία με τίτλο < *Ηλεκτροδότηση Ελλιμενισμένων Πλοίων Από Την Ξηρά Και Βιώσιμη Διαχείριση Λιμένων* > είναι δική μου και βεβαιώνω ότι:

- Σε όλες περιπτώσεις έχω συμβουλευτεί δημοσιευμένη εργασία τρίτων, αυτό επισημαίνεται με σχετική αναφορά στα επίμαχα σημεία.
- Σε όλες περιπτώσεις μεταφέρω λόγια τρίτων, αυτό επισημαίνεται με σχετική αναφορά στα επίμαχα σημεία. Με εξαίρεση τέτοιες περιπτώσεις, το υπόλοιπο κείμενο της πτυχιακής αποτελεί δική μου δουλειά.
- Αναφέρω ρητά όλες τις πηγές βοήθειας που χρησιμοποίησα.
- Σε περιπτώσεις που τμήματα της παρούσας πτυχιακής έγιναν από κοινού με τρίτους, αναφέρω ρητά ποια είναι η δική μου συνεισφορά και ποια των τρίτων.
- Γνωρίζω πως η λογοκλοπή αποτελεί σοβαρότατο παράπτωμα και είμαι ενήμερη για την επέλευση των νόμιμων συνεπειών»

< υπογραφή >

< *Κλεοπάτρα Κουντούρη* >

Η φοιτήτρια εντάχθηκε αυτοδίκαια στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σύμφωνα με την παρ. 1 του άρθρου 6 του Ν.4589/2019 (ΦΕΚ 13/Α'/29.01.2019). Η εκπαιδευτική λειτουργία του ανωτέρου προγράμματος σπουδών συνεχίζεται μεταβατικά σύμφωνα με την παρ. 2 του άρθρου 6 του Ν.4589/2019 (ΦΕΚ 13/Α'/29.01.2019).

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος: Λάρισα.....

Ημερομηνία: 08/07/2025.....

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ζαούτσος Στέφανος.....
2. Βασιλειάδου Αγάπη.....
3. Λεκίδης Αλέξιος.....

Περίληψη

Αυτή η εργασία εξετάζει τις σύγχρονες προκλήσεις της βιώσιμης ανάπτυξης λιμένων μέσω της ηλεκτροδότησης των ελλιμενισμένων πλοίων στην ξηρά, δηλαδή του κρύου σιδερώματος. Η τεχνολογία επιτρέπει στα πλοία να σταματήσουν να χρησιμοποιούν παραδοσιακές γεννήτριες ενώ είναι ελλιμενισμένα και να αντλούν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο της ακτής, μειώνοντας τις εκπομπές και τον θόρυβο.

Αυτή η εργασία αρχικά διερευνά την έννοια της βιώσιμης διαχείρισης λιμένων και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι πόλεις-λιμάνια και στη συνέχεια εξετάζει τα περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά αποτυπώματα των πόλεων-λιμένων. Ακολουθεί παρουσίαση ευρωπαϊκής και διεθνούς νομοθεσίας για την προώθηση της πράσινης ναυτιλίας, καθώς και σύγχρονων τεχνολογικών λύσεων για την εφαρμογή ψυχρού σιδερώματος.

Οι τεχνικές προδιαγραφές, τα περιβαλλοντικά οφέλη και οι προκλήσεις εφαρμογής αναλύονται μέσω περιπτώσιολογικών μελετών λιμένων σε Ευρώπη, Ασία και Αμερική. Εξετάστηκαν επίσης οι οικονομικές πτυχές του έργου, όπως το κόστος εγκατάστασης και η διαθέσιμη χρηματοδότηση. Τέλος, προτείνονται στρατηγικές για τη βελτίωση της μελλοντικής κατάστασης των λιμένων μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της ψηφιοποίησης και της τεχνητής νοημοσύνης.

Η εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ηλεκτροδότηση των ακτών είναι ένα βασικό βήμα στον πράσινο μετασχηματισμό των λιμανιών και θα συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη στόχων βιώσιμης ανάπτυξης και στη δημιουργία έξυπνων και φιλικών προς το περιβάλλον λιμένων του μέλλοντος.

Λέξεις-κλειδιά: Πράσινο Λιμάνι, Τροφοδοτικό πλοίου με βάση την ακτή, Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, Τεχνητή νοημοσύνη, Ενεργειακή Μετάβαση, Περιβαλλοντική Πολιτική

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Πρώτον, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, για την ανεκτίμητη καθοδήγηση, την υπομονή και την αμέριστη υποστήριξή του σε όλη αυτή την εργασιακή εμπειρία. Η εμπιστοσύνη του στις ικανότητές μου και η επιστημονική του καθοδήγηση ήταν σημαντικοί παράγοντες για την πρόοδο αυτής της έρευνας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου στο Τμήμα Ενεργειακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις γνώσεις και τους πόρους που μου παρείχαν όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων στην οικογένειά μου για τη συνεχή ηθική και συναισθηματική υποστήριξη, κατανόηση και ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μελέτης και συγγραφής αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και τους συμμαθητές μου για την πολύτιμη συντροφιά, τις συζητήσεις και τις συνεργασίες που έχουν εμπλουτίσει την ακαδημαϊκή μου καριέρα.

Κλεοπάτρα Κουντούρη

ημερομηνία

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Ευχαριστίες.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Πίνακας Εικόνων.....	12
Πίνακας Σχημάτων.....	15
Πίνακας Πινάκων.....	15
Εισαγωγή.....	16
1 Κεφάλαιο Βιώσιμη Διαχείριση Λιμένων Και Ηλεκτροδότηση Πλοίων.....	17
1.1 Βιώσιμη διαχείριση λιμένων.....	17
1.1.1 Περιβαλλοντικές Προκλήσεις και Λύσεις στις Πόλεις-Λιμάνια.....	18
1.1.2 Οικονομική Βιωσιμότητα και Προκλήσεις των Λιμανιών.....	20
1.2 Πολιτικές και στρατηγικές βιώσιμης ανάπτυξης λιμένων.....	21
1.2.1 Στρατηγική της ΕΕ για τη ναυτιλία και τη ναυτιλία για την αειφόρο ανάπτυξη.....	23
1.2.2 The Green Ports Concept και PROMPT.....	23
1.2.3 Διαχείριση πράσινου λιμανιού.....	25
1.2.4 Ευρωπαϊκά λιμάνια: κόμβοι πράσινης ενέργειας του μέλλοντος.....	27
1.2.5 Ηλεκτρική ενέργεια και πράσινη ενέργεια στα λιμάνια.....	28
1.2.6 Όταν δεν υπάρχει άμεση τροφοδοσία της ηλεκτρικής ενέργειας.....	29
1.2.7 Οι Πράσινες Πύλες της Ευρώπης.....	30
1.3 Ευρωπαϊκή και διεθνής νομοθεσία: κανονισμοί για την ηλεκτροδότηση πλοίων	30

1.3.1	Κανονισμός (ΕΕ) 2023/1805 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.....	30
1.3.2	Κανονισμός Υποδομής Εναλλακτικών Καυσίμων.....	34
1.3.3	Στρατηγική IMO 2023 για τη μείωση των ρύπων αερίων του θερμοκηπίου από τα σκάφη.....	36
1.4	Ευρωπαϊκή Πολιτική Ναυτιλίας και Εκπομπών CO ₂	41
1.4.1	Νομοθετικά μέτρα της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών CO ₂	41
1.4.2	Διεθνής διάσταση και συνεργασία με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό.....	43
1.4.3	Καινοτομία και βιώσιμες τεχνολογίες.....	43
1.5	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα λιμάνια.....	43
1.5.1	Εναλλακτικά συστήματα ισχύος για λιμάνια.....	45
1.5.2	Λιμένας της Αμβέρσας.....	47
1.6	Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας στα λιμάνια.....	48
1.6.1	Πλεονεκτήματα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμηση ενέργειας στα λιμάνια.....	48
1.6.2	Περιορισμοί και προκλήσεις.....	49
2	Κεφάλαιο Η Ηλεκτροδότηση από την Ξηρά στους Λιμένες και τη Ναυτιλία.....	50
2.1	Τι προσφέρει η ηλεκτροδότηση από την ξηρά στους λιμένες και τη ναυτιλία.....	50
2.1.1	Προκλήσεις ηλεκτροδότησης από την ξηρά στα λιμάνια και τη ναυτιλία.....	51
2.2	Ηλεκτρισμός ακτών για λιμάνια και ναυτιλία: περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιωσιμότητα.....	53
2.2.1	Πλεονεκτήματα της ηλεκτροδότησης στην ξηρά.....	53
2.2.2	Μειονεκτήματα της χερσαίας ηλεκτροδότησης.....	54
2.3	Ιστορική Αναδρομή στην Ηλεκτροδότηση Πλοίων από την Ξηρά (Cold Ironing).....	55
2.3.1	Ιστορική Ανάπτυξη.....	56
2.4	Βασικοί τεχνικοί πυλώνες για την ηλεκτροκίνηση πλοίων στην ξηρά.....	57

2.5	Ανάλυση τεχνολογίας και προδιαγραφών ηλεκτροκίνησης πλοίων στην ξηρά	58
2.5.1	Τεχνολογία ηλεκτροκίνησης πλοίων με βάση την ακτή.....	58
2.5.2	Συστήματα ασφάλειας και επικοινωνίας.....	59
2.5.3	Έξυπνο δίκτυο και ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	59
2.5.4	Παγκόσμιο πρότυπο διαλειτουργικότητας για την τεχνολογία κρύου σιδηρώματος.....	60
2.5.5	Το πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005.....	60
2.5.5.1	Τρία κύρια μέρη του προτύπου.....	60
2.5.6	Πρότυπα Επικοινωνιών και Έξυπνου Δικτύου.....	62
3	Κεφάλαιο Παραδείγματα εφαρμογών.....	63
3.1	Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στον λιμένα του Ρότερνταμ.....	63
3.1.1	Στόχοι και στρατηγικές.....	64
3.1.2	Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές.....	64
3.1.3	Προκλήσεις και εξελίξεις.....	65
3.1.4	Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.....	65
3.2	Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στον λιμένα του Γκέτεμποργκ.....	65
3.2.1	Ιστορική Πρωτοπορία.....	66
3.2.2	Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές.....	67
3.2.3	Περιβαλλοντικά οφέλη.....	67
3.2.4	Προκλήσεις και στρατηγικές επέκτασης.....	67
3.3	Ηλεκτρισμός χερσαίων πλοίων στο λιμάνι του Αμβούργου.....	68
3.3.1	Στόχοι και στρατηγικές.....	69
3.3.2	Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές.....	69
3.3.3	Περιβαλλοντικά οφέλη.....	70
3.3.4	Προκλήσεις και Στρατηγικές Ανάπτυξης.....	70
3.4	Ηλεκτρισμός σκαφών που είναι λιμνάζοντα στο Λος Άντζελες και στο Λονγκ Μπιτς	70

3.4.1	Στόχοι και κανονιστικό πλαίσιο.....	71
3.4.2	Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές.....	72
3.4.3	Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.....	72
3.4.4	Αναπτυξιακά Θέματα και Στρατηγικές.....	72
3.5	Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στο λιμάνι του Σιάτλ (Ουάσιγκτον).....	73
3.5.1	Ιστορία και στρατηγική.....	73
3.5.2	Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές.....	74
3.5.3	Περιβαλλοντικά οφέλη.....	74
3.5.4	Προκλήσεις και αναπτυξιακά σχέδια.....	74
3.6	Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στο λιμάνι της Σαγκάης.....	75
3.6.1	Στόχοι και πλαίσιο πολιτικής.....	76
3.6.2	Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές.....	76
3.6.3	Περιβαλλοντικά οφέλη.....	76
3.6.4	Προκλήσεις και αναπτυξιακά σχέδια.....	77
3.7	Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στο λιμάνι του Κόμπε (Ιαπωνία) 77	
3.7.1	Στρατηγική και πολιτική κατεύθυνση.....	78
3.7.2	Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές.....	78
3.7.3	Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.....	79
3.7.4	Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις.....	79
4	Κεφάλαιο Οικονομική Ανάλυση και Κόστη Εφαρμογής: Η ηλεκτροδότηση λιμένων και πλοίων με βάση την ξηρά.....	80
4.1	Κόστος και οφέλη υλοποίησης: ηλεκτροδότηση λιμένων και πλοίων μέσω ξηράς 80	
4.1.1	Οικονομικό κόστος εγκατάστασης συστημάτων ηλεκτροκίνησης από ακτή σε λιμάνι 80	
4.1.2	Αναμενόμενα οφέλη από τη μείωση της ρύπανσης.....	81

4.1.3	Αναμενόμενη εξοικονόμηση καυσίμων.....	81
4.1.4	Συνολική αξιολόγηση.....	82
4.2	Χρηματοδότηση και επιδοτήσεις: Ευκαιρίες χρηματοδότησης για την εφαρμογή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά και ηλεκτροκίνησης πλοίων	83
4.2.1	Connecting Europe Facility (CEF).....	84
4.2.2	Horizon Europe.....	84
4.2.3	European Investment Bank (EIB).....	85
4.2.4	ευρωπαϊκά διαρθρωτικά και επενδυτικά ταμεία (ΕΛΕΤ).....	86
4.2.5	Προγράμματα Green Shipping και Green Ports.....	86
4.3	Χρηματοδότηση και επιδοτήσεις: ευκαιρίες εθνικής χρηματοδότησης για την εφαρμογή συστημάτων ηλεκτροκίνησης ακτών, λιμένων και πλοίων.....	87
4.3.1	Εθνικό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινων Υποδομών.....	88
4.3.2	Φορολογικά οφέλη.....	88
4.3.3	Εθνικός Λιμενικός Ειδικός Σχεδιασμός.....	88
4.3.4	Συνδυασμός εθνικών και ευρωπαϊκών πηγών.....	89
4.4	Εκτίμηση κόστους-αποτελεσματικότητας: ανάλυση της επενδυτικής αποδοτικότητας και της περιόδου απόσβεσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά και ηλεκτροδότησης πλοίων.....	89
4.4.1	Κόστος Εγκατάστασης.....	89
4.4.2	Οικονομικά Οφέλη.....	90
4.4.3	Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.....	90
4.4.4	Περίοδος απόσβεσης.....	91
4.5	Εφαρμογή συστήματος ηλεκτροδότησης στην ξηρά: μελέτη περιπτώσεων λιμένα	91
4.5.1	Λιμάνι του Όσλο (Όσλο, Νορβηγία).....	92
4.5.2	Λιμάνι του Γκέτεμποργκ (Γκέτεμποργκ, Σουηδία).....	92
4.5.3	Λιμάνι της Βαρκελώνης (Βαρκελώνη, Ισπανία).....	93

4.6	Αξιολόγηση αποτελεσματικότητας: Πώς αποδίδουν οι επίγειες τεχνολογίες ηλεκτροκίνησης σε περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου; Ποιες προκλήσεις αντιμετωπίζονται κατά την εφαρμογή;.....	93
4.6.1	Τεχνολογική απόδοση σε πραγματικό περιβάλλον.....	93
4.6.2	Προκλήσεις Εφαρμογής.....	94
4.6.3	Αξιολόγηση επιπτώσεων.....	95
5	Κεφάλαιο Στρατηγικές βελτίωσης.....	96
5.1	Συστάσεις για την καλυτέρευση της εφαρμογής και της βιώσιμης ανάπτυξης των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά σε λιμάνια και πλοία.....	96
5.1.1	Ανάπτυξη εθνικών και διεθνών πολιτικών υποστήριξης.....	96
5.1.2	Οικονομική υποστήριξη και μοντέλα χρηματοδότησης.....	97
5.1.3	Πρότυπα Τεχνολογικής Καινοτομίας και Διαλειτουργικότητας.....	97
5.1.4	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον.....	97
5.1.5	Εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού και τεχνική υποστήριξη.....	97
5.1.6	Πιλοτική εφαρμογή και ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών.....	98
5.2	Έξυπνα λιμάνια και ψηφιοποίηση: Πώς η τεχνητή νοημοσύνη και τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να βελτιώσουν την ηλεκτροδότηση των πλοίων και τη βιωσιμότητα των λιμένων.....	98
5.2.1	Έξυπνα λιμάνια και ψηφιοποίηση: βασικές αρχές.....	99
5.2.2	Τεχνητή Νοημοσύνη στον ηλεκτρισμό πλοίων που βασίζεται στην ακτή. 99	
5.2.3	Port Smart Energy Network (Smart Grid).....	99
5.2.4	Βελτίωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας μέσω της ψηφιοποίησης 100	
5.2.5	Προτάσεις για τη βελτίωση της εφαρμογής.....	100
5.3	Το μέλλον της χερσαίας ηλεκτροδότησης: τεχνολογικές καινοτομίες, προκλήσεις και προοπτικές την επόμενη δεκαετία.....	100
5.3.1	Τεχνολογική καινοτομία: Προς ένα πιο έξυπνο, πιο φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα κρύου σιδηρώματος.....	101
5.3.2	Προκλήσεις στην εφαρμογή και επέκταση της τεχνολογίας.....	102

5.3.3	Συμπεράσματα.....	103
5.3.4	Προτάσεις για την επόμενη δεκαετία.....	103
5.4	Διερεύνηση μελλοντικών τάσεων και τεχνολογικών καινοτομιών που αναμένεται να διαμορφώσουν τα «έξυπνα» και βιώσιμα λιμάνια της επόμενης δεκαετίας.....	103
5.4.1	Μελλοντικές τάσεις ανάπτυξης έξυπνων λιμανιών.....	104
5.4.2	Βιώσιμη ανάπτυξη και καινοτομία τεχνολογίας καθαρής ενέργειας.....	104
5.4.3	Αυτοματισμός, Ρομποτική και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI).....	105
5.4.4	Προκλήσεις και ζητήματα εφαρμογής.....	106
6	Κεφάλαιο Παρουσίαση Συμπερασμάτων και Προτάσεων, Προκλήσεων για τα Έξυπνα και Βιώσιμα Λιμάνια.....	107
6.1	Συμπεράσματα από την ανάλυση.....	107
6.2	Στρατηγικές Συστάσεις.....	108
6.3	Βελτίωση της ηλεκτροδότησης και της βιωσιμότητας των λιμένων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης και έξυπνων δικτύων.....	109
6.3.1	Τεχνητή Νοημοσύνη στη Διαχείριση Λιμενικής Ενέργειας.....	109
6.3.2	Έξυπνα δίκτυα και ψηφιακές θύρες λιμανιών.....	110
6.3.3	Η συνέργεια τεχνητής νοημοσύνης και έξυπνων δικτύων: προς το λιμάνι του μέλλοντος.....	111
6.3.4	Προκλήσεις και Ζητήματα Εφαρμογής.....	111
6.4	Τεχνολογική καινοτομία και προκλήσεις της ηλεκτροδότησης της γης την επόμενη δεκαετία.....	111
6.4.1	Τεχνολογική καινοτομία.....	112
6.4.2	Κύριες Προκλήσεις.....	113
7	Βιβλιογραφία.....	114
8	Παραρτήματα.....	124
	Παράρτημα Α.....	124
	Παράρτημα Β.....	126

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1 Ως κόμβοι μεταφορών, τα βιώσιμα λιμάνια μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως κόμβοι ενέργειας και ψηφιακοί κόμβοι. Εικονογράφηση: Sandra Haralson.....	18
Εικόνα 1.2 Πόλη λιμάνι με την καλύτερη ποιότητα ζωής, Πηγή: https://www.isalos.net/2019/09/oi-poleis-limania-tin-kalyteri-roioutita-zois/	20
Εικόνα 1.3 Συμμόρφωση σύμφωνα με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας 2030, Πηγή: (European Commission, 2019).....	23
Εικόνα 1.4 Πεδίο δράσης διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας Port Green, Πηγή: Port Economics, Management and Policy.....	26
Εικόνα 1.5 Τα λιμάνια θα γίνουν ενεργειακοί κόμβοι έως το 2025, Πηγή: Η NAYTEMΠΟΡΙΚΗ.....	27
Εικόνα 1.6 AFIR: Alternative Fuel Infrastructure Regulations, Πηγή: https://cero2050.es/en/affir-alternative-fuels-infrastructure-regulation/	34
Εικόνα 1.7 IMO – Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, Πηγή: https://unric.org/el/imo	36
Εικόνα 1.8 MARPOL: Προστάτης - σύμβαση του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, Πηγή: ISALOS.net.....	38
Εικόνα 1.9 Ευρωπαϊκή πολιτική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία, Πηγή: https://www.offlinepost.gr	42
Εικόνα 1.10 Ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα επιλογών μείωσης εκπομπών μηδενικών εκπομπών ή χαμηλών εκπομπών άνθρακα, Πηγή: (IPCC, 2012)..	44
Εικόνα 2.1 Ενεργειακές αναβαθμίσεις λιμένων και ηλεκτροδότηση πλοίων, Πηγή: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΤΑΧΥΔΡΟΜΟΣ.....	50
Εικόνα 2.2 Λιμάνι Πειραιά: Σύνδεση πέντε σημείων τροφοδοσίας πλοίων έως το 2024, Πηγή: BUSINESS & FINANCE.....	53
Εικόνα 2.3 έργο elemed (Ηλεκτρισμός της Ανατολικής Μεσογείου), Πηγή: https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/	56

Εικόνα 2.4 Διάγραμμα αράχνης που συγκρίνει τους κανονισμούς του νηογνώμονα. Πρότυπο IEC/IEEE 80005-1: Πηγή: IEC/IEEE 80005-1:2019; IEC/IEEE International Standard-Utility Connections in Port—Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems-General Requirements. ISO: Geneva, Switzerland, 2019.....	61
Εικόνα 3.1 Λιμάνι του Ρότερνταμ: Απανθρακοποίηση με ηλεκτρική ενέργεια, Πηγή: https://www.reporter.gr/Eidhseis/Naytilia/506657-Limani-toy-Roterntam-Strefetai-sthn-hlektrikh-energeia-gia-thn-apanthrakopoihsh	63
Εικόνα 3.2 Λιμάνι του Γκέτεμποργκ: Ο πρώτος κόμβος ηλεκτρικής μεθανόλης στην Ευρώπη που θα κατασκευαστεί έως το 2025, Πηγή: maritimes.gr	66
Εικόνα 3.3 Το λιμάνι του Αμβούργου επενδύει στην ενέργεια υδρογόνου, Πηγή: NAYTIKA XRONIKA.....	68
Εικόνα 3.4 Οι μηδενικές εκπομπές είναι μια εξαιρετική ιδέα, αλλά ποιος θα την πληρώσει; Η ΕΡΑ των ΗΠΑ προετοιμάζει ένα μεγάλο ποσό χρηματοδότησης για λιμένες μηδενικών εκπομπών, Πηγή: https://el.maritimeprofessional.com/news	71
Εικόνα 3.5 Λιμάνι της Σαγκάης, Πηγή: Reporter.gr	75
Εικόνα 3.6 Το φιλόδοξο σχέδιο της Ιαπωνίας για την ανάπτυξη ηλεκτρικών πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, Πηγή: https://www.naftikachronika.gr/2024/04/30/to-filodoxo-iaponiko-schedio-gia-tin-anaptyxi-ilektrikou-containership/	78
Εικόνα 4.1 Επένδυση στα δίκτυα μεταφορών, ενέργειας και ψηφιακών υποδομών της Ευρώπης, Πηγή: https://www.cultureinexternalrelations.eu/2020/10/07/connecting-europe-facility/	84
Εικόνα 4.3 IMPACT EUROPE NEWS FROM THE EIB GROUP, Πηγή: https://www.eib.org/en/infocentre/newsletters/2017-february.htm	85
Εικόνα 4.4 Τα ευρωπαϊκά διαρθρωτικά και επενδυτικά ταμεία να επενδύσουν 405 δις. ευρώ, Πηγή: EurActiv.gr	86
Εικόνα 4.5 Οι πυλώνες ενός πράσινου λιμανιού, Πηγή: https://medium.com/@Desapex/green-ports-charting-a-sustainable-course-for-maritime-trade-5a533536cd73	87
Εικόνα 5.1 Στα λιμάνια επιτάχυνση την προς ψηφιοποίησης τους, Πηγή: https://www.naftikachronika.gr/2020/06/06/pros-tin-epitachynsi-tis-psifiopoiisis-sta-limania/	98
Εικόνα 5.2 NAYPIHΓΩNTΑΣ TO MEΛΛON, Πηγή: https://issuu.com/naftemporikigr/docs/_book_1	101

Εικόνα 5.3 Πράσινο υδρογόνο: Εναλλακτικές λύσεις για τη μείωση των εκπομπών και την προστασία του πλανήτη, Πηγή: DS New Energy.....	105
Εικόνα 6.1 Η ψηφιοποίηση και η τεχνητή νοημοσύνη είναι το κλειδί για την ενεργειακή μετάβαση, Πηγή: https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/i-psifiopiisi-ke-i-techniti-noimosini-klidi-gia-tin-energiaki-metavasi-2/	109

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1 Σύστημα κρύου σιδερώματος, Πηγή: (Chen et al., 2019).....	46
---	----

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1.1 Γενικές απαιτήσεις για τεχνολογία μηδενικών εκπομπών.....	32
Πίνακας 4.1 Συνοπτικός πίνακας κόστους-αποτελεσματικότητας SSE.....	82

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή, η περιβαλλοντική υποβάθμιση και η ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη απαιτούν τον επανασχεδιασμό σημαντικών υποδομών, όπως τα λιμάνια, ώστε να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις αποτελούν στρατηγικούς κόμβους μεταφορών και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η ηχορύπανση που δημιουργούνται από τα ελλιμενισμένα πλοία έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Το Ship shore power (γνωστό και ως cold ironing ή shore power - SSE) είναι μια σύγχρονη και αποτελεσματική λύση στα παραπάνω προβλήματα. Συνδέοντας το σκάφος με το δίκτυο της ακτής, δεν χρειάζεται να χρησιμοποιούνται ενσωματωμένες γεννήτριες ενώ είναι ελλιμενισμένες, μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου.

Αυτή η εργασία διερευνά τη σημασία της βιώσιμης διαχείρισης λιμένων και εστιάζει στην εφαρμογή της ηλεκτροκίνησης ακτών ως φιλικής προς το περιβάλλον τεχνολογικής καινοτομίας. Οι ευρωπαϊκές και διεθνείς πολιτικές, οι τεχνικοί κανονισμοί και τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας εισάγονται μέσα από περιπτώσεις εφαρμογών σε όλο τον κόσμο.

Στόχος της μελέτης είναι να αναδείξει τη συμβολή της ηλεκτροδότησης στην ξηρά στην ενεργειακή μετάβαση στα λιμάνια και να προτείνει στρατηγικές για την ευρεία εφαρμογή της. Η εργασία εστιάζει επίσης στις προκλήσεις υλοποίησης, στο επενδυτικό κόστος και στη σημασία της ψηφιοποίησης και της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση του ενεργειακού συστήματος λιμένων.

1 Κεφάλαιο Βιώσιμη Διαχείριση Λιμένων Και Ηλεκτροδότηση Πλοίων

Η βιώσιμη διαχείριση λιμένων περιλαμβάνει πρακτικές που προάγουν την προστασία του περιβάλλοντος, την κοινωνική ευημερία και την οικονομική ανάπτυξη. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή σε ακτή, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η βελτιστοποίηση των διαδικασιών λιμένων για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών.

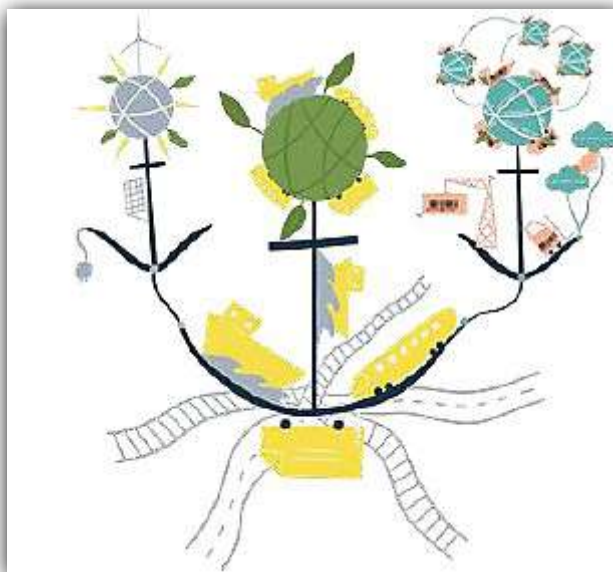
1.1 Βιώσιμη διαχείριση λιμένων

Το όραμα των βιώσιμων λιμένων βασίζεται στα λιμάνια ως βιώσιμους κόμβους μεταφορών, ικανούς να συνειδητοποιήσουν πλήρως τον ρόλο και τις δυνατότητές τους ως ψηφιακούς κόμβους [1] και ενεργειακούς κόμβους [2] (βλ. Εικόνα. 1). Το λιμάνι λειτουργεί σε εμπορική βάση ως κόμβος μεταφορών, συμβάλλοντας στη βιώσιμη χρήση των συστημάτων μεταφορών και καθιστώντας αναπόσπαστο μέρος παγκόσμιων, περιφερειακών και τοπικών συστημάτων μεταφορών, τα οποία περιλαμβάνουν και αλληλεπιδρούν με διαφορετικούς τύπους κίνησης [1].

Σημαντικό σημείο εκκίνησης για αυτό το όραμα είναι οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών ή η ατζέντα του 2030. Προκειμένου να γίνει κινητήριος δύναμη στη μετάβαση σε ένα βιώσιμο σύστημα μεταφορών, πρέπει να αμφισβητηθούν στρατηγικές που αλλάζουν την παραδοσιακή άποψη για τις λιμενικές λειτουργίες και να αναπτυχθεί ο ρόλος των λιμένων στα συστήματα μεταφορών. Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης, ο αυξημένος όγκος μεταφορών και οι στόχοι που σχετίζονται με την αποδοτικότητα των μεταφορών απαιτούν βελτιωμένη χρήση των υφιστάμενων πόρων και υποδομών.

Για να υλοποιηθεί αυτό το όραμα, το λιμάνι πρέπει να ενισχύσει και να αναπτύξει τις δυνατότητές του ως ψηφιακού κόμβου και ενεργειακού κόμβου, εκτός από τη λειτουργία του ως κόμβου βιώσιμων μεταφορών [3]. Δεδομένης της κλίμακας των λιμενικών δραστηριοτήτων, τα λιμάνια, ως κόμβοι παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού και σημαντικές πύλες για τη μεταφορά επιβατών, δημιουργούν πάντα κοινωνικές και περιβαλλοντικές εξωτερικές επιδράσεις (εξωτερικότητες).

Γενικά, τα λιμάνια έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον μέσω των διαφόρων λειτουργιών τους που σχετίζονται με τη διαχείριση φορτίου, τη σύνδεση θαλάσσιων και χερσαίων δικτύων μεταφορών, βιομηχανικές και ημιβιομηχανικές δραστηριότητες, δραστηριότητες logistics και διανομής και παραγωγή και διανομή ενέργειας [4]. Οι λιμενικές λειτουργίες και η επέκταση, καθώς και οι θαλάσσιες και χερσαίες μεταφορές, μπορούν να έχουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να βλάψουν τα θαλάσσια οικοσυστήματα [5]. Ως εκ τούτου, τα λιμάνια μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο στη βιώσιμη ανάπτυξη των αλυσίδων εφοδιασμού και είναι απαραίτητο να αναδιαμορφωθεί η παραδοσιακή έννοια των λιμένων.



Εικόνα 1.1 Ως κόμβοι μεταφορών, τα βιώσιμα λιμάνια μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως κόμβοι ενέργειας και ψηφιακοί κόμβοι. Εικονογράφηση: Sandra Haralson.

1.1.1 Περιβαλλοντικές Προκλήσεις και Λύσεις στις Πόλεις-Λιμάνια

Οι πόλεις-λιμάνια είναι ζωτικής σημασίας για τη σύγχρονη κοινωνία και μπορούν να προσφέρουν τεράστια οικονομικά οφέλη στους ανθρώπους σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο [6]. Αν και το λιμάνι έχει αποφέρει τεράστια οφέλη στην τοπική περιοχή, οι κάτοικοι των πόλεων-λιμανιών διαπίστωσαν ότι τα πραγματικά οφέλη που αποφέρει στην τοπική περιοχή μειώνονται [7]; [8], Ταυτόχρονα επηρεάζονται αρνητικά από τα λιμάνια και τις συναφείς δραστηριότητες.

Τα λιμάνια προκαλούν μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της ρύπανσης του αέρα, των υδάτων, του εδάφους, των απορριμμάτων, του θορύβου, της φωτορύπανσης και της βιολογικής ρύπανσης, καθώς και της όρασης και της κοινωνικής

απομόνωσης. Η ρύπανση είναι μια σημαντική αρνητική επίπτωση των λιμανιών και μπορεί να προκληθεί από τον αντίκτυπο της ναυτιλίας εντός του λιμένα, της χρήσης γης του λιμένα και της μεταφοράς εντός και εκτός του λιμένα [9]. Ορισμένοι από αυτούς τους περιβαλλοντικούς εξωτερικούς παράγοντες έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ενώ άλλοι έχουν τοπικό αντίκτυπο, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση από οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, σωματίδια (PM), ηχορύπανση και φωτορύπανση. Αυτές οι επιπτώσεις όχι μόνο προκαλούν πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα, αλλά έχουν και κοινωνικές συνέπειες, όπως δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία και την ευημερία των ανθρώπων [10].

Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι η ρύπανση των λιμανιών μπορεί να επιβάλει τεράστιο οικονομικό κόστος στις πόλεις όπου εμφανίζεται ρύπανση [11]. Ως εκ τούτου, για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μειωθεί η ρύπανση στα λιμάνια. Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών τονίζουν βασικούς τομείς που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης [12]. Αυτοί είναι:

1. Να μην υπάρχει φτώχεια.
2. Μηδενική πείνα.
3. Υγεία και καλή σταδιοδρομία.
4. Ποιοτική εκπαίδευση.
5. Ισότητα των φύλων.
6. Καθαρό νερό και λύματα.
7. Προσιτή καθαρή ενέργεια.
8. Αξιοπρεπής εργασία και οικονομική ανάπτυξη.
9. Βιομηχανία, καινοτομία και υποδομές.
10. Μείωση της ανισότητας.
11. Βιώσιμες πόλεις και κοινότητες.
12. Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή.
13. δράση για το κλίμα.
14. Ζωή κάτω από το νερό.
15. Ζωή στη στεριά.
16. Ειρήνη, δικαιοσύνη και ισχυροί θεσμοί.



Εικόνα 1.2 Πόλη λιμάνι με την καλύτερη ποιότητα ζωής, Πηγή: <https://www.isalos.net/2019/09/oi-poleis-limania-tin-kalyteri-poiotita-zois/>

Μεταξύ αυτών, οι στόχοι 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 και 15 είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμοι στο πλαίσιο των πόλεων-λιμανιών, οι οποίοι παίζουν επίσης ρόλο στην επίτευξη των υπόλοιπων στόχων. Η αντιμετώπιση της ρύπανσης στις πόλεις-λιμάνια είναι κρίσιμη για την επίτευξη των Στόχων 3, 11, 13, 14 και 15, ενώ επηρεάζει και άλλους Στόχους όπως ο Στόχος 12, προωθώντας νέες προσεγγίσεις όπως η κυκλική οικονομία, μειώνοντας τελικά τη δημιουργία απορριμμάτων [12].

1.1.2 Οικονομική Βιωσιμότητα και Προκλήσεις των Λιμανιών

Η λιμενική βιομηχανία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οικονομική ανάπτυξη, κυρίως επειδή τα λιμάνια αποτελούν βασικά σημεία στο παγκόσμιο εμπόριο και τους κόμβους logistics. Για να επιτευχθεί οικονομική βιωσιμότητα, η λειτουργική αποτελεσματικότητα πρέπει να βελτιωθεί μέσω της αυτοματοποίησης [13], της ψηφιοποίησης [14] και της ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τη διαχείριση logistics [15].

Η επένδυση σε σύγχρονες και ανθεκτικές υποδομές είναι ζωτικής σημασίας, καθώς επιτρέπει στα λιμάνια να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τον αυξανόμενο όγκο φορτίου και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς [16]. Μια άλλη σημαντική προσέγγιση είναι η οικονομική διαφοροποίηση, η οποία περιλαμβάνει την προώθηση ενός ευρέος φάσματος οικονομικών δραστηριοτήτων πέρα από τους παραδοσιακούς τομείς της ναυτιλίας και της εφοδιαστικής. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συμπληρωματικές υπηρεσίες όπως μεταφορές [17], αποθήκευση, ακόμη και δραστηριότητες αναψυχής και τουρισμού σε λιμενικές περιοχές [18].

Επιπλέον, απαιτούνται αποτελεσματική οικονομική διαχείριση και στρατηγικές επενδύσεις για τη διασφάλιση της οικονομικής επιτυχίας των λιμενικών λειτουργιών. Δίνοντας

προτεραιότητα στην οικονομική ανάπτυξη, τα λιμάνια μπορούν να παραμείνουν ανταγωνιστικά [19], να δημιουργήσουν θέσεις εργασίας [20] και να ενισχύσουν την ευρύτερη οικονομία, συμβάλλοντας θετικά στη βιώσιμη ανάπτυξη [14].

Η λιμενική βιομηχανία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οικονομική ανάπτυξη, κυρίως επειδή τα λιμάνια αποτελούν βασικούς παγκόσμιους κόμβους εμπορίου και logistics. Για να επιτευχθεί οικονομική βιωσιμότητα, η λειτουργική αποτελεσματικότητα πρέπει να βελτιωθεί μέσω της αυτοματοποίησης [21], της ψηφιοποίησης [14] και της ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τη διαχείριση logistics [15]. Η επένδυση σε σύγχρονες και ανθεκτικές υποδομές είναι ζωτικής σημασίας, καθώς επιτρέπει στα λιμάνια να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τον αυξανόμενο όγκο φορτίου και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς [16].

Μια άλλη σημαντική προσέγγιση είναι η οικονομική διαφοροποίηση, η οποία περιλαμβάνει την προώθηση ενός ευρέος φάσματος οικονομικών δραστηριοτήτων πέρα από τους παραδοσιακούς τομείς της ναυτιλίας και της εφοδιαστικής. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μεταφορές [17], συμπληρωματικές υπηρεσίες όπως η αποθήκευση και δραστηριότητες αναψυχής και τουρισμού σε λιμενικές περιοχές [18]. Επιπλέον, απαιτούνται αποτελεσματική οικονομική διαχείριση και στρατηγικές επενδύσεις για τη διασφάλιση της οικονομικής επιτυχίας των λιμενικών λειτουργιών. Δίνοντας προτεραιότητα στην οικονομική ανάπτυξη, τα λιμάνια μπορούν να παραμείνουν ανταγωνιστικά [19] και να δημιουργήσουν θέσεις εργασίας [20] ενισχύοντας την ευρύτερη οικονομία και επηρεάζοντας θετικά τη βιώσιμη ανάπτυξη [14].

1.2 Πολιτικές και στρατηγικές βιώσιμης ανάπτυξης λιμένων

Με την πρόοδο της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, σε συσχέτιση με την αυξανόμενη συνειδητοποίηση του κοινού σε ζητήματα όπως η παγκόσμια θέρμανση και η εξάντληση των φυσικών πόρων, τα λιμάνια υιοθετούν όλο και περισσότερο τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης [22]. Η ναυτιλιακή βιομηχανία μεταφέρει περισσότερο από το 85% του παγκόσμιου εμπορίου (Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη) και διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην πορεία της πράσινης ανάπτυξης. Πιο συγκεκριμένα, ο κύριος παράγοντας ρύπανσης προέρχεται από την κυκλοφορία πλοίων εντός του λιμανιού και τις λιμενικές λειτουργίες [23]. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται μια αλλαγή παραδείγματος στους βασικούς φορείς της βιωσιμότητας στις θαλάσσιες μεταφορές - από τις ναυτιλιακές

εταιρείες προς τις λιμενικές αρχές και τους διαχειριστές [24]. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για λιμάνια που βρίσκονται κοντά σε πόλεις ή τοπικές κοινότητες, καθώς οι ρύποι των λιμένων, ιδιαίτερα τα οξείδια του αζώτου και τα οξείδια του θείου, έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων [25]. Τα πράσινα λιμάνια ενσωματώνουν ενεργά μέτρα προσαρμογής και μετριασμού στην κλιματική αλλαγή στις λειτουργίες και τα σχέδιά τους [24].

Από την προοπτική της βιωσιμότητας, ένα λιμάνι πρέπει να διαχειρίζεται και να εξισορροπεί τρεις βασικούς άξονες: την οικονομική ευημερία, την κοινωνική ευημερία και την περιβαλλοντική ποιότητα [26]. Κύριος μοχλός της βιωσιμότητας είναι η προσέλκυση και διατήρηση πελατών που αποδίδουν αξία στις περιβαλλοντικές επιδόσεις [27]. Έτσι, η ενεργή περιβαλλοντική στρατηγική και η σαφής δέσμευση για την επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων μπορεί να αποτελέσει ευκαιρία για επιχειρηματική ανάπτυξη. Μέσω του πράσινου μάρκετινγκ, τα λιμάνια μπορούν να αποκτήσουν τη φήμη του πράσινου λιμανιού. Πέρα από τη θετική εικόνα, αυτά τα πράσινα λιμάνια μπορούν επίσης να επιτύχουν βιώσιμη ανάπτυξη, κοινωνική υπευθυνότητα και μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη.

Το πράσινο μάρκετινγκ ορίζεται ως η εφαρμογή εργαλείων μάρκετινγκ για την προώθηση των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων για την επίτευξη οργανωτικών και ατομικών στόχων με παράλληλη προστασία του φυσικού περιβάλλοντος [28]. Βάσει θεωριών πράσινου μάρκετινγκ, τα εργαλεία που εξετάζονται στη μελέτη είναι οι βιώσιμες πρωτοβουλίες που εφαρμόζονται στις στρατηγικές, τις δομές και τις λειτουργίες του λιμανιού [29]. Τα στοιχεία αυτών των πρωτοβουλιών περιλαμβάνουν πληροφορίες για φιλικές προς το περιβάλλον υπηρεσίες, πράσινη διαφήμιση, επιχειρήματα για εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων στο μάρκετινγκ, πράσινες δράσεις και οικολογικές υπηρεσίες, καθώς και την επικαιροποίηση της εταιρικής ιστοσελίδας σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα [30]. Αν και η έρευνα έχει δείξει θετική συσχέτιση μεταξύ πράσινων επιδόσεων και ανταγωνιστικότητας των ναυτιλιακών εταιρειών [31], υπάρχει κενό στη μελέτη του πράσινου μάρκετινγκ στα λιμάνια.

Η ανάλυση επικεντρώνεται στο σύνολο του λιμανιού και στην εκάστοτε λιμενική αρχή ή διοίκηση, αντί για τους διαχειριστές των τερματικών σταθμών, καθώς η λιμενική αρχή και τα συναφή κυβερνητικά όργανα είναι υπεύθυνα για τον γενικό σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την προώθηση του λιμανιού. Σε επίπεδο λιμενικής αρχής, λαμβάνονται υπόψη τόσο οι χερσαίες λειτουργίες (π.χ. διαχείριση φορτίων και αποθήκευση) όσο και οι θαλάσσιες (π.χ. κυκλοφορία πλοίων). Οι λιμενικές αρχές διαθέτουν τα κατάλληλα εργαλεία για να εφαρμόσουν και να επιβάλουν περιβαλλοντικά προγράμματα και πρωτοβουλίες στο λιμάνι, μετατρέποντάς το σε πράσινο λιμάνι [24].

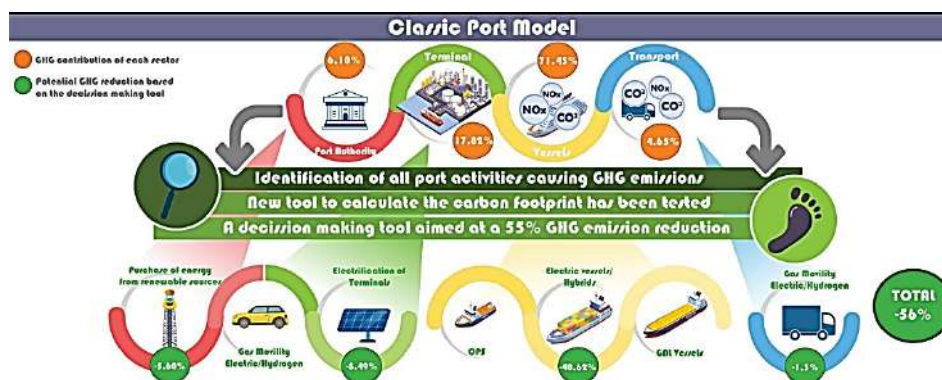
Η ανάλυση διασταυρούμενων περιπτώσεων θα χρησιμοποιηθεί για τη συστηματική διερεύνηση των κύριων πτυχών του πράσινου μάρκετινγκ σε κάθε λιμάνι. Η ανάλυση αυτή θα εντοπίσει πρότυπα και τάσεις μεταξύ των διαφόρων λιμανιών, διευκολύνοντας τη σύγκριση κοινών χαρακτηριστικών και διαφορών μεταξύ των περιπτώσεων. Μέσω αυτής της προσέγγισης, μπορεί να εξαχθεί το κατά πόσο τα μεγάλα λιμάνια του κόσμου ευθυγραμμίζονται ως προς τις προσπάθειές τους στο πράσινο μάρκετινγκ.

1.2.1 Στρατηγική της ΕΕ για τη ναυτιλία και τη ναυτιλία για την αειφόρο ανάπτυξη

Η Ελλάδα είναι μια ευρωπαϊκή χώρα, όπου είναι και μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συμμετέχει στις πολιτικές και στρατηγικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη βιώσιμη ανάπτυξη των λιμανιών. Η οποία διαμορφώνεται μέσα από πλαίσια όπως το «Green Port Concept» και η «Sustainable Port Strategy». Αυτές οι πολιτικές στοχεύουν στην ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών παραμέτρων σε όλες τις πτυχές των λιμενικών λειτουργιών.

1.2.2 The Green Ports Concept και PROMPT

Ένα πράσινο λιμάνι είναι ένα λιμάνι ή θαλάσσιο λιμάνι που δίνει προτεραιότητα στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και λαμβάνει μέτρα για να ελαχιστοποιήσει το οικολογικό του αποτύπωμα. Αυτές οι πρακτικές περιλαμβάνουν συνήθως τη μείωση της ρύπανσης του αέρα και των υδάτων, τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [32].



Εικόνα 1.3 Συμμόρφωση σύμφωνα με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας 2030, Πηγή: (European Commission, 2019)

Τα πράσινα λιμάνια επικεντρώνονται στη μείωση των εκπομπών από όλους τους τύπους πηγών ρύπανσης στην περιοχή του λιμανιού, συμπεριλαμβανομένης της λήψης μέτρων για τη

μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία, φορτηγά, άλλα οχήματα και σταθερές πηγές, όπως σταθμούς παραγωγής ενέργειας [32].

Τα λιμάνια καταναλώνουν πολλή ενέργεια σε διάφορες λειτουργίες όπως φόρτωση και εκφόρτωση φορτίου, διαχείριση τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων και εγκαταστάσεις πλοίων. Τα πράσινα λιμάνια υιοθετούν τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας, διερευνούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εφαρμόζουν έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας για τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας [32].

Η αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων είναι μια σημαντική πτυχή ενός πράσινου λιμανιού. Αυτά περιλαμβάνουν τη σωστή διάθεση και ανακύκλωση των απορριμμάτων που παράγονται στο λιμάνι, καθώς και μέτρα για την πρόληψη της ρύπανσης των υδάτων. Ορισμένες πρωτοβουλίες για τα πράσινα λιμάνια περιλαμβάνουν μέτρα για την προστασία της τοπικής βιοποικιλότητας και των οικοτόπων. Τα λιμάνια μπορούν να εφαρμόσουν στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση της ενόχλησης στα κοντινά οικοσυστήματα και την άγρια ζωή. Τα πράσινα λιμάνια συμμορφώνονται με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και τα πρότυπα που ορίζονται από τις τοπικές κυβερνήσεις και τους διεθνείς φορείς. Η συμμόρφωση διασφαλίζει ότι οι λιμενικές λειτουργίες διεξάγονται με τρόπο που πληροί ή υπερβαίνει τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις [32].

Τα πράσινα λιμάνια συχνά συνεργάζονται με τις τοπικές κοινότητες για να λύσουν προβλήματα και να διασφαλίσουν ότι οι λιμενικές λειτουργίες διεξάγονται με κοινωνικά υπεύθυνο τρόπο. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει συζητήσεις για θέματα όπως η ηχορύπανση, η διαχείριση της κυκλοφορίας και η ευημερία της κοινότητας. Τα πράσινα λιμάνια υιοθετούν τεχνολογικές εξελίξεις που συμβάλλουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, την ισχύ στην ξηρά για ελλιμενισμένα πλοία και την εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών για αποτελεσματική επιμελητεία και λειτουργίες [32].

Η ΕΕ κατέχει ηγετική θέση στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών και των θαλάσσιων δραστηριοτήτων. Οι πολιτικές και οι οδηγίες της ΕΕ έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων, την ελάττωση των εκπομπών και την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης. Η έννοια των πράσινων λιμένων ταιριάζει με τον ευρύτερο στόχο της ΕΕ για την επίτευξη ενός πιο πράσινου και βιώσιμου μέλλοντος [32].

Η συμβολή της PROMPT στην ιδέα του πράσινου λιμανιού προέρχεται από την καταπολέμηση των απειλών για τα θαλάσσια οικοσυστήματα, όπως η χημική ρύπανση. Διαρροές πετρελαίου και HNS¹ από λιμενικές ναυτιλιακές δραστηριότητες. Ο κύριος σκοπός του PROMPT είναι να βελτιώσει την ανίχνευση της θαλάσσιας ρύπανσης που προκαλείται από διαρροές πετρελαίου, επικίνδυνων και τοξικών ουσιών (HNS) χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο επικοινωνίας πληροφοριών που ονομάζεται Environmental Decision Support System (EDSS) και παρακολούθηση πλωτών εμπορευματοκιβωτίων. Μέσω του PROMPT, η προστασία της τοπικής βιοποικιλότητας και οικοτόπων θα ενισχυθεί σημαντικά [32].

Συμπερασματικά: το Green Ports συμβολίζει μια αλλαγή παραδείγματος στη ναυτιλιακή βιομηχανία, αποδεικνύοντας ότι η οικονομική ανάπτυξη και η περιβαλλοντική ευθύνη μπορούν να συνυπάρχουν. Καθώς ο κόσμος αντιμετωπίζει την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής, η ιδέα των πράσινων λιμανιών χρησιμεύει ως φάρος, καθοδηγώντας τη βιομηχανία προς ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό μέλλον. Μέσω καινοτόμων τεχνολογιών, δέσμευσης της κοινότητας και δέσμευσης για συμμόρφωση με τους κανονισμούς, οι Green Ports ηγούνται της αλλαγής για να ξεκλειδωθεί ένα καθαρότερο, πιο πράσινο, πιο βιώσιμο θαλάσσιο τοπίο. Οι παρεμβάσεις της PROMPT στοχεύουν στη μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης στην ΕΕ και τη γειτονική Μεσόγειο Θάλασσα για την προστασία της τοπικής βιοποικιλότητας και των οικοτόπων [32].

1.2.3 Διαχείριση πράσινου λιμανιού

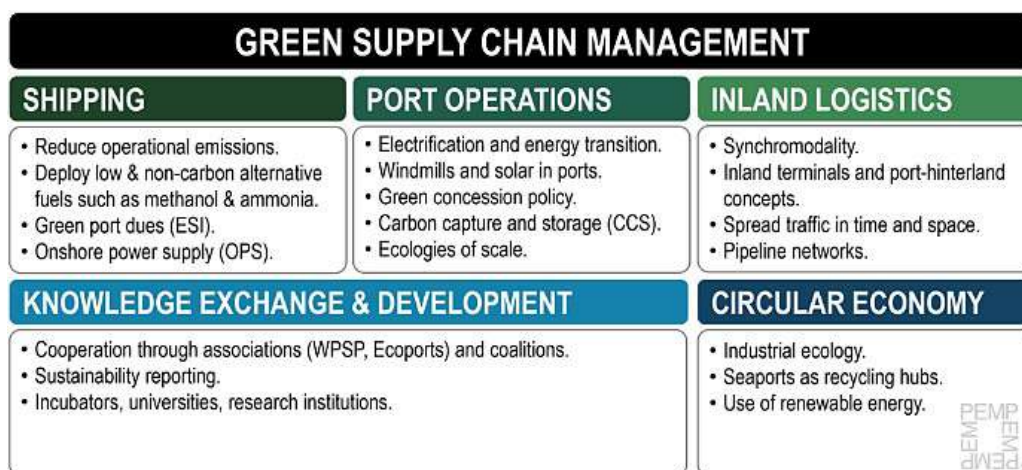
Η διαχείριση των πράσινων λιμένων αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία στην επιχειρηματική πρακτική, καθώς η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για την προστασία του πράσινου περιβάλλοντος αντικατοπτρίζεται σε πολυάριθμες πράσινες πρωτοβουλίες σε μεμονωμένα λιμάνια και σε συντονισμένες ενέργειες της ευρύτερης λιμενικής κοινότητας. Επίσης, οι λιμενικές αρχές δίνουν ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή στις επιπτώσεις της ηχορύπανσης και της διάθεσης απορριμμάτων, καθώς αποτελούν μέρος της ρύπανσης του εξωτερικού αέρα. Οι επιπτώσεις στην υγεία είναι πιο εμφανείς για άτομα που εργάζονται ή ζουν κοντά σε λιμάνια. Η μείωση της ρύπανσης δεν είναι μόνο περιβαλλοντικός στόχος για τις λιμενικές αρχές, αλλά γίνεται επίσης σαφής αποστολή εταιρικής κοινωνικής ευθύνης (ΕΚΕ) και διαχείρισης των ενδιαφερομένων στις λιμενικές περιοχές [33].

¹ **HNS:** Οι «Επικίνδυνες και Επιβλαβείς Ουσίες» (HNS) είναι μια κατηγορία χημικών και άλλων υλικών που μεταφέρονται κυρίως δια θαλάσσης και τα οποία είναι: δηλητηριώδης, Εύφλεκτο ή εκρηκτικό, Προκαλεί διάβρωση, Επιβλαβές για το θαλάσσιο περιβάλλον και μπορεί να προκαλέσει σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον.

Παραδείγματα HNS περιλαμβάνουν: πετρέλαιο, χημικά, λιπάσματα, βιομηχανικούς διαλύτες, αέρια υπό πίεση κ.λπ.

Προφανώς, οποιοδήποτε έργο λιμενικής υποδομής θα περιορίζεται από περιβαλλοντικούς λόγους και τις αντιδράσεις του κοινού που μπορεί να προκαλέσουν. Ως αποτέλεσμα, τα λιμάνια δέχονται αυξανόμενη δημόσια πίεση για να επιδείξουν την κοινωνική τους ευθύνη. Τα λιμάνια πρέπει να επιδεικνύουν όλο και πιο υψηλά επίπεδα περιβαλλοντικής απόδοσης για να κερδίσουν την κοινοτική υποστήριξη. Τα λιμάνια πρέπει να συμμορφώνονται με ολοένα και πιο αυστηρές κανονιστικές και κοινωνικές απαιτήσεις στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος, γεγονός που επηρεάζει όχι μόνο το αναπτυξιακό αποτύπωμα του λιμανιού αλλά και τον λεγόμενο περιβαλλοντικό χώρο. Αυτό αποτελεί πρόκληση για τα λιμάνια να ελαχιστοποιήσουν τις εκπομπές από υφιστάμενες και μελλοντικές δραστηριότητες στην περιοχή του λιμένα και στην ευρύτερη περιοχή logistics. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες διαδραματίζουν επίσης ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο στην προσέλκυση επιχειρηματικών εταίρων και δυνητικών επενδυτών. Είναι πιθανό να ευνοηθούν λιμάνια με καλό περιβαλλοντικό ιστορικό και υψηλά επίπεδα κοινοτικής υποστήριξης [33].

Ως εκ τούτου, η διακυβέρνηση του πράσινου λιμένα θεωρείται βασική στρατηγική πρόκληση για τις λιμενικές αρχές και τη λιμενική κοινότητα στο σύνολό της. Εάν τα λιμάνια στερούνται κατάλληλης περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, εργαλείων και πολιτικών, θα υπάρξει σαφής ανισορροπία μεταξύ των οφελών και του κόστους των λιμανιών για τις τοπικές κοινωνίες και οι κίνδυνοι θα αυξηθούν. Αυτή η ανισορροπία μπορεί να γίνει πρόσφορο έδαφος για μεγάλες κοινωνικοοικονομικές συγκρούσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη και τη λειτουργία των λιμανιών [33].



Εικόνα 1.4 Πεδίο δράσης διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας Port Green, Πηγή: Port Economics, Management and Policy

1.2.4 Ευρωπαϊκά λιμάνια: κόμβοι πράσινης ενέργειας του μέλλοντος

Το 2022 είναι ένα κρίσιμο έτος για την ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης. Η ενεργειακή κρίση είχε πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα στην τιμή της καθαρής και ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αποδεικνύεται από το μερίδιο ρεκόρ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ.

Μια νέα μελέτη λέει ότι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια θα αντιπροσωπεύουν το 22% της ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ για πρώτη φορά μέχρι το 2022, ξεπερνώντας το φυσικό αέριο (20%) και τον άνθρακα (16%).

Αν και η ΕΕ βρίσκεται στο σωστό δρόμο για την επίτευξη των στόχων της Ευρώπης για την απεξάρτηση από τις ανθρακούχες εκπομπές και την ενεργειακή ανεξαρτησία, η ηλεκτροκίνηση πρέπει να επιταχυνθεί. Η επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών μέχρι τα μέσα του αιώνα θα απαιτήσει την ηλεκτροδότηση όλων των οικονομικών τομέων, ειδικά εκείνων που παραδοσιακά βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα. Οι μεταφορές είναι ένα από αυτά, που αντιπροσωπεύουν το ένα τέταρτο των εκπομπών της ΕΕ [34].

Τα λιμάνια μπορούν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην ηλεκτροδότηση των ευρωπαϊκών πλοίων, είτε μεταφέρονται οδικώς, θαλάσσια ή αεροπορικά. Τα λιμάνια βρίσκονται σε στρατηγική τοποθεσία κοντά σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως υπεράκτια αιολική και ηλιακή ενέργεια, και κοντά σε υπάρχουσες υποδομές αποθήκευσης και διανομής ενέργειας, καθιστώντας τα ιδανικές τοποθεσίες για κόμβους πράσινης ενέργειας.



Εικόνα 1.5 Τα λιμάνια θα γίνουν ενεργειακοί κόμβοι έως το 2025, Πηγή: Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ

Όπως δείχνει η έκθεση της Eurelectric² Ports: Europe 's Green Gateway, αυτοί οι μελλοντικοί κόμβοι συχνά λειτουργούν ως γέφυρες μεταξύ διαφορετικών βιομηχανικών τομέων. Αυτό δημιουργεί τεράστιες δυνατότητες για την ηλεκτροδότηση των ναυτιλιακών και λιμενικών δραστηριοτήτων, καθώς και για τις θαλάσσιες, οδικές, σιδηροδρομικές και ακόμη και αεροπορικές μεταφορές.

Ο Kristian Ruby, Γενικός Γραμματέας της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ηλεκτρισμού, είχε ζητήσει το κλειδί για την απελευθέρωση του αναξιοποίητου δυναμικού των λιμένων σε μια διάσκεψη υψηλού επιπέδου για την επιτάχυνση της ηλεκτροκίνησης των μεταφορών στην Ευρώπη, που διοργάνωσε η σουηδική Προεδρία [34].

1.2.5 Ηλεκτρική ενέργεια και πράσινη ενέργεια στα λιμάνια

Υπάρχουν πολλές λύσεις για τη μετατροπή των λιμένων σε πύλες πράσινης ενέργειας. Αυτό που έχουν κοινό είναι η καθαρή και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Πρώτον, πολλές δραστηριότητες που σχετίζονται με τα λιμάνια θα μπορούσαν να απελευθερωθούν μέσω της άμεσης ηλεκτροδότησης. Αυτά περιλαμβάνουν ηλεκτρικούς γερανούς και οχήματα υλικοτεχνικής υποστήριξης για ανεφοδιασμό και μεταφορά φορτίου και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία γραφείων και κτιρίων, ψυκτικών εγκαταστάσεων και πλοίων εξυπηρέτησης, όπως πιλοτικά και ρυμουλκά [34].

Η ευρωπαϊκή βιομηχανία είναι σημαντικός παράγοντας σε αυτή τη δραστηριότητα. Τα λιμάνια μπορούν να λειτουργήσουν ως κόμβοι για μεγάλες ποσότητες ανανεώσιμης ενέργειας, διευκολύνοντας την ηλεκτροδότηση των βιομηχανικών διεργασιών. Αυτό με τη σειρά του θα αυξήσει τη βιομηχανική ενεργειακή απόδοση και ενδεχομένως θα μειώσει στο μισό τη χρήση ορυκτών καυσίμων, θα βελτιώσει τα τοπικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και θα παρέχει υποστήριξη σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και άλλες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας [34].

Τα ελλιμενισμένα πλοία προσφέρουν μια άλλη δυνατότητα για ηλεκτροκίνηση χωρίς άνθρακα, το λεγόμενο κρύο σιδέρωμα. Αυτό σημαίνει αντικατάσταση των κινητήρων ντίζελ και των γεννητριών που χρησιμοποιούνται για δραστηριότητες στο πλοίο με καθαρή ενέργεια από την ακτή για τη μείωση της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τη μείωση των εκπομπών

² **Eurelectric:** Πρόκειται για μια πανευρωπαϊκή ένωση που εκπροσωπεί τα κοινά συμφέροντα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1989 και έχει την έδρα της στις Βρυξέλλες, στο Βέλγιο. Η αποστολή της Eurelectric είναι να ηγηθεί της μετάβασης της Ευρώπης στην καθαρή ενέργεια και να προωθήσει την απεξάρτηση από άνθρακα, την ηλεκτροδότηση και την ανάπτυξη βιώσιμων αγορών ενέργειας.

και τη βελτίωση του θορύβου. Το κρύο σιδέρωμα είναι ήδη πραγματικότητα σε λιμάνια όπως η Κοπεγχάγη, η Στοκχόλμη, το Ελσίνκι και το Aarhus. Μια κοινή πρωτοβουλία μεταξύ αυτών των σκανδιναβικών λιμένων δείχνει πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πράσινη ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά για την αποτελεσματική τροφοδοσία των ελλιμενισμένων πλοίων [34].

Όταν τα λιμάνια βρίσκονται κοντά σε υπεράκτια αιολικά πάρκα, μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως φυσικοί αγωγοί για την ενσωμάτωση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν η χωρητικότητα αιολικής ενέργειας υπερβαίνει τη μεταφορική ικανότητα του δικτύου διανομής, τα λιμάνια μπορούν να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση του δικτύου παρέχοντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε κοντινά βιομηχανικά πάρκα ή με οδικές, ποτάμιες και θαλάσσιες μεταφορές ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή απόσταση. Αυτό όχι μόνο διευκολύνει την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά παρέχει επίσης μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική αποθήκευσης, αποφεύγοντας τους περιορισμούς [34].

Αυτές οι συνέργειες μπορούν να επιτευχθούν μόνο με τη σωστή υποστήριξη υποδομών. Ως εκ τούτου, η αύξηση των επενδύσεων σε δίκτυα διανομής και αποθήκευσης είναι απαραίτητη για την τόνωση της μεγάλης κλίμακας αναβαθμίσεις της χωρητικότητας που απαιτούνται για την επίτευξη της ολοκλήρωσης των ενεργειακών συστημάτων [34].

1.2.6 Όταν δεν υπάρχει άμεση τροφοδοσία της ηλεκτρικής ενέργειας

Η άμεση ηλεκτροδότηση είναι η καθαρότερη και πιο ενεργειακά αποδοτική μορφή μεταφοράς που διατίθεται σήμερα. Ωστόσο, δεν μπορούν να ηλεκτροδοτηθούν άμεσα όλες οι βιομηχανίες. Το πράσινο υδρογόνο είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση, τόσο ως φορέας ενέργειας όσο και ως πρώτη ύλη για την απανθρακοποίηση τομέων που δύσκολα υποχωρούν [34].

Ορισμένα λιμάνια είναι φυσικοί κόμβοι για υπεράκτια αιολική ενέργεια και έτσι θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν την άφθονη ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια τους για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης. Το υδρογόνο, ως πρώτη ύλη, θα μπορούσε να παρέχει ένα καύσιμο χωρίς άνθρακα για να αντικαταστήσει τα ιδιαίτερα ρυπογόνα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο που χρησιμοποιούνται σε τομείς που είναι δύσκολο να απανθρακοποιηθούν, όπως η αεροπορία και η διηπειρωτική ναυτιλία. Επομένως, είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι το υδρογόνο θα μπορούσε να γίνει οικονομικά ανταγωνιστικό στα λιμάνια νωρίτερα από ό,τι αλλού. [34].

1.2.7 Οι Πράσινες Πύλες της Ευρώπης

Η απελευθέρωση των δυνατοτήτων των λιμανιών ως μελλοντικών ενεργειακών κόμβων απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες και συνεργασία μεταξύ του ιδιωτικού τομέα, των ερευνητικών ιδρυμάτων και των κρατικών φορέων.

Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα πρέπει να απλοποιήσουν τη ρυθμιστική διαδικασία και να παρέχουν κίνητρα για την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε λιμάνια και την ενσωμάτωση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Αυτά τα μέτρα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν χρηματοδότηση για έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και παροχή φορολογικών ελαφρύνσεων ή άλλων οικονομικών κινήτρων για εταιρείες που επενδύουν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα λιμάνια.

Το σχέδιο της ΕΕ να καταργήσει σταδιακά τους κινητήρες εσωτερικής καύσης έως το 2035 και η πρότασή της να επεκτείνει το σύστημα εμπορίας εκπομπών στη ναυτιλία και τις αερομεταφορές υποδηλώνουν θετική πρόοδο προς αυτή την κατεύθυνση. Τα σαφή κίνητρα είναι το κλειδί για την αύξηση των ιδιωτικών επενδύσεων. Οι επενδυτές θα πρέπει να δώσουν προτεραιότητα σε ένα μείγμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υποδομών και λύσεων βιώσιμων μεταφορών προσαρμοσμένων στις ειδικές και προσωρινές ανάγκες κάθε λιμένα. Για να επιτευχθεί μια ολοκληρωμένη ενδιάμεση προσέγγιση, απαιτείται περαιτέρω έρευνα (συμπεριλαμβανομένων ομάδων εμπειρογνομόνων και μελετών σκοπιμότητας) για τη διερεύνηση των πολυάριθμων τεχνολογικών επιλογών και τον σχεδιασμό της πιο αποτελεσματικής μακροπρόθεσμης στρατηγικής απαλλαγής από τον άνθρακα για κάθε σενάριο.

1.3 Ευρωπαϊκή και διεθνής νομοθεσία: κανονισμοί για την ηλεκτροδότηση πλοίων

Η ΕΕ έχει θεσπίσει ένα ολοκληρωμένο νομικό πλαίσιο για την προώθηση της ηλεκτροδότησης των πλοίων ελλιμενισμού μέσω κρύου σιδερώματος, με στόχο τη μείωση των ρυπογόνων εκπομπών και την αύξηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των λιμένων.

1.3.1 Κανονισμός (ΕΕ) 2023/1805 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου

Σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) 2023/1805 της 13ης Σεπτεμβρίου 2023 για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών καυσίμων και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στις θαλάσσιες

μεταφορές και για την τροποποίηση της Οδηγίας 2009/16/EK. Ο Κανονισμός περιέχει τις ακόλουθες διατάξεις για την ηλεκτροδότηση λιμένων και πλοίων:

- Ο παρών κανονισμός είναι ευθυγραμμισμένος με τον κανονισμό (ΕΕ) 2023/1804 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (6), την Οδηγία (ΕΕ) 2023/959 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (7), την Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, τον Κανονισμό (ΕΕ) 29/9 και την Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (28/91 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου) 98/70/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την κατάργηση της οδηγίας (ΕΕ) 2015/652 (11) και της οδηγίας (αναδιατύπωση) του Συμβουλίου για την αναδιάρθρωση του φορολογικού πλαισίου για τα ενεργειακά προϊόντα και την ηλεκτρική ενέργεια στην Ένωση, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια δικαίου και το απαραίτητο επίπεδο επενδύσεων. Αυτή η ευθυγράμμιση θα διασφαλίσει ότι ο ναυτιλιακός κλάδος έχει ένα συνεπές νομοθετικό πλαίσιο, συμβάλλοντας έτσι στη σημαντική αύξηση της παραγωγής βιώσιμων εναλλακτικών καυσίμων, διασφαλίζοντας την ανάπτυξη της απαραίτητης υποδομής και παρέχοντας κίνητρα για τη χρήση αυτών των καυσίμων με αυξανόμενο αριθμό πλοίων [35].
- Η χρήση συστημάτων HEAT μπορεί να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις θαλάσσιες μεταφορές. Τα συστήματα HEAT αντιπροσωπεύουν έναν αυξανόμενο εφοδιασμό καθαρής ενέργειας για τα πλοία, δεδομένου του αυξανόμενου μεριδίου της ανανεώσιμης ενέργειας και των μη ορυκτών καυσίμων στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ. Αν και η Οδηγία 2014/94/ΕΕ καλύπτει μόνο την παροχή σημείων σύνδεσης HEAT, η ζήτηση για αυτήν την τεχνολογία και η ανάπτυξή της παραμένουν περιορισμένες. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να αναπτυχθούν ειδικοί κανόνες για να καταστεί υποχρεωτική η χρήση συστημάτων HEAT για πλοία εμπορευματοκιβωτίων και επιβατηγών πλοίων, καθώς αυτά τα πλοία είναι ο τύπος πλοίου με τις υψηλότερες εκπομπές ενός πλοίου ενώ βρίσκονται σε ελλιμενισμό, σύμφωνα με δεδομένα που συλλέχθηκαν το 2018 βάσει του κανονισμού (ΕΕ) 2015/757 [35].
- Η FuelEU θα πρέπει επίσης να επιβάλλει πρόστιμο για κάθε μη συμμορφούμενο αγκυροβόλιο λιμένα. Το πρόστιμο του FuelEU είναι ανάλογο με το κόστος χρήσης αρκετής ηλεκτρικής ενέργειας για την αποφυγή χρήσης πιο ρυπογόνων πηγών ενέργειας και ισούται με ένα σταθερό ποσό εκφρασμένο σε ευρώ πολλαπλασιαζόμενο

με τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του εντοπισθέντος αγκυροβολημένου σκάφους, πολλαπλασιαζόμενο επί τον συνολικό αριθμό ωρών που το σκάφος δεν συμμορφωνόταν με τις απαιτήσεις ΙΤΑ (στρογγυλοποιημένο στην πλησιέστερη ολόκληρη ώρα). Ελλείψει ακριβών στοιχείων σχετικά με το κόστος παροχής ΙΤΑ στην ΕΕ, το ποσό του προστίμου θα πρέπει να βασίζεται στη μέση τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για μη οικιακούς καταναλωτές στην ΕΕ πολλαπλασιαζόμενη επί δύο για να ληφθούν υπόψη άλλα κόστη που σχετίζονται με την παροχή της υπηρεσίας, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, του κόστους σύνδεσης και των στοιχείων απόσβεσης [35].

- Οι λιμένες υπό τη δικαιοδοσία των κρατών μελών είναι υποχρεωμένοι να χρησιμοποιούν τεχνολογίες ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή σε ακτή (SSE) ή μηδενικές εκπομπές.
- Μετά την 1η Ιανουαρίου 2030 έως τις 31 Δεκεμβρίου 2034, τα κράτη μέλη μπορούν να αποφασίσουν, μετά από διαβούλευση με τους σχετικούς ενδιαφερομένους, συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών αρχών, ότι πλοία που βρίσκονται σε λιμάνια υπό τη δικαιοδοσία τους και δεν καλύπτονται από το άρθρο 9 του Κανονισμού (ΕΕ) 2023/1804, ή ορισμένα μέρη τέτοιων λιμένων, μπορούν να συνδέονται με ηλεκτρική ενέργεια και να χρησιμοποιούν HTAX. [35].

Σύμφωνα με τον κανονισμό, ο παρακάτω πίνακας παραθέτει τους τύπους τεχνολογιών που χαρακτηρίζονται ως τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών σύμφωνα με το άρθρο 3, σημείο 7, και τις γενικές απαιτήσεις που απαιτούνται για τη λειτουργία τους.

Πίνακας 1.1 Γενικές απαιτήσεις για τεχνολογία μηδενικών εκπομπών

A/ A	Τύπος τεχνολογίας	Γενικές απαιτήσεις
1	Κυψέλες Καυσίμου	Ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από κυψέλες καυσίμου που είναι εγκατεστημένες στο πλοίο ή σύστημα που διασφαλίζει ότι οι εκπομπές που

		αναφέρονται στο άρθρο 3 παράγραφος 7 δεν εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά την παροχή ενέργειας
2	Ενσωματωμένη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας	Ισχύς που παρέχεται από προηγούμενως φορτισμένο ενσωματωμένο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας: ⤴ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία στη θάλασσα, ⤴ Φόρτιση μπαταριών από ξηρά, ⤴ Ανταλλακτική μπαταρία.
3	Αξιοποίηση αιολικής και ηλιακής ενέργειας για την ενσωματωμένη παραγωγή ενέργειας	Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από τις ενσωματωμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί είτε να τροφοδοτηθεί απευθείας στο δίκτυο του πλοίου είτε να φορτιστεί μέσω της ενδιάμεσης συσκευής αποθήκευσης ενέργειας του πλοίου.

- Ο κανονισμός (ΕΕ) 2023/1804 επιβάλλει στους λιμένες υποχρέωση παροχής ενέργειας από ακτή σε ακτή (SSE), ενώ ο Κανονισμός επιβάλλει επίσης αντίστοιχη υποχρέωση στα πλοία να συνδέονται με την υποδομή SSE ενώ βρίσκονται ελλιμενισμένα για να διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα αυτής της υποδομής και να αποφεύγουν τον κίνδυνο μη διαθεσιμότητας περιουσιακών στοιχείων [35].
- Η χρήση συστημάτων HEAT μπορεί να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις θαλάσσιες μεταφορές. Τα συστήματα HEAT αντιπροσωπεύουν έναν αυξανόμενο εφοδιασμό καθαρής ενέργειας για τα πλοία, δεδομένου του αυξανόμενου μεριδίου της ανανεώσιμης ενέργειας και των μη ορυκτών καυσίμων στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ. Αν και η Οδηγία 2014/94/ΕΕ καλύπτει μόνο την παροχή σημείων σύνδεσης HEAT, η ζήτηση για αυτήν την τεχνολογία και η ανάπτυξή της παραμένουν περιορισμένες. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να αναπτυχθούν ειδικοί κανόνες για να καταστεί υποχρεωτική η χρήση συστημάτων HEAT για πλοία εμπορευματοκιβωτίων και επιβατηγών πλοίων, καθώς αυτά τα πλοία είναι ο τύπος πλοίου με τις υψηλότερες εκπομπές ενός πλοίου ενώ

βρίσκονται σε ελλειμενισμό, σύμφωνα με δεδομένα που συλλέχθηκαν το 2018 βάσει του κανονισμού (ΕΕ) 2015/757 [35].

- «Τροφοδοσία ρεύματος από την ξηρά» (ΗΤΑΞ) σημαίνει σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε αγκυροβολημένο σκάφος, συμπεριλαμβανομένων εγκαταστάσεων στην πλευρά του πλοίου και στο λιμάνι, χαμηλής ή υψηλής τάσης, AC ή DC, απευθείας στον κεντρικό πίνακα διανομής του πλοίου, για παροχή φορτίων καταλυμάτων, για παροχή υπηρεσιών στο φορτίο του πλοίου ή για φόρτιση επαναφορτιζόμενων μπαταριών [35].

1.3.2 Κανονισμός Υποδομής Εναλλακτικών Καυσίμων

Ένας άλλος σημαντικός κανονισμός που εγκρίθηκε από την ΕΕ είναι ο κανονισμός για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFIR). Ο κανονισμός αυτός αποσκοπεί στη διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της προσβασιμότητας δικτύων υποδομής εναλλακτικών καυσίμων σε ολόκληρη την ΕΕ. Όλοι οι χρήστες οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων (συμπεριλαμβανομένων πλοίων και αεροσκαφών) θα πρέπει να μπορούν να ταξιδεύουν άνετα εντός της ΕΕ με τη βοήθεια σημαντικών υποδομών όπως αυτοκινητόδρομοι, λιμάνια και αεροδρόμια [36].



Εικόνα 1.6 AFIR: Alternative Fuel Infrastructure Regulations, Πηγή: <https://cero2050.es/en/affir-alternative-fuels-infrastructure-regulation/>

Η πρόταση αποτελεί μέρος μιας σειράς αλληλένδετων πρωτοβουλιών πολιτικής στο πλαίσιο του σχεδίου Fit for 55. Αυτές οι πολιτικές πρωτοβουλίες αντικατοπτρίζουν τις ενέργειες που απαιτούνται σε ολόκληρη την οικονομία για να ανταποκριθούν στις προσπάθειες του Ηνωμένου Βασιλείου να επιτύχει τους υψηλότερους κλιματικούς στόχους για το 2030. Η πρωτοβουλία έχει επίσης ισχυρές συνέργειες με τις ρυθμιστικές προτάσεις του

Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στις θαλάσσιες μεταφορές [36].

Καθώς συνεχίζουν να αναπτύσσονται και να χρησιμοποιούνται τα καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα και οι ανανεώσιμες πηγές, πρέπει να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο και γεωγραφικά δίκαιο δίκτυο υποδομών φόρτισης και ανεφοδιασμού για να καταστεί δυνατή η ευρεία υιοθέτηση οχημάτων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών σε όλους τους τρόπους μεταφοράς [36].

Τρία βασικά σημεία σχετικά με τον κανονισμό για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFIR):

1ος) Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επιδιώκει να επεκτείνει την υποδομή υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) και τα χερσαία συστήματα τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας (OPS) σε μεγάλα λιμάνια της ΕΕ. Για το σκοπό αυτό, η Επιτροπή αναθεώρησε την οδηγία για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων, η οποία επί του παρόντος μεταφράζεται σε κανονισμούς [36].

2ος) Η αναθεώρηση θα είναι δεσμευτική για τα κράτη μέλη της Ε.Ε. Γίνονται επαρκείς επενδύσεις στον εφοδιασμό καυσίμων για να διασφαλιστεί ότι το LNG θα είναι διαθέσιμο έως το 2025, ενώ το χερσαίο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι πλήρως λειτουργικό έως το 2030 [36].

3ος) Ο κανονισμός αποσκοπεί στη διευκόλυνση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις χερσαίας ηλεκτροδότησης που ορίζονται στον κανονισμό της ΕΕ για τα ναυτιλιακά καύσιμα, συμβάλλοντας στην απαλλαγή από τον άνθρακα της ναυτιλιακής βιομηχανίας [36].

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τον κανονισμό AFIR (Υποδομή εναλλακτικών καυσίμων) στις 20 Δεκεμβρίου 2023, το πλήρες κείμενο του οποίου επισυνάπτεται σε μορφή PDF ως **Παράρτημα 1**. Τα κύρια σημεία είναι τα ακόλουθα:

Ελάχιστες υποχρεώσεις παροχής ρεύματος στην ξηρά για επιβατηγά πλοία ανοικτής θάλασσας και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Ο κανονισμός για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFIR) επιβάλλει την υποχρέωση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά σε ορισμένους τύπους πλοίων σε επιλεγμένους λιμένες, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται ορισμένα ελάχιστα κριτήρια [36]:

Αυτή η υποχρέωση ισχύει μόνο για μεγάλα λιμάνια, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις:

1ος) Τύποι σκαφών: πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, επιβατηγό πλοίο ro-ro, επιβατηγό πλοίο υψηλής ταχύτητας, κρουαζιερόπλοιο.

2ος) Μέσος αριθμός κλήσεων λιμένων ανά έτος τα τελευταία τρία χρόνια:

- Πλοία εμπορευματοκιβωτίων: περισσότερες από 100 κλήσεις ετησίως.
- Επιβατηγά πλοία RoRo: >40.
- Κρουαζιερόπλοια: >25.
- Σκάφη με ολική χωρητικότητα (GT) άνω των 5000 GT.
- Δεν περιλαμβάνονται πλοία που είναι αγκυροβολημένα εκτός της περιοχής του λιμανιού.

Εάν πληρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις, τότε τα λιμάνια θα πρέπει να εγκαταστήσουν αρκετά χερσαία συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης ώστε να καλύπτουν τουλάχιστον το 90% της (εισερχόμενης) ζήτησης έως το 2030 [37].

1.3.3 Στρατηγική IMO 2023 για τη μείωση των ρύπων αερίων του θερμοκηπίου από τα σκάφη



Εικόνα 1.7 IMO – Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, Πηγή: <https://unric.org/el/imo>

Ο IMO συνεχίζει να υποστηρίζει τον Στόχο 13 της Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών, να αναλαμβάνει επείγουσα δράση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της, και να συμβάλλει στην παγκόσμια απάντηση στην κλιματική αλλαγή. Το 2018, ο IMO υιοθέτησε μια αρχική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, θέτοντας ένα όραμα και επιβεβαιώνοντας τη δέσμευση του IMO για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία και τη σταδιακή κατάργησή τους το συντομότερο δυνατό [38].

Τον Οκτώβριο του 2018 (MEPC 73), ο IMO ενέκρινε ένα Σχέδιο Παρακολούθησης που προοριζόταν να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο προγραμματισμού για την επίτευξη των χρονοδιαγραμμάτων που καθορίζονται στην αρχική Στρατηγική του IMO έως το 2023. Επιπλέον, η αρχική στρατηγική προέβλεπε την υιοθέτηση μιας αναθεωρημένης στρατηγικής έως το 2023. Τον Ιούλιο του 2023 (MEPC 80 εγκρίθηκε το Stramissions 80 για το IMO του IMO). από τα πλοία έως το 2023, με βάση το συμφωνημένο σχέδιο δράσης παρακολούθησης. Μια λεπτομερής ιστορική επισκόπηση του έργου του IMO μπορείτε να βρείτε εδώ. Το πρώτο ψήφισμα για τις εκπομπές CO₂ εγκρίθηκε το 1997 (ψήφισμα 8) [38].

Τον Ιούλιο του 2023 (MEPC 80), ο IMO υιοθέτησε τη Στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία έως το 2023, με βάση το συμφωνημένο σχέδιο δράσης παρακολούθησης. Κάντε κλικ εδώ για να μάθετε περισσότερα για την ιστορία του έργου του IMO. Το πρώτο ψήφισμα για τις εκπομπές CO₂ εγκρίθηκε το 1997 (ψήφισμα 8) [38].

Η στρατηγική του IMO 2023 για τα αέρια του θερμοκηπίου παρέχει ένα πλαίσιο για τα κράτη μέλη να αναπτύξουν ένα μελλοντικό όραμα για τη διεθνή ναυτιλία, επίπεδα στόχων για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και κατευθυντήριες αρχές. Η στρατηγική καλύπτει τα υποψήφια μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα μέτρα παρακολούθησης, τα πιθανά χρονοδιαγράμματα και τον αντίκτυπό τους στις χώρες. Η στρατηγική εντοπίζει επίσης εμπόδια και μέτρα στήριξης, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης ικανοτήτων, της τεχνικής συνεργασίας και της έρευνας και ανάπτυξης [38].

Η στρατηγική του IMO για τα αέρια θερμοκηπίου 2023 προβλέπει, ειδικότερα, μέση μείωση της έντασης άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030 (δηλαδή μείωση των εκπομπών CO₂ ανά μεταφορική δραστηριότητα). Η στρατηγική IMO GHG 2023 περιλαμβάνει επίσης έναν νέο φιλόδοξο στόχο ότι οι τεχνολογίες και/ή η ενέργεια που σχετίζονται με τον στόχο e-toH θα αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 5%, με στόχο το 10% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη διεθνή ναυτιλία έως το 2030 [38].

Η στρατηγική αναφέρει συγκεκριμένα «*συνεχιζόμενες προσπάθειες για τη σταδιακή κατάργηση αυτών των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με το όραμα και για την επίτευξη του μακροπρόθεσμου στόχου θερμοκρασίας που ορίζεται στο άρθρο 2 της Συμφωνίας του Παρισιού*».[38].

☛ Η διεθνής σύμβαση MARPOL

Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) είναι η κύρια διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τα πλοία ως αποτέλεσμα των εργασιών τους ή των θαλάσσιων ατυχημάτων [39].



Εικόνα 1.8 MARPOL: Προστάτης - σύμβαση του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, Πηγή: ISALOS.net

Η Σύμβαση εγκρίθηκε για πρώτη φορά από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) το 1973 και περιέχει κανονισμούς που στοχεύουν στην πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης από τα πλοία. Επί του παρόντος υπάρχουν έξι παραρτήματα της Σύμβασης:

- ☑ Κανονισμοί για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πετρέλαιο.
- ☑ Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες χύμα.
- ☑ Μείωση της ρύπανσης που προκαλείται από τοξικές ουσίες σε συσκευασίες και μεταφορές.
- ☑ Μείωση της ρύπανσης από οικιακά λύματα από πλοία.
- ☑ Μείωση της Ρύπανσης από Απορρίμματα Πλοίων.
- ☑ Μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία [39].

Οι κανόνες που ορίζονται στη MARPOL ισχύουν για όλα τα πλοία που φέρουν τη σημαία ενός Κράτους Συμβαλλόμενου στη Σύμβαση, όπου κι αν πλέουν. Είναι σημαντικό για τη βιωσιμότητα των ωκεανών και την προστασία της βιοποικιλότητας να συμμορφώνονται οι ναυτιλιακές εταιρείες και τα πλοία με τη MARPOL. Η MARPOL είναι επομένως απαραίτητη για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα της παγκόσμιας ναυτιλίας. [39].

☛ Η Διεθνής σύμβαση SOLAS

Η σύμβαση, γνωστή διεθνώς ως Σύμβαση για την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα, συντάχθηκε το 1974 και τέθηκε σε ισχύ το 1980. Η SOLAS καλύπτει την ασφάλεια στη θάλασσα και περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα κανόνων. Συμπληρώνει τη MARPOL καθώς η ασφάλεια της ναυσιπλοΐας συνδέεται στενά με την πρόληψη και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης [40].

Η SOLAS εφαρμόζεται σε σκάφη που πραγματοποιούν διεπαιρωτικά ταξίδια, που ταξιδεύουν από λιμάνια κρατών μελών σε λιμάνια χώρας που δεν έχει υπογράψει ή επικυρώσει τη σύμβαση ή το αντίστροφο [40].

☛ Διεθνής Σύμβαση STCW

Το STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) τέθηκε σε ισχύ το 1984 και αναθεωρήθηκε το 2007.

- Οι ημερομηνίες είναι το 1995 (όταν ενσωματώθηκε ο σχετικός κωδικός) και το 2010 (γνωστό ως κωδικός της Μανίλα).
- Απευθύνεται κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες που βρίσκονται στο στάδιο κατασκευής στόλου.
- Εξαιρούνται οι ναυτικοί που εργάζονται σε πολεμικά πλοία, αλιευτικά και γιοτ. Η δικαιοδοσία παραμένει στο κράτος της σημαίας.
- Επιπλέον, τα παράκτια κράτη έχουν επίσης το δικαίωμα να ελέγχουν τα πιστοποιητικά ικανότητας πληρώματος ξένων πλοίων.
- Οι τροποποιήσεις του 1991 αφορούσαν την εκπαίδευση και την ικανότητα των χειριστών ασυρμάτου GMDSS.

Η Σύμβαση STCW, 1978, έχει αναθεωρηθεί και έχει αναθεωρηθεί η δομή (Σύμβαση STCW, 1995) έτσι ώστε να μπορεί να θεωρηθεί σχετικά νέα Σύμβαση.

Η Σύμβαση στοχεύει στην προώθηση της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας στη θάλασσα με σύγχρονο τρόπο, προστατεύοντας παράλληλα το θαλάσσιο περιβάλλον. Το 2001, η αναθεωρημένη Σύμβαση έκανε τις ακόλουθες δύο αλλαγές:

1. Οι Τροποποιήσεις του 1997 τέθηκαν σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 1999 και αφορούν τις απαιτήσεις εκπαίδευσης για τους πλοιάρχους, το πλήρωμα και όλο το επαγγελματικό προσωπικό στα πλοία E/G και E/G-O/G (RoRo).
2. Η Τροποποίηση του 1998 τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2003 και αφορά τη φόρτωση, εκφόρτωση και στοιβασία φορτίου στα πλοία.

☛ Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2024-2028 (ΔΕΔΔΗΕ)

Σε εθνικό επίπεδο, το σχέδιο ανάπτυξης του δικτύου για την περίοδο 2024-2028 εκπονήθηκε από τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Το σχέδιο καθορίζει τις ενεργειακές ανάγκες του λιμανιού.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2014/94/ΕΚ της ΕΕ (ΦΕΚ 222/30-11-2016, Ν.4439), η οποία έχει ενσωματωθεί στην ελληνική νομοθεσία, προβλέπεται η χρήση εναλλακτικών καυσίμων επί των πλοίων, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως η ηλεκτροδότηση των πλοίων με τη μέθοδο του αντίκτυπου στον ελλιμενισμό τους. Περιβάλλον [41].

Επιπλέον, το σχέδιο οδηγίας για την «Προσαρμογή στο 55%» που εκδόθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 14 Ιουλίου 2021 περιλαμβάνει επίσης οδηγίες που σχετίζονται με τη ναυτιλία. Τα ακόλουθα είναι ενδεικτικά περιεχόμενα:

- Οδηγία για τα εναλλακτικά καύσιμα: Σύμφωνα με το σχέδιο οδηγίας για την εφαρμογή εναλλακτικών καυσίμων (επίσης ηλεκτρικής ενέργειας), τουλάχιστον το 90% των επιβατηγών πλοίων, των επιβατηγών/οχηματαγωγών, των κρουαζιερόπλοιων και των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων πρέπει να έχουν υποχρεωτική ηλεκτρική διασύνδεση πλοίων.
- Οδηγία για το σύστημα εμπορίας εκπομπών από τη ναυτιλία (ETS): Σύμφωνα με την Οδηγία ETS, το σύστημα επεκτείνεται στον τομέα της ναυτιλίας και θα τεθεί σε ισχύ το 2023.
- Οδηγία Φορολογίας Ενέργειας: Το σχετικό σχέδιο Οδηγίας Φορολογίας Ενέργειας (που περιλαμβάνει σημαντικές αλλαγές σε σύγκριση με την τρέχουσα Οδηγία) προτείνει διάφορα μέτρα για τη μείωση των φόρων στα εναλλακτικά καύσιμα και την εισαγωγή ειδικού φορολογικού καθεστώτος για τον εξοπλισμό λιμενικής υποδομής (π.χ. μετασχηματιστές) που σχετίζεται με την ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων.
- Οδηγία για τα θαλάσσια καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα (Εναλλακτικά καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα για θαλάσσιες μεταφορές): Σύμφωνα με αυτήν την οδηγία για τα θαλάσσια καύσιμα, τα πλοία μπορούν να χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μπαταρίες για να τροφοδοτούν πλοία όταν βρίσκονται στο λιμάνι, αντί να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια (κρύο σιδέρωμα) [41].

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ισχύς στην ξηρά μπορεί να προέρχεται από πιο φιλικές προς το περιβάλλον πηγές, όπως η ανανεώσιμη ενέργεια, η σύνδεση στο δίκτυο μέσω κατάλληλης υποδομής και το κλείσιμο των κινητήρων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των

πλοίων όταν βρίσκονται ελλιμενισμένα, θεωρείται ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την ελαχιστοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από πλοία στα λιμάνια και τις γύρω αστικές περιοχές.

Η Ελλάδα διαθέτει περισσότερα από 150 λιμάνια, εκ των οποίων τα 5 είναι κύριες πύλες μεταφορών - λιμάνια κόμβων και 20 είναι κόμβοι στο ολοκληρωμένο λιμενικό δίκτυο του Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών (TEN-T). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνωρίζει τη σημασία της ενεργειακής αναβάθμισης στα λιμάνια και παρέχει συγχρηματοδότηση για έργα έρευνας και ανάπτυξης καινοτομίας μέσω μιας σειράς χρηματοδοτικών μέσων.

Για την ηλεκτροδότηση των πλοίων ενώ βρίσκονται ελλιμενισμένα, απαιτείται συνέχιση του σχεδίου ηλεκτροδότησης και προετοιμασία για τη διεξαγωγή μελέτης όλων των λιμένων στα δίκτυα κύριας και βοηθητικής γραμμής στο επόμενο στάδιο, συμπεριλαμβανομένης της καταγραφής των τοποθεσιών όπου έγινε η ηλεκτροδότηση στα λιμάνια της χώρας.

Ο ΔΕΔΔΗΕ έλαβε υπόψη την τελική έκθεση του ερευνητικού έργου του ΕΜΠ «*Τεχνικές πτυχές της δυνατότητας ηλεκτρικής ενέργειας στα λιμάνια της Ελλάδας με την υποστήριξη της ΡΑΕ*», που ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2021 και συνεργάστηκε στενά με τη Σχολή Ναυπηγών Μηχανικών του ΕΜΠ για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικού δικτύου λιμενικών υπηρεσιών, λαμβάνοντας υπόψη πιθανές μελλοντικές ανάγκες. Ο ΔΕΔΔΗΕ συμμετέχει και στο European Ship Electrification Project, το οποίο έχει εκπονήσει λεπτομερείς μελέτες για τα λιμάνια Πειραιά, Ηγουμενίτσας, Ραφήνας, Βόλου κ.λπ. Παρόμοιες μελέτες έχουν γίνει και για τα λιμάνια Θεσσαλονίκης, Λαυρίου και Ηρακλείου.

1.4 Ευρωπαϊκή Πολιτική Ναυτιλίας και Εκπομπών CO₂

Η ναυτιλία είναι ένας από τους πιο στρατηγικούς αλλά και πιο ρυπογόνους τομείς μεταφορών στην ΕΕ. Αν και είναι ο τρόπος μεταφοράς με τις χαμηλότερες εκπομπές CO₂ ανά τόνο και ανά χιλιόμετρο μεταφοράς, η συμβολή του στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι σημαντική λόγω των μεγάλων όγκων θαλάσσιων μεταφορών.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Ναυτιλιακής Ασφάλειας (EMSA), η ναυτιλία εντός της ΕΕ αντιπροσωπεύει το 14,2% των ρύπων CO₂ από τις μετακινήσεις, καθιστώντας την τρίτη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών CO₂ μετά τις οδικές και αεροπορικές μεταφορές [42].

1.4.1 Νομοθετικά μέτρα της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών CO₂

1ος) Ένταξη της ναυτιλίας στο σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU ETS)

Από το 2024, οι εκπομπές CO₂ από μεγάλα εμπορικά πλοία που λειτουργούν εντός των θαλάσσιων συνόρων της ΕΕ θα υπόκεινται στο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (EU ETS). Αυτό σημαίνει ότι οι πλοιοκτήτες πρέπει να αγοράζουν και να παραδίδουν άδειες εκπομπών για κάθε τόνο CO₂ που εκπέμπεται, ενθαρρύνοντας έτσι τη χρήση καθαρότερων τεχνολογιών και καυσίμων [43].

Το EU Emissions Trading Scheme (EU ETS) είναι το πρώτο και μεγαλύτερο σύστημα εμπορίας εκπομπών στον κόσμο και λειτουργεί στην ΕΕ από το 2005. Το σύστημα βασίζεται στην αρχή «πληρωμή για τις εκπομπές»: οι πιο ρυπογόνες εταιρείες πρέπει να αγοράζουν άδειες εκπομπών για κάθε τόνο CO₂ που εκπέμπουν [44].

Μέχρι πρόσφατα, το EU ETS κάλυπτε μόνο τον βιομηχανικό τομέα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις αερομεταφορές. Ωστόσο, η ναυτιλία εξαιρείται από τον μηχανισμό, παρά το γεγονός ότι συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές της ΕΕ.

2ος) Monitoring, Reporting, Verification Κανονισμός (MRV)

Ο κανονισμός παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης (MRV) είναι το θεμελιώδες εργαλείο της ΕΕ για τη διαχείριση και τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία. Αναπτύχθηκε ως μέρος της κλιματικής πολιτικής της Ευρώπης και αποτελεί τη βάση για μέτρα για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 [45].



Εικόνα 1.9 Ευρωπαϊκή πολιτική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία, Πηγή: <https://www.offlinepost.gr>

3ος) Ναυτιλιακή Πρωτοβουλία της ΕΕ

Το Σχέδιο της ΕΕ για τα Ναυτιλιακά Καύσιμα που προτείνεται από την Πράσινη Συμφωνία στοχεύει στη σταδιακή εισαγωγή ανανεώσιμων και εναλλακτικών καυσίμων στη ναυτιλία, με επιδίωξη τη μείωση της ισχύος άνθρακα των καυσίμων των σκαφών περίπου 80% έως το 2050 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020). Ενθαρρύνει επίσης τα πλοία να χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό στην ξηρά (κρύο σιδέρωμα) όταν βρίσκονται στο λιμάνι [44].

1.4.2 Διεθνής διάσταση και συνεργασία με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό

Η ΕΕ συνεργάζεται στενά με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (ΙΜΟ) για την πραγματοποίηση παγκόσμιων στόχων μείωσης των ρύπων. Από το 2023, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός υιοθέτησε έναν αναθεωρημένο στόχο για την πραγματοποίηση καθαρών μηδενικών ρύπων μέχρι το 2050, σύμφωνα με τη Συμφωνία του Παρισιού [46].

Ταυτόχρονα, η ΕΕ υποστηρίζει τον σχεδιασμό ενός παγκόσμιου φόρου άνθρακα στα καύσιμα ναυτιλίας για την αποφυγή της λεγόμενης «διαρροής άνθρακα» [46].

1.4.3 Καινοτομία και βιώσιμες τεχνολογίες

Η ΕΕ επενδύει σε εναλλακτικά καύσιμα όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και το πράσινο υδρογόνο, καθώς και σε ψηφιακές τεχνολογίες που μπορούν να βελτιστοποιήσουν την πλοήγηση και να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον, λιμάνια όπως το Ρότερνταμ, η Αμβέρσα και η Βαρκελώνη έχουν αρχίσει να μεταμορφώνονται σε «πράσινα λιμάνια» και να ενσωματώνουν υποδομές ηλεκτροκίνησης και διαχείρισης εκπομπών.

1.5 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα λιμάνια

Η ανανεώσιμη ενέργεια λιμένων είναι ένας γενικός όρος για πηγές παραγωγής ενέργειας που προτιμώνται από τα λιμάνια λόγω της θετικής συμβολής τους στη μείωση των ρύπων του θερμοκηπίου (βλ. Εικόνα 1.10). Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την αιολική, την ηλιακή, την κυματική και τη γεωθερμική ενέργεια [47].

Ως ηλιακή ενέργεια ορίζεται η ακτινοβολία που παράγεται από τη διαδικασία σύντηξης στον πυρήνα του Ήλιου, όπου το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο. Είναι μια καθαρή, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της Γης, καθώς ο ήλιος εκπέμπει περίπου $3,9 \times 10^{26}$ W ενέργειας. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική πραγματοποιείται μέσω φωτοβολταϊκών (PV) ηλιακών συλλεκτών [48]. Έχει

προταθεί η χρήση της ηλιακής ενέργειας ως συστήματος παραγωγής ενέργειας για τα λιμάνια για τη ελάττωση των ρύπων άνθρακα [49].

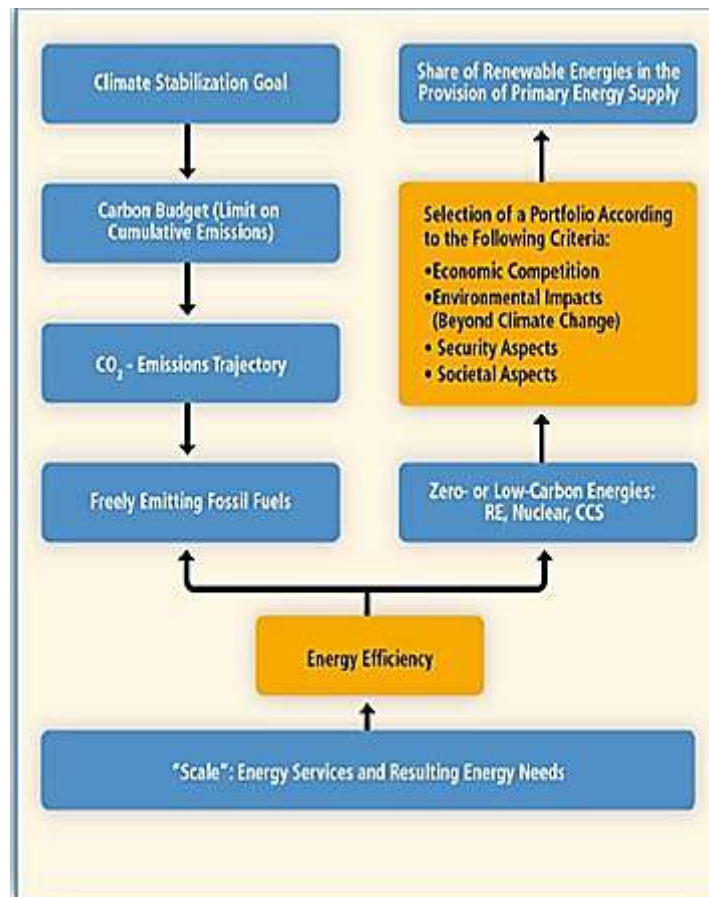
Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει την επιφάνεια της Γης άνισα, προκαλώντας αλλαγές στη θερμοκρασία, την υγρασία και την ατμοσφαιρική πίεση. Αυτές οι αλλαγές δημιουργούν την κίνηση του αέρα, ή τον άνεμο, του οποίου η κινητική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί ως αιολική ενέργεια. Τουλάχιστον το 2% της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη Γη αλλάζει σε αιολική ενέργεια.

Αν και η αιολική ενέργεια έχει πολλά πλεονεκτήματα, έχει επίσης ορισμένα μειονεκτήματα, όπως:

- Υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης,
- Χαμηλός συντελεστής απόδοσης,
- Αλλαγές στην παραγωγή ενέργειας.

Ωστόσο, έχει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Είναι φιλικό προς το περιβάλλον και ανανεώσιμο.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος εξάντλησης ή αύξησης των τιμών με την πάροδο του χρόνου,
- Χαμηλό κόστος συντήρησης,
- Η εφαρμογή και η λειτουργία αυτής της τεχνολογίας είναι σχετικά απλή.
- Μπορεί να εγκατασταθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα [50].



Εικόνα 1.10 Ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα επιλογών μείωσης εκπομπών μηδενικών εκπομπών ή χαμηλών εκπομπών άνθρακα, Πηγή: (IPCC, 2012)

Οι ωκεανοί καλύπτουν το 71% της επιφάνειας της Γης και προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας, η οποία θεωρείται μια από τις πιο υποσχόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ετήσια παραγωγή κυματικής ενέργειας αναμένεται να φτάσει τις 2000 TWh, με ελάχιστη την 1 TWh [51].

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή [52], η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από τη θερμότητα που αποθηκεύεται στον ατμό και τα υπόγεια ύδατα εντός της Γης. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιεί θερμότητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Λιμάνια της ΕΕ όπως η Αμβέρσα και το Αμβούργο παράγουν ενέργεια χρησιμοποιώντας γεωθερμική ενέργεια κοντά στο έδαφος [53].

Καθώς οι ρύποι του θερμοκηπίου (GHG) κερδίζουν την παγκόσμια προσοχή, η προώθηση και η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή και τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται. Η ανάπτυξη αυτών των πόρων είναι μια βασική στρατηγική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής [54].

Ωστόσο, σύμφωνα με τη μελέτη των [55], μόνο 76 λιμάνια από τα 365 εφάρμοσαν την έννοια του πράσινου λιμανιού στην ενδοχώρα τους.

1.5.1 Εναλλακτικά συστήματα ισχύος για λιμάνια

☛ Port Cold Ironing Technology και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ενώ υπάρχουν πολλές πηγές ρύπανσης των λιμανιών, τα πλοία στα λιμάνια ευθύνονται για μεγάλο μέρος των εκπομπών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ένα νέο σύστημα που μπορεί να αντικαταστήσει τις γεννήτριες με καύσιμο για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες των πλοίων ενώ βρίσκονται στο λιμάνι και περιμένουν είναι το λεγόμενο «κρύο σιδέρωμα». Το κρύο σιδέρωμα αναφέρεται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο σκάφος μέσω ενός συστήματος εγκατεστημένου στο λιμάνι, αντί για τη χρήση των βοηθητικών μηχανών του αγκυροβολημένου σκάφους [56].

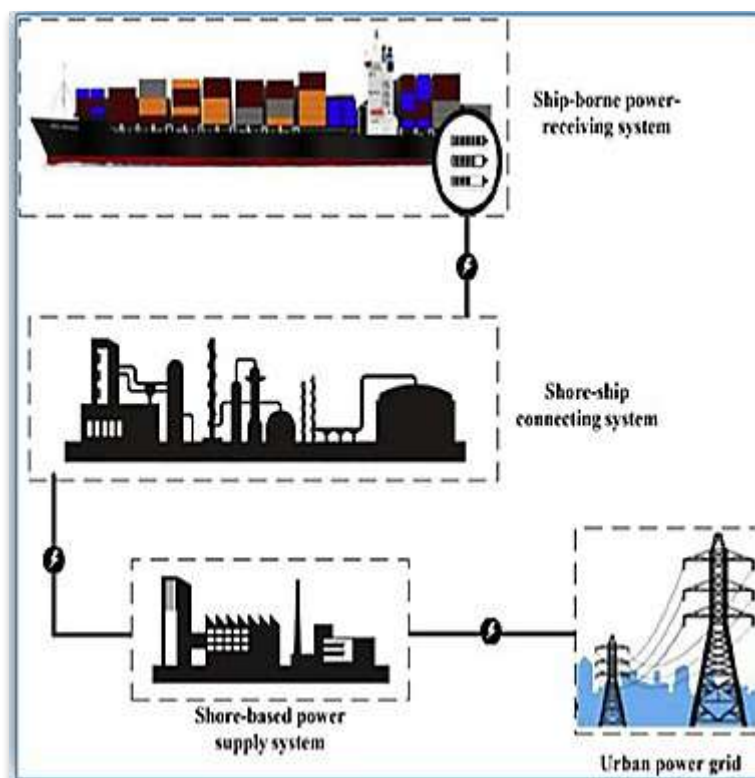
Η λειτουργία ψυχρού σιδήρου μπορεί να εκτελεστεί με διάφορους τρόπους, για παράδειγμα:

- Τροφοδοσία γης,
- Δύναμη στην ακτή,
- Τροφοδοτικό μεταξύ λιμένων (shore power).

Επί του παρόντος, αυτή η τεχνολογία θεωρείται πλέον αποτελεσματική λύση για τη ελάττωση των ρύπων από πλοία στους λιμένες. Ένα σύστημα ψυχρού σιδερώματος αποτελείται από τρεις βασικές υπομονάδες:

1. Η ηλεκτρική εγκατάσταση του Λιμένα,
2. Σύστημα μεταφοράς ισχύος από λιμάνι σε πλοίο,
3. Ηλεκτρικά συστήματα πλοίων [57]. Μια οπτική αναπαράσταση του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 1.

Ένα από τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος κρύου σιδερώματος (cold ironing) είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα, καθώς όλα τα απαραίτητα τεχνικά στοιχεία είναι διαθέσιμα εδώ και πολλά χρόνια. Το μεγαλύτερο εμπόδιο για την ευρεία εφαρμογή του συστήματος είναι η ασυμβατότητα των σημείων σύνδεσης πλοίου-λιμένα. Αν και αυτό δεν είναι πρόβλημα για πλοία που πλέον σε σταθερές διαδρομές, είναι πρόβλημα για σκάφη που πλέον σε διαφορετικούς διαδρόμους. Αυτό το πρόβλημα έχει εν μέρει αντιμετωπιστεί με την ανάπτυξη προτύπων από [58]; [59].



Σχήμα 1 Σύστημα κρύου σιδερώματος, Πηγή: (Chen et al., 2019)

Επιπλέον, το χαμηλό κόστος του συστήματος, το οποίο είναι κατάλληλο για νεότευκτα πλοία, αναφέρθηκε ως θετικός παράγοντας. Ωστόσο, το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος στο λιμάνι παραμένει ένα σημαντικό μειονέκτημα. Αξίζει να αναφερθεί ότι περίπου το 70% των εκπομπών καυσαερίων των πλοίων εκπέμπεται σε ακτίνα 400 χιλιομέτρων από την ακτή.

Εκτός από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, παρατηρήθηκε ότι τα λιμάνια χρησιμοποιούν επίσης ενεργά την αιολική ενέργεια. Το λιμάνι του **Ρότερνταμ** έχει εγκατεστημένη ισχύ αιολικής ενέργειας περίπου 200 MW, με σχέδια να αυξηθεί κατά 150 MW. Ένας άλλος τομέας όπου το λιμάνι κάνει χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η βιομάζα, από την οποία προβλέπει και την παραγωγή υδρογόνου. Το λιμάνι στοχεύει στην παραγωγή «πράσινου υδρογόνου» με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας φιλικής προς το περιβάλλον, κάτι που αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό βήμα για τη ελάττωση των ρύπων. Με βάση αυτό το όραμα, το Λιμάνι θα συνεχίσει να υλοποιεί έργα που αποβλέπουν στην υλοποίηση των περιβαλλοντικών του στόχων μέχρι ως το 2025. Είναι επίσης πολύ επιτυχημένη στην παραγωγή ενέργειας μέσω ηλιακών συλλεκτών [60].

1.5.2 Λιμένας της Αμβέρσας

Ο λιμένας της Αμβέρσας είναι ο δεύτερος πιο μεγάλος λιμένας της Ευρώπης. Έως το 2050, οι ρύποι είναι πιθανόν, να ελαττωθούν και το λιμάνι θα είναι βιώσιμο χάρη στην ενεργειακή διαχείριση και το όραμά του. Στο πλαίσιο αυτό, η έρευνα για την ενεργειακή μετάβαση με πιο πράσινο τρόπο γίνεται ολοένα και πιο σημαντική και γίνονται ενέργειες προς αυτή την κατεύθυνση.

Το λιμάνι χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας, γνωστή ως «πράσινη θερμότητα», η οποία χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες. Μια άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται στο λιμάνι της Αμβέρσας είναι η βιομάζα. Επιπλέον, το λιμάνι μπορεί να παράγει περισσότερα από 200 μεγαβάτ ενέργειας ετησίως από την αιολική ενέργεια.

Το λιμάνι συνεχίζει να υλοποιεί νέα έργα μέσω των συνεργατών του. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι το έργο «*power-to-methanol*», το οποίο στοχεύει στη ελαχιστοποίηση των ρύπων CO₂ κατά τουλάχιστον 8.000.000 κιλά το χρόνο. Εκτός από όλες αυτές τις δραστηριότητες, το λιμάνι συνεχίζει επίσης τις προσπάθειές του για παραγωγή ενέργειας μέσω υδρογόνου [61].

1.6 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας στα λιμάνια

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και η εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στα λιμάνια αποτελούν βασικούς παράγοντες για την επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων, την ενεργειακή αυτονομία και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων. Ακολουθεί μια ανάλυση των κύριων πλεονεκτημάτων και περιορισμών της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας στα λιμάνια.

1.6.1 Πλεονεκτήματα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμηση ενέργειας στα λιμάνια

1ος) Μείωση των εκπομπών των ρύπων και του αποτυπώματος του άνθρακα

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική και η βιοενέργεια έχει μειώσει σημαντικά τις εκπομπές CO₂ και άλλους ρύπους από παραδοσιακές

πηγές ενέργειας [62]. Αυτό ενισχύει τη συμμόρφωση του λιμανιού με τις ευρωπαϊκές και διεθνείς περιβαλλοντικές οδηγίες όπως το Fit for 55 και την Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ.

2ος) Ενεργειακή αυτονομία και ανθεκτικότητα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εντός του λιμένα μέσω φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών ή βιομάζας ελαττώνει την σύνδεση από εξωτερικούς προμηθευτές ισχύς, αυξάνει κατά πολύ την ανθεκτικότητα του λιμανιού στις διακυμάνσεις των τιμών της ενέργειας [63].

3ος) Μείωση του λειτουργικού κόστους

Η εγκατάσταση αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους, ειδικά σε ενεργοβόρες υποδομές όπως γερανοί, συστήματα ψύξης και φωτισμού [64].

4ος) Ενίσχυση της βιώσιμης ανάπτυξης και του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος

Τα «πράσινα λιμάνια» προσελκύουν περισσότερες εταιρείες που ακολουθούν τις αρχές ESG (περιβαλλοντικές, κοινωνικές και διακυβέρνησης) και είναι κοινωνικά αναγνωρισμένες να επενδύουν και να συνεργάζονται [62].

1.6.2 Περιορισμοί και προκλήσεις

1ος) Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ειδικά οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μεγάλης κλίμακας, πρέπει να έχουν σημαντικές αρχικές επενδύσεις για την εγκατάσταση και την προσαρμογή των υπάρχοντων συστημάτων [65].

2ος) Περιορισμοί χώρου

Πολλά λιμάνια βρίσκονται σε περιοχές με περιορισμένο χώρο, συμβάν που ορίζει απαιτητική την μόνιμη διαμονή ηλιακών πάρκων ή γεννητριών από αέρα χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργικότητα του λιμανιού [64].

3ος) Ασυμβίβαστο με την υπάρχουσα υποδομή

Η υπάρχουσα υποδομή σε πολλά λιμάνια δεν έχει σχεδιαστεί για τη διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή την ενσωμάτωση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας [65].

4ος) Αλλαγές παραγωγής

Ο ήλιος και ο αέρας αποτελούν είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι συνεχόμενες πηγές ενέργειας, αφού δεν έχουν την δυνατότητα πάντα να εξασφαλίσουν σταθερό και συνεχή εφοδιασμό και απαιτούν πρόσθετες τεχνολογίες αποθήκευσης ή υποστήριξης [62].

2 Κεφάλαιο Η Ηλεκτροδότηση από την Ξηρά στους Λιμένες και τη Ναυτιλία

Η ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των κυβερνήσεων, της βιομηχανίας και του ακαδημαϊκού κόσμου αποτελεί κάποια σε υψηλό βαθμό κατάλληλη μέθοδος για τη ελαχιστοποίηση των εκπομπών από πλοία στις λιμενικές περιοχές [66].

2.1 Τι προσφέρει η ηλεκτροδότηση από την ξηρά στους λιμένες και τη ναυτιλία

Η τροφοδοσία στην ξηρά είναι μια αξιόπιστη και αποτελεσματική εναλλακτική λύση, αφού δίνει την δυνατότητα τα σκάφη να σβήνουν τις μηχανές τους ενώ είναι ελλιμενισμένα και να έχουν ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλεκτρική εγκατάσταση του λιμένα. Το σύστημα τροφοδοσίας της ξηράς (Shore Power-SP) αποτελείται από τρία μέρη: σύστημα παροχής ρεύματος στην ξηρά, σύστημα σύνδεσης πλοίου-ακτής και σύστημα λήψης ενέργειας επί του σκάφους [67].



Εικόνα 2.11 Ενεργειακές αναβαθμίσεις λιμένων και ηλεκτροδότηση πλοίων, Πηγή: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΤΑΧΥΔΡΟΜΟΣ

Το σύστημα τροφοδοσίας της ξηράς είναι εγκατεστημένο στην αποβάθρα, λαμβάνοντας ρεύμα από το τοπικό δίκτυο και μετατρέποντάς το σε τάση και συχνότητα κατάλληλη που είναι απαραίτητη για το πλοίο. Η σύνδεση περιλαμβάνει καλώδια που συνδέουν την υποδομή παροχής ρεύματος στην ξηρά και τη συσκευή λήψης ενέργειας του πλοίου. Τέλος, το σύστημα λήψης ισχύος του πλοίου χρησιμοποιεί τη μεταδιδόμενο ηλεκτρισμό για να παρέχει τις λειτουργίες του σκάφους ενώ είναι ελλιμενισμένο.

Η ισχύς στην ξηρά (SP), γνωστή και ως «ισχύς στην ξηρά», «ισχύς» και «ισχύς στην ξηρά υψηλής τάσης (HVSC)», είναι ένας πολλά υποσχόμενος τρόπος για να ελέγχονται οι εκπομπές καυσαερίων που προέρχονται από τα αγκυροβολημένα πλοία και τη μείωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις λιμενικές περιοχές. Αυτή η τεχνολογία μετατοπίζει την παραγωγή ενέργειας από ρυπογόνες πηγές στα πλοία σε καθαρότερες, πιο αποδοτικές γεννήτριες στην ξηρά, οι οποίες προτιμούν φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας ανανεώσιμες όπως η *αιολική*, η *πυρηνική* και η *γεωθερμία* [68].

Επιπλέον, οι κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής βρίσκονται συχνά σε απομακρυσμένες περιοχές, γεγονός που μειώνει τον αντίκτυπο των εκπομπών καυσαερίων στους κατοίκους της περιοχής. Σύμφωνα με μια έκθεση που υποβλήθηκε στην EPA³ της Νέας Νότιας Ουαλίας [69], η ισχύς στην ακτή μπορεί να ελαττώσει τους ρύπους SO₂, NO_x και PM έως και 90% όταν τα πλοία είναι ελλιμενισμένα.

2.1.1 Προκλήσεις ηλεκτροδότησης από την ξηρά στα λιμάνια και τη ναυτιλία

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής είναι πολύ μεγάλης σημασίας για την πραγματοποίηση των στόχων απανθρακοποίησης και την προστασία της υγείας των ανθρώπων που ζουν δίπλα σε λιμάνια [70]. Ωστόσο, παρά τα σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη αυτής της τεχνολογίας, η εφαρμογή της αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις.

Οι προκλήσεις έχουν ως εξής:

I. Υψηλό κόστος υποδομής και επένδυσης

Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης υποδομών σε λιμάνια και πλοία. Στην ξηρά, πρέπει να δημιουργηθούν αποκλειστικοί σταθμοί τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας, υποσταθμοί, καλώδια και μηχανισμοί ασφαλείας. Από την πλευρά του

³ **EPA:** Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) είναι μια κυβερνητική υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση, τη ρύθμιση και την επιβολή μέτρων περιβαλλοντικής προστασίας σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Αυστραλίας, των Ηνωμένων Πολιτειών και άλλων δικαιοδοσιών.

πλοίου, τα ηλεκτρικά τους συστήματα πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να είναι δυνατή η ασφαλής σύνδεση με το δίκτυο [71]. Το κόστος εξοπλισμού μιας αποβάθρας μπορεί να είναι πάνω από 5 εκατομμύρια ευρώ, ενώ το κόστος μετατροπής ενός πλοίου μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 400.000 και 2 εκατομμύρια ευρώ [72].

II. Έλλειψη διεθνούς τυποποίησης και τεχνικής συμβατότητας

Μια άλλη βασική πρόκληση είναι η έλλειψη ενιαίων διεθνών τεχνικών προτύπων. Η τάση, η συχνότητα και ο τύπος σύνδεσης που χρησιμοποιούνται στα πλοία και στα λιμάνια ποικίλλουν. Η έλλειψη κοινών τεχνικών προδιαγραφών οδηγεί σε δυσκολίες διαλειτουργικότητας, περιορίζοντας την πρακτική εφαρμογή της ηλεκτροκίνησης λιμένων εκτός μεγάλων εμπορικών κόμβων [73].

III. Ορισμένες χώρες έχουν ανεπαρκή προσφορά «καθαρής» ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από τη γη είναι βασικός παράγοντας. Σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο τροφοδοτείται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα ή πετρελαίου, η περιβαλλοντική αξία της ισχύος στην ξηρά είναι αμφίβολη, καθώς απλώς μετατοπίζει την πηγή των εκπομπών από τη θάλασσα στην ξηρά [74]. Η τεχνολογία θα έχει σημαντικό οικολογικό αποτύπωμα μόνο εάν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά αυτό δεν είναι ακόμη δυνατό σε όλες τις χώρες.

IV. Τα σκάφη πρέπει να παραμείνουν στο λιμάνι για περιορισμένο χρονικό διάστημα

Τα πλοία μένουν σε ορισμένα λιμάνια για σύντομο χρονικό διάστημα, γεγονός που δεν ευνοεί τη χρήση της ισχύος της ξηράς. Όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι για λίγες μόνο ώρες, δεν συμφέρει οικονομικά η ενεργοποίηση του συστήματος ελλιμενισμού, επομένως επιλέγεται η καύση καυσίμου [75]. Αυτός ο παράγοντας περιορίζει την εφαρμογή της τεχνολογίας σε πλοία με μεγάλη παραμονή, όπως κρουαζιερόπλοια και πορθμεία.

V. Έλλειψη κινήτρων και ρυθμιστικού πλαισίου

Πολλές χώρες στερούνται ρυθμιστικών μέτρων και οικονομικών κινήτρων αν επιβληθεί η χρήση ηλεκτρισμού από την ξηρά. Αν πρέπει η ΕΕ αναλαμβάνει σταδιακά τις υποχρεώσεις για τα πλοία που καταπλέουν σε μεγάλα λιμάνια έως το 2030 [76], η πρόοδος σε διεθνές επίπεδο ήταν αργή και άνιση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η τεχνολογία να βρίσκεται ακόμα σε πιλοτικό ή περιορισμένο στάδιο εφαρμογής.

VI. Πολύπλοκη διοίκηση και έλλειψη συνεργασίας

Η ανάπτυξη της παράκτιας ενέργειας απαιτεί συνεργασία μεταξύ πολλών μερών: λιμενικών αρχών, προμηθευτών ενέργειας, πλοιοκτητών και τοπικών κυβερνήσεων. Η έλλειψη συντονισμένου σχεδίου δράσης μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις και ασυνέπειες στην ανάπτυξη υποδομών, ιδιαίτερα σε λιμάνια με περιορισμένη αυτονομία ή χρηματοδότηση [72].

2.2 Ηλεκτρισμός ακτών για λιμάνια και ναυτιλία: περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιωσιμότητα

Η τροφοδοσία στην ξηρά (ή το κρύο σιδέρωμα) είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει στα πλοία να κλείνουν τις γεννήτριές τους ενώ βρίσκονται στο λιμάνι και να συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο της ξηράς για να καλύψουν τις ανάγκες τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η προσέγγιση αποτελεί μέρος της στρατηγικής περιβαλλοντικής διαχείρισης του λιμανιού και συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης και στη μείωση των εκπομπών.



Εικόνα 2.12 Λιμάνι Πειραιά: Σύνδεση πέντε σημείων τροφοδοσίας πλοίων έως το 2024, Πηγή: BUSINESS & FINANCE

2.2.1 Πλεονεκτήματα της ηλεκτροδότησης στην ξηρά

1ος) Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων

Το κύριο περιβαλλοντικό όφελος της ενέργειας από την ξηρά είναι η σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (όπως το διοξείδιο του άνθρακα) και των τοπικών ρύπων που παράγονται από τους κινητήρες των πλοίων (όπως τα οξείδια του αζώτου, τα οξείδια του θείου και τα σωματίδια) [76]. Σύμφωνα με μελέτη του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού [77], τα πλοία που είναι αγκυροβολημένα σε λιμάνια μπορεί να ευθύνονται για το 40% των συνολικών εκπομπών ρύπων στην περιοχή του λιμανιού.

2ος) Βελτίωση της ποιότητας του αέρα και της υγείας του πληθυσμού

Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αντί για καύσιμα μπορεί να μειώσει σημαντικά την ατμοσφαιρική ρύπανση κοντά σε αστικά λιμάνια, να βελτιώσει τα ποιοτικά συστατικά του αέρα και να προστατεύσει την υγεία των κατοίκων και των εργαζομένων στα λιμάνια [78]. τα πλοία που είναι αγκυροβολημένα σε λιμάνια μπορούν να αντιπροσωπεύουν το 40% των συνολικών εκπομπών ρύπων στην περιοχή του λιμανιού.

3ος) Προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ)

Η σύνδεση λιμένων σε ένα δίκτυο που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, μπορεί να κάνει τη ναυτιλία πιο βιώσιμη. Πολλές χώρες επενδύουν σε «πράσινα λιμάνια» όπου η ηλεκτρική ενέργεια στην ξηρά βασίζεται εξ ολοκλήρου στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

4ος) Εφαρμογή της ηλεκτροδότησης από την ξηρά με τα διεθνή περιβαλλοντικά πρότυπα

Η εισαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά θα επιτρέψει στα λιμάνια και τις ναυτιλιακές εταιρείες να συμμορφωθούν με τους διεθνείς κανονισμούς όπως το παράρτημα VI της MARPOL, το οποίο θέτει αυστηρά όρια στις εκπομπές ρύπων από τα πλοία. [79].

5ος) Προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης των λιμανιών

Η ηλεκτροκίνηση είναι ένα σημαντικό βήμα προς τα βιώσιμα και «έξυπνα» λιμάνια, τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογία για την παρακολούθηση, τη διαχείριση και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δραστηριοτήτων τους [80].

2.2.2 Μειονεκτήματα της χερσαίας ηλεκτροδότησης

1ος) Υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης

Η εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού στα λιμάνια και στα πλοία απαιτεί σημαντική αρχική επένδυση. Η υποδομή περιλαμβάνει αποκλειστικές μονάδες τροφοδοσίας, μετασχηματιστές, συστήματα ελέγχου και εκσυγχρονισμό σκαφών συμβατών με την τεχνολογία [80].

2ος) Απαιτείται διεθνής τεχνική τυποποίηση

Η έλλειψη κοινών τεχνικών προτύπων (π.χ. τύπος σύνδεσης, συχνότητα ισχύος) αποτελεί εμπόδιο στην ευρεία εφαρμογή της ηλεκτροδότησης ακτών, ειδικά για πλοία που πλέουν μεταξύ διαφορετικών χωρών.

3ος) Εξάρτηση από την ενεργειακή πολιτική και το μείγμα παραγωγής

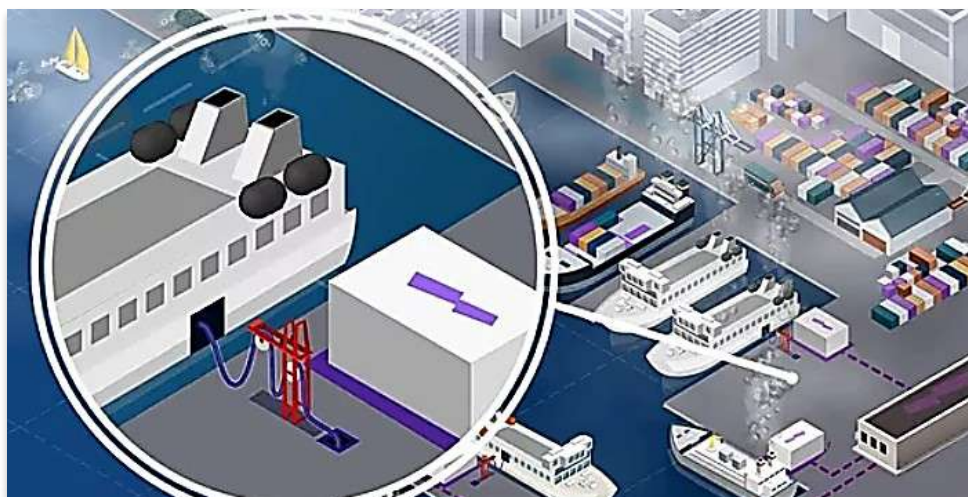
Εάν τα χερσαία δίκτυα εξακολουθούν να εξαρτώνται από ρυπογόνες πηγές, όπως ο άνθρακας ή το φυσικό αέριο, οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ηλεκτροδότηση μπορεί να περιοριστούν ή ακόμη και να αντισταθμιστούν [76].

4ος) Περίοδος απόσβεσης

Η οικονομική σκοπιμότητα της τεχνολογίας εξαρτάται από το χρόνο παραμονής του πλοίου στο λιμάνι, τη συχνότητα των επισκέψεων και την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας [80].

2.3 Ιστορική Αναδρομή στην Ηλεκτροδότηση Πλοίων από την Ξηρά (Cold Ironing)

Ο όρος «κρύο σιδέρωμα» προέρχεται από την εποχή της ατμοκίνητης ναυτιλίας, όταν τα πλοία έκλειναν τις μηχανές τους και κρυώνονταν κατά τις στάσεις στο λιμάνι - το πλοίο ήταν τότε «κρύο» και τα σιδερένια τοιχώματά του (σιδέρωμα) δεν θερμαίνονταν πλέον με λειτουργία. Επί του παρόντος, ο όρος αναφέρεται στην πρακτική παροχής ενέργειας από την ξηρά σε πλοία που βρίσκονται στο λιμάνι και επιτρέποντας στο πλοίο να κλείνει τις δικές του γεννήτριες.



Εικόνα 2.13 έργο elemed (Ηλεκτρισμός της Ανατολικής Μεσογείου), Πηγή: <https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>

2.3.1 Ιστορική Ανάπτυξη

☛ The Origin of Cold Ironing - Πρώιμες Εφαρμογές

Η πρακτική του κρύου σιδερώματος (cold ironing) ξεκίνησε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα όταν οι ναυτικές βάσεις των ΗΠΑ παρείχαν ηλεκτρισμό σε πολεμικά πλοία. Ο στόχος είναι η εξοικονόμηση καυσίμων και η μείωση του θορύβου και των κραδασμών ενώ το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι [81]. Ο όρος «κρύο σιδέρωμα» προέρχεται από την πρακτική του τερματισμού των ατμομηχανών πλοίων, όπου όταν το ατμοκίνητο πλοίο δεν λειτουργούσε, ο κινητήρας «κρύωνε» επειδή η επιφάνεια του σιδήρου δεν ακτινοβολούσε πλέον θερμότητα [78].

Τον 20ο αιώνα, η τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε κυρίως από τον στρατό λόγω των υψηλών απαιτήσεων υποδομής και κόστους. Τα εμπορικά λιμάνια δεν διαθέτουν το επενδυτικό ή ρυθμιστικό πλαίσιο που απαιτείται για την εφαρμογή παρόμοιων λύσεων.

☛ Αναγέννηση και Τεχνολογική Εξέλιξη στον 21ο αιώνα

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, υπήρξε ανανεωμένο ενδιαφέρον για την ηλεκτροδότηση των πλοίων που βασίζονται στην ξηρά ως απάντηση στην αυξανόμενη ευαισθησία στην κλιματική αλλαγή και τις τοπικές εκπομπές σε αστικά κέντρα με μεγάλα λιμάνια. Τα πλοία που παραμένουν αγκυροβολημένα συνεχίζουν να χρησιμοποιούν καύσιμα για τη λειτουργία των γεννητριών, μολύνοντας σοβαρά την ατμόσφαιρα.

Η Καλιφόρνια των Η.Π.Α., ήταν η πρώτη πολιτεία που εισήγαγε αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς που απαιτούσαν ορισμένες κατηγορίες πλοίων να είναι εξοπλισμένα με ηλεκτρική ενέργεια στην ξηρά [82]. Ταυτόχρονα, λιμάνια όπως το Λος Άντζελες και το Λονγκ Μπιτς ανέπτυξαν την πρώτη εμπορική υποδομή κρύου σιδήρωματος.

Στην Ευρώπη, χώρες όπως η Σουηδία, η Γερμανία και η Ολλανδία ακολούθησαν το παράδειγμά τους, επενδύοντας σε τεχνολογίες τροφοδοσίας στην ξηρά (OPS), δίνοντας έμφαση στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [76]. Η ΕΕ υποστηρίζει τέτοια έργα μέσω στρατηγικών και χρηματοδότησης στο πλαίσιο της Πράσινης Συμφωνίας και της Στρατηγικής Βιώσιμων Μεταφορών.

2.4 Βασικοί τεχνικοί πυλώνες για την ηλεκτροκίνηση πλοίων στην ξηρά

Το ηλεκτρικό ρεύμα ή το κρύο σιδέρωμα στην ξηρά είναι μια στρατηγική τεχνολογική λύση που συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών ρύπων όταν τα πλοία βρίσκονται στο λιμάνι. Η εφαρμογή του βασίζεται σε ένα σύνολο τεχνικής υποδομής και διεθνών προτύπων που διασφαλίζουν ότι το σύστημα λειτουργεί με ασφάλεια, αποτελεσματικότητα και περιβαλλοντικά βιώσιμη. Οι βασικοί τεχνολογικοί πυλώνες περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1) Shore power:

Η ισχύς στην ξηρά είναι από εκεί που έρχεται η ηλεκτρική ενέργεια, από την ακτή σε πλοία που αγκυροβολούν στο λιμάνι, προκειμένου να διακοπούν οι γεννήτριες καυσίμου του πλοίου. Αυτό το σύστημα επιτρέπει τη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος από την ξηρά για τη λειτουργία των ηλεκτρικών και μηχανικών συσκευών του σκάφους [78].

2) Cold Ironing:

Το κρύο σιδέρωμα είναι ένας ιστορικός όρος για όταν ένα πλοίο σβήνει τις μηχανές του ενώ βρίσκεται στο λιμάνι και αντλεί ενέργεια από την ακτή. Αν και τεχνικά είναι συνώνυμος με την ισχύ στην ξηρά, ο όρος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, κυρίως για να περιγράψει πρακτικές σε ένα ευρύτερο θαλάσσιο ή στρατιωτικό πλαίσιο [81].

Η λειτουργία κρύου σιδήρου περιλαμβάνει:

- ✓ Κλείσιμο της εσωτερικής γεννήτριας (ντίζελ),
- ✓ Αυτόματη ή χειροκίνητη εναλλαγή σε εξωτερική παροχή ρεύματος,

- ✓ Διατηρεί σταθερή ισχύ για ηλεκτρονικά συστήματα, συστήματα ψύξης, επικοινωνίες κ.λπ.

3) Power from shore supply (OPS):

Ο όρος χερσαία παροχή ενέργειας (OPS) χρησιμοποιείται ευρέως στην ΕΕ για να αναφέρεται στο σύνολο της τεχνικής, ηλεκτρικής και επιχειρησιακής υποδομής που επιτρέπει στα πλοία να τροφοδοτούνται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στην ξηρά [76]. Τεχνικά, το OPS είναι συνώνυμο με την ισχύ στην ξηρά, αλλά χρησιμοποιείται στην πολιτική και σε ευρωπαϊκά έργα υποδομής.

2.5 Ανάλυση τεχνολογίας και προδιαγραφών ηλεκτροκίνησης πλοίων στην ξηρά

Το Shore power (SSE ή κρύο σιδέρωμα) είναι μια τεχνικά πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί υψηλό επίπεδο υποδομής, ηλεκτρική και συμβατότητα συστήματος και αυστηρά πρωτόκολλα ασφαλείας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν καταστήσει αυτή τη λύση τεχνικά και οικονομικά εφικτή, ειδικά σε μεγάλα εμπορικά και επιβατικά λιμάνια.

2.5.1 Τεχνολογία ηλεκτροκίνησης πλοίων με βάση την ακτή

Η βασική αρχή αυτής της τεχνολογίας είναι η μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της ξηράς στο πλοίο, αντικαθιστώντας τη χρήση γεννητριών με καύσιμο ενώ το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι.

Τεχνικά στοιχεία:

- ☛ *Τάση λειτουργίας:* Τα μεγάλα πλοία είναι συνήθως 6,6 kV ή 11 kV.
- ☛ *Συχνότητα:* 50 Hz (Ευρώπη) ή 60 Hz (ΗΠΑ, Ασία), συνήθως απαιτεί μετατροπή συχνότητας.
- ☛ *Ρεύμα:* Τριφασικό, κάθε σκάφος μπορεί να χειριστεί φορτία έως 10 MW [86].
- ☛ *Σημείο σύνδεσης:* Υπάρχουν σαφείς προδιαγραφές σύνδεσης μεταξύ του πλοίου και του λιμανιού, οι οποίες συμμορφώνονται με τα πρότυπα IEC/ISO/IEEE 80005-1.

Αυτά τα συστήματα υποστηρίζονται από αυτόματους ελεγκτές για τη διαχείριση του συγχρονισμού της ισχύος και της ομαλής μετάβασης από την εσωτερική στην ακτή ισχύ [78].

2.5.2 Συστήματα ασφάλειας και επικοινωνίας

Η ασφαλής λειτουργία της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά απαιτεί αυστηρούς κανονισμούς ασφαλείας και αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ πλοίου και λιμενικών εγκαταστάσεων.

☛ Βασικά Χαρακτηριστικά:

- Αυτόματη απενεργοποίηση του συστήματος σε περίπτωση βλάβης ή υπερφόρτωσης.
- Σύστημα συγχρονισμού τάσης και συχνότητας για αποφυγή ηλεκτροπληξίας κατά την εναλλαγή.
- Η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ του πλοίου και του κέντρου ελέγχου του λιμανιού πραγματοποιείται μέσω Ethernet ή οπτικής ίνας.
- και συστήματα ελέγχου ταυτότητας και αναγνώρισης πλοίων (π.χ. μέσω συστημάτων διαχείρισης ενέργειας RFID ή cloud) [76].

Η υλοποίηση αυτών των λειτουργιών βασίζεται σε διεθνή πρότυπα ασφάλειας και διαλειτουργικότητας όπως το IEC 61850 (επικοινωνία μεταξύ υποσταθμών) και το IEC 80005-2 (προδιαγραφές για εφαρμογές χαμηλής ισχύος).

2.5.3 Έξυπνο δίκτυο και ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η μελλοντική κατεύθυνση ανάπτυξης των συστημάτων ψυχρού σιδερώματος βασίζεται στη σύνδεση με το έξυπνο δίκτυο. Τα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν τη διαχείριση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση:

1. Η ζήτηση για πλοία,
2. τη διαθεσιμότητα ενέργειας στο δίκτυο,
3. Προτεραιότητες για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) Ενέργεια [76].

Η ένταξη της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί στρατηγική κατεύθυνση για πολλά λιμάνια, με στόχο την επίτευξη καθαρού αποτυπώματος μηδενικού άνθρακα (καθαρές μηδενικές εκπομπές). Λύσεις αποθήκευσης ενέργειας αναπτύσσονται τώρα και σε μπαταρίες για λιμενικές εγκαταστάσεις για να διασφαλίζεται σταθερός εφοδιασμός ακόμη και όταν αλλάζει η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας [80].

2.5.4 Παγκόσμιο πρότυπο διαλειτουργικότητας για την τεχνολογία κρύου σιδερώματος

Για να είναι αποτελεσματικές και διαδεδομένες οι τεχνολογίες ηλεκτροκίνησης πλοίων που βασίζονται στην ξηρά (ψυχρό σιδέρωμα ή ισχύς στην ξηρά), είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν παγκόσμια εναρμονισμένα πρότυπα διαλειτουργικότητας. Η διεθνής ναυτιλία βασίζεται στη διασύνδεση λιμένων και πλοίων από διαφορετικές χώρες και κατασκευαστές. Οι εναρμονισμένες τεχνικές προδιαγραφές είναι απαραίτητες για:

- Για να εξασφαλιστεί η ασφαλή σύνδεση και αποσύνδεση,
- Αποφυγή σε τεχνικές ασυμβατότητες (π.χ. τάση, συχνότητα, πρίζες),
- και να προωθείται η ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας από τις ναυτιλιακές εταιρείες.

2.5.5 Το πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005

Η κύρια διεθνής καθοδήγηση για συστήματα κρύου σιδερώματος (cold ironing) είναι το ολοκληρωμένο πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005, το οποίο είναι το αποτέλεσμα μιας συνεργασίας μεταξύ τριών μεγάλων οργανισμών τυποποίησης:

- A. IEC (*Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή*),
- B. ISO (*Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης*),
- C. IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

Αυτό το πρότυπο καθορίζει τις τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές για την ασφαλή, αξιόπιστη και διαλειτουργική παροχή ενέργειας από την ξηρά σε πλοία στο λιμάνι [83].

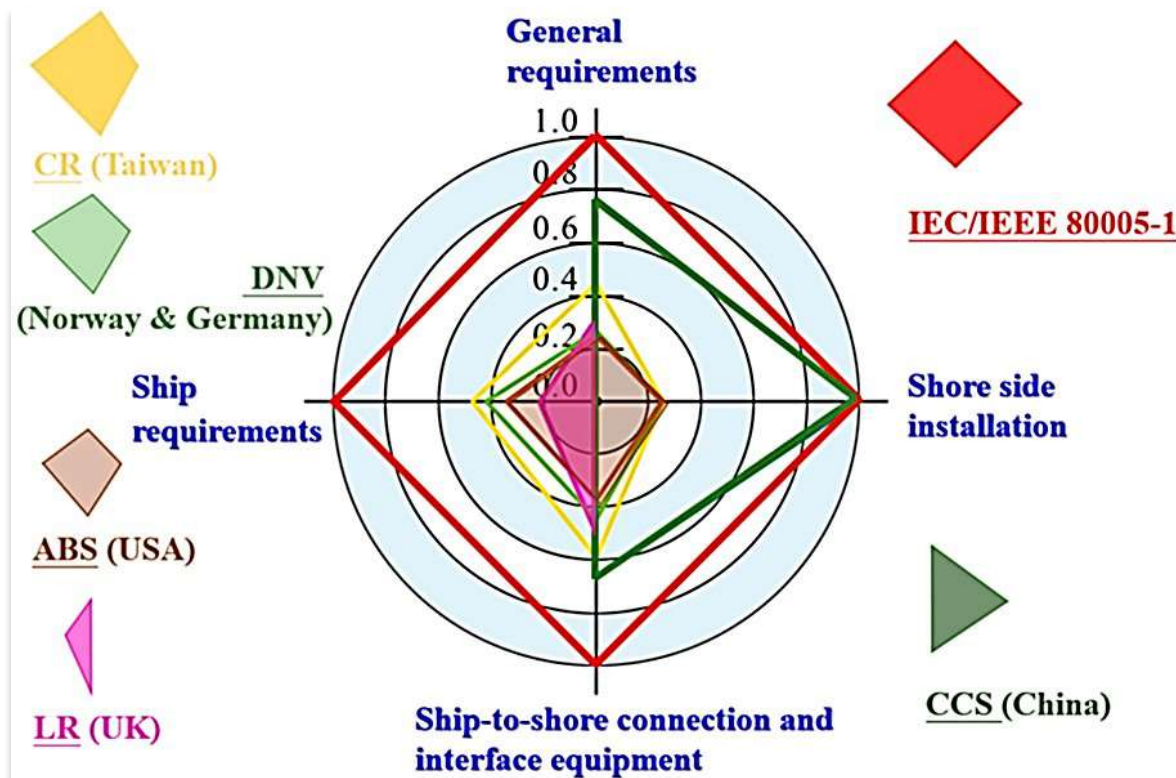
2.5.5.1 Τρία κύρια μέρη του προτύπου

1. IEC/ISO/IEEE 80005-1: Υψηλή τάση (HVSC)

Αυτή η ενότητα ασχολείται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης σε μεγάλα εμπορικά πλοία όπως κρουαζιερόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και δεξαμενόπλοια. Τα κύρια χαρακτηριστικά του:

- Τάση 6,6kV ή 11kV,
- Συχνότητα 50 ή 60 Hz, ανάλογα με την περιοχή (50 Hz στην Ευρώπη, 60 Hz στην Αμερική/Ασία),
- Διαδικασίες ασφαλούς σύνδεσης και αποσύνδεσης,

- Συγχρονισμός ισχύος και διαχείριση μετάβασης από συστήματα πλοίων σε συστήματα λιμένων [80].



Εικόνα 2.14 Διάγραμμα αράχνης που συγκρίνει τους κανονισμούς του νηογνώμονα. Πρότυπο IEC/IEEE 80005-1: Πηγή: IEC/IEEE 80005-1:2019; IEC/IEEE International Standard-Utility Connections in Port—Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems-General Requirements. ISO: Geneva, Switzerland, 2019.

Αυτό το πρότυπο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο στον κόσμο και επιτρέπει την ομοιόμορφη χρήση του κρύου σιδερώματος (cold ironing) σε μεγάλα λιμάνια [79].

2. IEC/ISO/IEEE 80005-2: Χαμηλή τάση (LVSC)

Αυτή η ενότητα ασχολείται με σκάφη που απαιτούν χαμηλή τάση (λιγότερο από 1.000 V), όπως:

- ρυμουλκό,
- αλιεία,
- Μικρά επιβατηγά σκάφη και πορθμεία.

Περιλαμβάνει τεχνικές προδιαγραφές για ασφαλή συνδεσιμότητα χαμηλής κατανάλωσης, καθώς και διαδικασίες για δοκιμή, προστασία και τυποποίηση εξοπλισμού [83].

3. IEC/ISO/IEEE 80005-3: Συνεχές ρεύμα (συστήματα συνεχούς ρεύματος)

Αυτή η ενότητα καλύπτει εφαρμογές συνεχούς ρεύματος (DC), οι οποίες κερδίζουν όλο και μεγαλύτερη προσοχή για τους ακόλουθους λόγους:

- Καλύτερη συμβατότητα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ),
- Ελάχιστη απώλεια ενέργειας κατά τη μετατροπή,
- και τη δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με συστήματα αποθήκευσης όπως οι μπαταρίες [76].

Παρά τη σημερινή χαμηλή διείσδυσή του, το 80005-3 θεωρείται απαραίτητο για τη μελλοντική ανάπτυξη της πράσινης ναυτιλίας.

2.5.6 Πρότυπα Επικοινωνιών και Έξυπνου Δικτύου

Εκτός από την αμιγώς ηλεκτρική τυποποίηση, οι λειτουργίες κρύου σιδερώματος (cold ironing) απαιτούν επίσης πρότυπα επικοινωνίας για να καταστεί δυνατή η αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ λιμένων και πλοίων. Το πιο σημαντικό είναι το IEC 61850, το οποίο ορίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας για συστήματα ισχύος και υποσταθμούς [78].

Επιπλέον, η σύνδεση θυρών στο έξυπνο δίκτυο απαιτεί συστήματα που μπορούν να διαχειριστούν:

- Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- Αποθήκευση ενέργειας,
- και κατανομή φορτίου.

3 Κεφάλαιο Παραδείγματα εφαρμογών

Η ηλεκτροδότηση πλοίων με βάση την ξηρά έχει γίνει ένα σημαντικό εργαλείο για τον πράσινο μετασχηματισμό της παγκόσμιας ναυτιλίας και των λιμένων. Λιμάνια στην Ευρώπη, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ασία έχουν επενδύσει σε αυτήν την τεχνολογία για να μειώσουν τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και να συμμορφωθούν με αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς.

3.1 Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στον λιμένα του Ρότερνταμ

Ο λιμένας του Ρότερνταμ, ο πιο μεγάλος εμπορικός λιμένας της Ευρώπης και ένας από τους μεγαλύτερους στον κόσμο, είναι πρωτοπόρος στη μετάβαση σε πρακτικές πράσινων λιμένων και στρατηγικές απαλλαγής από τον άνθρακα. Η εφαρμογή της τεχνολογίας ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά στο Ρότερνταμ αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου πλαισίου περιβαλλοντικής πολιτικής που στοχεύει στη ελάττωση των ρύπων CO₂, NO_x και σωματιδίων (PM) από πλοία αγκυροβολημένα [76]; [80].



Εικόνα 3.15 Λιμάνι του Ρότερνταμ: Απανθρακοποίηση με ηλεκτρική ενέργεια, Πηγή: <https://www.reporter.gr/Eidhseis/Naytilia/506657-Limani-toy-Roterntam-Strefetai-sthn-hlektrikh-energeia-gia-thn-apanthrakopoihsh>

3.1.1 Στόχοι και στρατηγικές

Ως μέρος της πρωτοβουλίας για τα λιμάνια του World Ports Climate Action Program (WPCAP⁴), το Ρότερνταμ έχει δεσμευτεί να εφαρμόσει μέτρα για τη ελαχιστοποίηση των ρύπων, ακόμη την αύξηση της βιωσιμότητας. Η ηλεκτροδότηση από την ξηρά αποτελεί κεντρικό πυλώνα της στρατηγικής, καθώς η λειτουργία γεννητριών με καύσιμο σε πλοία που διαμένουν σε λιμάνι έχει υπολογιστεί ότι αντιπροσωπεύει το 40% των τοπικών εκπομπών αερίων [76].

Η Αρχή του Λιμένα του Ρότερνταμ έχει θέσει ως στόχο να εγκαταστήσει σταδιακά ένα σύστημα χερσαίας τροφοδοσίας (OPS), ξεκινώντας με πορθμεία και πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας και σταδιακά επεκτείνοντας την υποδομή σε μεγαλύτερα εμπορικά πλοία και κρουαζιερόπλοια έως το 2030 [84].

3.1.2 Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές

Η εφαρμογή του Ηλεκτρισμού του Ρότερνταμ βασίζεται στα διεθνή πρότυπα IEC/ISO/IEEE 80005-1 (πλοία υψηλής τάσης) και 80005-2 (μικρά πλοία χαμηλής τάσης), διασφαλίζοντας ότι το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς τύπους πλοίων, ανεξάρτητα από τη χώρα προέλευσής τους [83].

Οι τεχνικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν:

- ☒ Τα μεγάλα πλοία τροφοδοτούνται με 6,6 kV ή 11 kV.
- ☒ Η δυνατότητα μετατροπής συχνότητας (50/60 Hz) επιτρέπει τη διεθνή διαλειτουργικότητα.
- ☒ Αυτόματο σύστημα συγχρονισμού και προστασίας φορτίου.
- ☒ Συνεχής παρακολούθηση κατανάλωσης ενέργειας και δεδομένων μέσω ψηφιακών δικτύων (έξυπνη παρακολούθηση).

⁴ **WPCAP:** World Ports Climate Action Program. Οι πέντε δράσεις WPCAP χωρίζονται σε πέντε ομάδες εργασίας. Με την ανταλλαγή γνώσεων, την ανάπτυξη κοινών έργων, τη διαμόρφωση πολιτικών και τη δέσμευση του ναυτιλιακού τομέα, στα λιμάνια ελπίζουν ότι μπορούν να επιτύχουν πιο συγκεκριμένη πρόοδο από ό,τι αν ενεργούν μόνοι τους.

Επιπλέον, ένα σημαντικό μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται ξεκινάει από ενέργεια τις ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ), αυξάνοντας τα περιβαλλοντικά οφέλη αυτής της εφαρμογής [76].

3.1.3 Προκλήσεις και εξελίξεις

Παρά την πρόοδο, το λιμάνι του Ρότερνταμ εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις:

1. Το επενδυτικό κόστος των εγκαταστάσεων ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας στην ξηρά είναι υψηλό.
2. Απαιτείται διεθνής συνεργασία ώστε περισσότερα πλοία να είναι τεχνικά συμβατά.
3. Η ανάπτυξη ευφών ενεργειακών δικτύων (έξυπνα δίκτυα) θα επιτρέψει τη δυναμική διαχείριση ενέργειας με βάση τη διαθεσιμότητα και τη ζήτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [80].

Σύμφωνα με τα σχέδια του λιμανιού του Ρότερνταμ, έως το 2030 το λιμάνι στοχεύει να γίνει ένας από τους κορυφαίους πράσινους κόμβους της Ευρώπης και να υλοποιήσει εκτεταμένα έργα ψυχρού σιδερώματος σε όλες τις μεγάλες θέσεις ελλιμενισμού [85].

3.1.4 Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη

Οι προβλέψεις δείχνουν ότι η πλήρης εφαρμογή της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά στο Ρότερνταμ θα ήταν δυνατόν να ελαττώσει τους ρύπους CO₂ το χρόνο περίπου δεκάδες χιλιάδες τόνους, βελτιώνοντας παράλληλα ποιοτικά την σύσταση του αέρα και ελαττώνοντας την ρύπανση του ήχου στην περιοχή του λιμανιού [78]; [76].

Επιπλέον, αυτή η επένδυση ενισχύει την ανταγωνιστικότητα του λιμανιού καθώς περισσότεροι πελάτες απαιτούν υπηρεσίες που μειώνουν το αποτύπωμα άνθρακα των αλυσίδων εφοδιασμού τους [80].

3.2 Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στον λιμένα του Γκέτεμποργκ

Λιμάνι του Γκέτεμποργκ είναι ο πιο μεγάλος λιμένας της Σουηδίας και ένας από τους σημαντικότερους εμπορικούς λιμένες της Σκανδιναβίας. Είναι ένα διεθνές παράδειγμα επιτυχημένης εφαρμογής της τεχνολογίας shore power (ή ψυχρού σιδερώματος). Ήταν ένα

από τους πρώτους λιμένες στον κόσμο που επένδυσε συστηματικά στην ηλεκτροδότηση πλοίων στην ξηρά, δίνοντας έμφαση στη μείωση των εκπομπών και στην προστασία του περιβάλλοντος [78]; [80].



Εικόνα 3.16 Λιμάνι του Γκέτεμποργκ: Ο πρώτος κόμβος ηλεκτρικής μεθανόλης στην Ευρώπη που θα κατασκευαστεί έως το 2025, Πηγή: maritimes.gr

3.2.1 Ιστορική Πρωτοπορία

Το Γκέτεμποργκ ξεκίνησε την εγκατάσταση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά ήδη από το 2000, όταν ανέπτυξε τις πρώτες προγραμματισμένες εγκαταστάσεις πλοίων σε συνεργασία με τοπικές ναυτιλιακές εταιρείες [76]. Εκείνη την εποχή, η χρήση της ισχύος στην ξηρά ήταν εξαιρετικά σπάνια διεθνώς, καθιστώντας το λιμάνι του Γκέτεμποργκ παγκόσμιο πρωτοπόρο.

Ο αρχικός στόχος είναι να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), οξειδίου του αζώτου (NO_2), οξειδίου του θείου (SO_2) και σταγονιδίων (PM) από τα αγκυροβολημένα πλοία, ιδιαίτερα σε πόλεις με υψηλή περιβαλλοντική ευαισθησία [78].

3.2.2 Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές

Οι εγκαταστάσεις στο Γκέτεμποργκ ακολουθούν τα διεθνή πρότυπα IEC/ISO/IEEE 80005-1 για υψηλή τάση, ενώ για μικρότερα πλοία (π.χ. πορθμεία) χρησιμοποιούνται προδιαγραφές χαμηλής τάσης σύμφωνα με το IEC/ISO/IEEE 80005-2 [83].

Οι βασικές τεχνικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν:

- ☑ Παροχή ηλεκτρικής τάσης 6.6 kV για μεγαλύτερα πλοία και 400–440 V για μικρότερα.
- ☑ Συχνότητα 50 Hz, με δυνατότητα μετατροπής όπου απαιτείται.
- ☑ Αυτόματα συστήματα συγχρονισμού για ασφαλή μετάβαση από τις γεννήτριες του πλοίου στο δίκτυο της ξηράς.
- ☑ Σύγχρονη παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω ψηφιακών συστημάτων ελέγχου [80].

Το λιμάνι ενσωματώνει Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό του μείγμα, δίνοντας έμφαση στη χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας, η οποία είναι σημαντική στη Σουηδία, ώστε να μεγιστοποιηθεί το περιβαλλοντικό όφελος [76].

3.2.3 Περιβαλλοντικά οφέλη

Στο λιμάνι εκτιμούν ότι κάθε παράκτιο πλοίο που συνδέεται με την ακτή του Γκέτεμποργκ θα μειώσει:

1. Μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου πεντακόσιους με επτακόσιους τόνους ετησίως.
2. Μείωση των εκπομπών NO_x κατά 10-15 τόνους ετησίως,
3. Μείωση των εκπομπών SO_x κατά 5-10 τόνους ετησίως [86].

Αυτό σημαίνει σημαντικά βελτιωμένη ποιότητα του αέρα για τους κατοίκους της περιοχής και λιγότερη ηχορύπανση, καθώς οι γεννήτριες του πλοίου μπορούν να κλείσουν εντελώς.

3.2.4 Προκλήσεις και στρατηγικές επέκτασης

Στο λιμάνι αναγνωρίζουν ότι οι κύριες προκλήσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά περιλαμβάνουν:

1. Το επενδυτικό κόστος των νέων εγκαταστάσεων είναι υψηλό.

2. Η διασφάλιση της τεχνικής συμβατότητας με όλα τα πλοία που επισκέπτονται τα λιμάνια απαιτεί διεθνή συνεργασία και τήρηση κοινών προτύπων [83].
3. Το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ενισχυθεί για να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας [80].

Ως μέρος της μακροπρόθεσμης στρατηγικής βιωσιμότητας, τα σχέδια του λιμανιού στοχεύουν στην επέκταση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά σε άλλους τομείς όπως τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων και τα κρουαζιερόπλοια [86].

3.3 Ηλεκτρισμός χερσαίων πλοίων στο λιμάνι του Αμβούργου

Λιμάνι στο Αμβούργο είναι το πιο μεγάλο λιμάνι που γίνεται εμπόριο στη Γερμανία και ένα από τα σημαντικότερα στην Ευρώπη. Αποτελεί σημαντικό κόμβο για τη διεθνή ναυτιλία, εξυπηρετώντας πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, επιβατηγά πλοία, κρουαζιερόπλοια και πορθμεία. Λόγω της εγγύτητας των λιμανιών με τα κέντρα των πόλεων, η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι βασικός στόχος και η ισχύς της ξηράς διαδραματίζει βασικό ρόλο σε αυτή τη στρατηγική [76]; [80].



Εικόνα 3.17 Το λιμάνι του Αμβούργου επενδύει στην ενέργεια υδρογόνου, Πηγή: NAYTIKA XRONIKA

3.3.1 Στόχοι και στρατηγικές

Το Αμβούργο έχει αναπτύξει μια ολοκληρωμένη στρατηγική βιωσιμότητας για τα επόμενα χρόνια με στόχο να γίνει ένα από τα πιο πράσινα λιμάνια της Ευρώπης. Ένα σημαντικό μέρος αυτής της στρατηγικής είναι η εφαρμογή ισχύος στην ξηρά σε πλοία που αγκυροβολούν σε λιμάνια, ειδικά σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια, τα οποία καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες καυσίμου ακόμη και όταν είναι σε αδράνεια [78].

Η Λιμενική Αρχή έχει θέσει τους ακόλουθους στόχους:

- ☑ Μέχρι το 2030, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του θείου θα μειωθούν τουλάχιστον κατά 50%.
- ☑ Ανάπτυξη υποδομών κρύου σιδηρώματος (cold ironing) σε όλες τις μεγάλες θέσεις ελλιμενισμού κρουαζιερόπλοιων.
- ☑ και ενίσχυση της συνεργασίας με διεθνείς ναυτιλιακές εταιρείες για να καταστούν τα πλοία τους τεχνικά συμβατά [76].

3.3.2 Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές

Το Αμβούργο ακολουθεί το διεθνές πρότυπο υψηλής τάσης IEC/ISO/IEEE 80005-1, διασφαλίζοντας ότι η υποδομή του είναι συμβατή με πλοία σε όλο τον κόσμο (IEC/ISO/IEEE, 2019). Οι τεχνικές λεπτομέρειες περιλαμβάνουν:

- ☑ Το κρουαζιερόπλοιο τροφοδοτείται με ισχύ 11 kV.
- ☑ Η συχνότητα είναι 60 Hz, η οποία μπορεί να μετατραπεί από τα 50 Hz του γερμανικού δικτύου.
- ☑ Το πλοίο συγχρονίζεται με την ακτή μέσω ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου φορτίου.
- ☑ Δυνατότητα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο μέσω ψηφιακής υποδομής [80].
- ☑ Η ενέργεια που χρησιμοποιείται από το παράκτιο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του Αμβούργου προέρχεται κυρίως ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ), από τον ήλιο και τον αέρα ενέργεια, γεγονός που περισσότερο αυξάνει τις θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις [76].

3.3.3 Περιβαλλοντικά οφέλη

Η εφαρμογή της παράκτιας ενέργειας στο Αμβούργο είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές περιβαλλοντικές βελτιώσεις:

- ☑ Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά δεκάδες χιλιάδες τόνους κάθε χρόνο.
- ☑ Μείωση των εκπομπών NO_x και SO_x που επιβαρύνουν την υγεία των κατοίκων των πόλεων.
- ☑ Δεδομένου ότι οι γεννήτριες των πλοίων απενεργοποιούνται ενώ βρίσκονται στην αποβάθρα, η ηχορύπανση στην περιοχή γύρω από το λιμάνι μειώνεται σημαντικά [87].

3.3.4 Προκλήσεις και Στρατηγικές Ανάπτυξης

Παρά την επιτυχία του, το λιμάνι του Αμβούργου αντιμετωπίζει επίσης αρκετές προκλήσεις:

1. Η αρχική επένδυση στις απαραίτητες υποδομές είναι δαπανηρή.
2. Η διαχείριση και η συντήρηση του συστήματος απαιτεί συνεχή εκπαίδευση του προσωπικού.
3. Συνεργασία με ναυτιλιακές εταιρείες για να διασφαλίσετε ότι τα εισερχόμενα πλοία είναι τεχνικά εξοπλισμένα για ενέργεια στην ξηρά [78]; [80].

Το Αμβούργο σχεδιάζει να επεκτείνει την υποδομή σε περισσότερες θέσεις ελλιμενισμού εμπορευματοκιβωτίων και δεξαμενόπλοιων, με έμφαση στη χρήση έξυπνων δικτύων και Βέλτιστη Ένταξη ΑΠΕ [87].

3.4 Ηλεκτρισμός σκαφών που είναι λιμνάζοντα στο Λος Άντζελες και στο Λονγκ Μπιτς

Λιμάνι του Λος Άντζελες και το Λιμάνι του Λονγκ Μπιτς, το μεγαλύτερο λιμενικό συγκρότημα στις Ηνωμένες Πολιτείες και ένα από τα πιο πολυσύχναστα λιμάνια στον κόσμο, είναι πρωτοπόροι στην εφαρμογή της ενεργειακής τεχνολογίας που βασίζεται στην ξηρά (κρύο σιδέρωμα). Για πολλά χρόνια, οι δύο λιμενικές αρχές συνεργάζονται για τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία που καταπλέουν στα λιμάνια τους και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε πολύ μολυσμένες αστικές περιοχές [82]; [78].



Εικόνα 3.18 Οι μηδενικές εκπομπές είναι μια εξαιρετική ιδέα, αλλά ποιος θα την πληρώσει; Η ΕΡΑ των ΗΠΑ προετοιμάζει ένα μεγάλο ποσό χρηματοδότησης για λιμένες μηδενικών εκπομπών, Πηγή: <https://el.maritimeprofessional.com/news>

3.4.1 Στόχοι και κανονιστικό πλαίσιο

Η Καλιφόρνια έχει μερικούς από τους πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς στον κόσμο. Ήδη από το 2004, το California Air Resources Board (CARB) εξέδωσε κανονισμούς που απαιτούσαν από τα μεγάλα πλοία (ειδικά τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και τα κρουαζιερόπλοια) να χρησιμοποιούν ενέργεια από την ξηρά όταν ελλιμενίζονται σε λιμάνια, μειώνοντας σημαντικά τη χρήση γεννητριών με καύσιμο [82].

Στα λιμάνια του Λος Άντζελες και το Λονγκ Μπιτς έχουν θέσει φιλόδοξους στόχους:

- ☑ Μέχρι το 2025, μείωση των εκπομπών NO_x, SO_x και PM κατά 80-90%.
- ☑ Ανάπτυξη της ισχύς στην ξηρά σε όλα τα μεγάλα αγκυροβόλια πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, κρουαζιερόπλοιων και ρυμουλκών.
- ☑ και ενίσχυση της χρήσης καθαρής ενέργειας με την εργασία με τοπικά δίκτυα [78]; [80].

3.4.2 Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές

Και τα δύο λιμάνια ακολουθούν τις τεχνικές απαιτήσεις του διεθνούς προτύπου IEC/ISO/IEEE 80005-1 για κανονισμούς υψηλής τάσης, διασφαλίζοντας ότι τα πλοία σε διεθνή δρομολόγια μπορούν να συνδεθούν στο τοπικό σύστημα [83].

Οι κύριες τεχνικές παράμετροι περιλαμβάνουν:

- ☑ Παροχή τάσης 6,6 kV ή 11 kV.
- ☑ Συχνότητα 60 Hz, όπως ορίζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο της Βόρειας Αμερικής.
- ☑ Αυτόματος συγχρονισμός, εναλλαγή φορτίου και συστήματα διαχείρισης ασφάλειας.
- ☑ Υποστήριξη ψηφιακών δικτύων (έξυπνη παρακολούθηση) για παρακολούθηση της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο [80].

Η Καλιφόρνια είναι μια από τις πιο προοδευτικές πολιτείες των Ηνωμένων Πολιτειών όσον αφορά τους ενεργειακούς στόχους [82], και ως αποτέλεσμα, ένα αυξανόμενο ποσοστό της διαθέσιμης ενέργειας για την ακτοπλοϊκή ενέργεια και στα δύο λιμάνια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

3.4.3 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη

Τα μέτρα κρύου σιδερώματος (cold ironing) που εφαρμόστηκαν στα λιμάνια του Λος Άντζελες και του Λονγκ Μπιτς είχαν ως αποτέλεσμα:

- ☑ Ελαττώνει τους ρύπους διοξειδίου του άνθρακα κατά πολλούς τόνους κάθε χρόνο.
- ☑ Μειώνει τους τοπικούς ρύπους (NO_x, SO_x, PM) που σχετίζονται με προβλήματα αναπνευστικής υγείας.
- ☑ Καθώς οι γεννήτριες πλοίων παραμένουν ανενεργές, η ηχορύπανση στην περιοχή του λιμανιού μειώνεται [78]; [88].

Μελέτες έχουν δείξει ότι τα έργα παραγωγής ενέργειας στην ξηρά και στα δύο λιμάνια έχουν συμβάλει στη βελτίωση της δημόσιας υγείας, ιδιαίτερα σε ευάλωτες κοινότητες κοντά σε λιμενικές εγκαταστάσεις [82].

3.4.4 Αναπτυξιακά Θέματα και Στρατηγικές

Τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δύο λιμάνια είναι:

1. Η συντήρηση και η αναβάθμιση της υποδομής είναι δαπανηρή.

2. Το πλήρωμα και το προσωπικό του λιμανιού πρέπει να εκπαιδευτούν για τη σωστή διαχείριση του συστήματος.
3. Συνεργασία με διεθνείς ναυτιλιακές εταιρείες για τον εξοπλισμό των πλοίων τους με κατάλληλα συστήματα [80].

Η λιμενική αρχή σχεδιάζει να επενδύσει περαιτέρω σε έξυπνα ενεργειακά δίκτυα και να αυξήσει τη διαθεσιμότητα ενέργειας στην ξηρά σε περισσότερους τερματικούς σταθμούς [88].

3.5 Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στο λιμάνι του Σιάτλ (Ουάσιγκτον)

Λιμάνι του Σιάτλ αποτελεί από τα πιο σημαντικά παραδείγματα πρώιμης και επιτυχημένης υιοθέτησης της τεχνολογίας ηλεκτρικού ρεύματος στην ξηρά (κρύο σιδέρωμα) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Είναι ένα σημαντικό λιμάνι για τα κρουαζιερόπλοια που κατευθύνονται στην Αλάσκα και βασικός κόμβος για την εμπορική ναυτιλία στον Ειρηνικό Ωκεανό, καθιστώντας τη διαχείριση των εκπομπών ρύπων ένα κρίσιμο ζήτημα για την τοπική κοινότητα [78].

3.5.1 Ιστορία και στρατηγική

Λιμάνι του Σιάτλ είναι ένα από την αρχή λιμάνια στις Ηνωμένες Πολιτείες που εισήγαγε εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. Το 2005, συνεργάστηκε με τις μεγάλες εταιρείες κρουαζιέρας της περιοχής για να θέσει σε λειτουργία ένα από τα πρώτα πλήρως λειτουργικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας κρουαζιερόπλοιων στην ξηρά [82].

Η στρατηγική του λιμανιού βασίζεται σε τρεις πυλώνες:

- Μείωση των εκπομπών CO₂ και των τοπικών ρύπων (NO_x, SO_x, PM),
- Βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε γειτονικές αστικές περιοχές όπου ζουν ευάλωτες ομάδες,
- και συμμορφώνονται με τις κρατικές και εθνικές περιβαλλοντικές απαιτήσεις που έχουν θεσπιστεί από την Πολιτεία της Ουάσιγκτον και την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) [89].

3.5.2 Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές

Η εγκατάσταση του Σιάτλ ακολουθεί τις προδιαγραφές υψηλής τάσης του διεθνούς προτύπου IEC/ISO/IEEE 80005-1 για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας με διεθνή κρουαζιερόπλοια [83].

Οι κύριες τεχνικές παράμετροι περιλαμβάνουν:

- ☑ Παροχή τάσης 6,6kV.
- ☑ Συχνότητα 60 Hz, συμβατή με το ηλεκτρικό δίκτυο των ΗΠΑ.
- ☑ Σύστημα αυτόματου συγχρονισμού για την ασφαλή μεταφορά φορτίου από το πλοίο στο δίκτυο της ξηράς.
- ☑ Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης ενέργειας μέσω ψηφιακών πλατφορμών [80].

Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από το λιμάνι παράγεται κυρίως από υδροηλεκτρική ενέργεια, αξιοποιώντας το ενεργειακό μείγμα της Πολιτείας της Ουάσιγκτον, μιας από τις πιο «καθαρές» πολιτείες στις Ηνωμένες Πολιτείες [89].

3.5.3 Περιβαλλοντικά οφέλη

Η εφαρμογή της παράκτιας ενέργειας στο λιμάνι του Σιάτλ έχει αποφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη:

1. Αυτό μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά περίπου 2.900 τόνους ετησίως [89].
2. Η μείωση των εκπομπών NO_x και SO_x έχει άμεσο θετικό αντίκτυπο στη δημόσια υγεία.
3. Καθώς οι γεννήτριες πλοίων είναι ανενεργές, η ηχορύπανση στην περιοχή γύρω από το λιμάνι μειώνεται [78].

Το λιμάνι εκτιμά ότι τα κρουαζιερόπλοια που χρησιμοποιούν ενέργεια από την ξηρά κατά τη διάρκεια στάσεων στο Σιάτλ μπορούν να μειώσουν το αποτύπωμά τους άνθρακα κατά περίπου 30 τοις εκατό [89].

3.5.4 Προκλήσεις και αναπτυξιακά σχέδια

Οι κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το λιμάνι του Σιάτλ είναι:

- ☑ Το αρχικό κόστος της υποδομής είναι υψηλό, ξεπερνώντας τα 4,2 εκατομμύρια δολάρια μόνο για την πρώτη εγκατάσταση [82].
- ☑ Απαιτούνται τεχνικές τροποποιήσεις στα πλοία για να είναι συμβατά με το σύστημα.
- ☑ Συνέχεια να επεκτείνεται σε τερματικούς σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων και άλλες κατηγορίες πλοίων για να μεγιστοποιήσετε τα περιβαλλοντικά οφέλη [80].

Το λιμάνι ανακοίνωσε σχέδια για περαιτέρω επενδύσεις σε έξυπνα δίκτυα και αύξηση της διαθεσιμότητας ενέργειας στην ξηρά σε περισσότερες τοποθεσίες έως το 2030 [89].

3.6 Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στο λιμάνι της Σαγκάης

Λιμάνι της Σαγκάης το πιο μεγάλο λιμάνι που πραγματοποιείται εμπόριο στον κόσμο, που σχέση με τη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων και ένας κόμβος για την παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού. Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει γίνει σοβαρό πρόβλημα στη Σαγκάη, μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις της Κίνας, λόγω του μεγάλου μεγέθους της και του μεγάλου αριθμού επισκεπτών πλοίων [78]; [80]. Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάπτυξη της τεχνολογίας τροφοδοσίας από την ακτή λιμένων (ψυχρό σιδέρωμα) έχει γίνει μια σημαντική τακτική για τη μείωση από τις εκπομπές ρύπων και τη αύξηση του ποιοτικού αέρα.



Εικόνα 3.19 Λιμάνι της Σαγκάης, Πηγή: Reporter.gr

3.6.1 Στόχοι και πλαίσιο πολιτικής

Η Κίνα έχει επιβάλει αυστηρότερους κανονισμούς σε μεγάλα λιμάνια όπως η Σαγκάη ως μέρος μιας εθνικής στρατηγικής για τον έλεγχο της ρύπανσης της ατμόσφαιρας και την ελάττωση των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα. Το 2015 και μετά, η Λιμενική Αρχή της Σαγκάης έχει εφαρμόσει ένα πιλοτικό έργο στην ξηρά, που στοχεύει αρχικά σε κρουαζιερόπλοια και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων [76].

Η στρατηγική επικεντρώνεται σε:

- ☑ Αυτό μειώνει τους ρύπους NO_x, SO_x και PM,
- ☑ Συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα του IMO και τα πρότυπα ηλεκτροκίνησης πλοίων IEC/ISO/IEEE [79]; [83],
- ☑ Μέχρι το 2030, οι εγκαταστάσεις παροχής ρεύματος θα επεκταθούν σε περισσότερες θέσεις ελλιμενισμού [90].

3.6.2 Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές

Οι εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά της Σαγκάης ακολουθούν τα διεθνή πρότυπα IEC/ISO/IEEE 80005-1 για συνδέσεις υψηλής τάσης και 80005-2 για εφαρμογές χαμηλής ισχύος, όπως μικρά φορτηγά πλοία και πορθμεία [83].

Οι τεχνικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν:

1. Τα μεγάλα πλοία τροφοδοτούνται με 6,6 kV ή 11 kV.
2. Συχνότητα 50 Hz, σε συνδυασμό με μετατροπείς για πλοία 60 Hz.
3. Συστήματα αυτόματου συγχρονισμού φορτίου, προστασίας και παρακολούθησης της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο.
4. Διασυνδεδεμένα με τοπικά δίκτυα, τα οποία τροφοδοτούνται όλο και πιο πολύ από αιολική και ηλιακή ενέργεια που αποτελούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) [80].

3.6.3 Περιβαλλοντικά οφέλη

Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή της Σαγκάης έχει φέρει:

1. Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά δεκάδες χιλιάδες τόνους κάθε χρόνο.

2. Μείωση των εκπομπών NO_x, SO_x και σωματιδίων που επηρεάζουν άμεσα την υγεία των κατοίκων των πόλεων.
3. Δεδομένου ότι οι κινητήρες των πλοίων σβήνουν ενώ είναι ελλειμνισμένα, η ηχορύπανση στην περιοχή του λιμανιού μπορεί να μειωθεί [78]; [90].

Εκτιμάται ότι ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων συνδεδεμένο με ηλεκτρισμό στην ξηρά μπορεί να αποφύγει την εκπομπή περίπου 50 τόνων διοξειδίου του άνθρακα ενώ βρίσκεται στο λιμάνι [90].

3.6.4 Προκλήσεις και αναπτυξιακά σχέδια

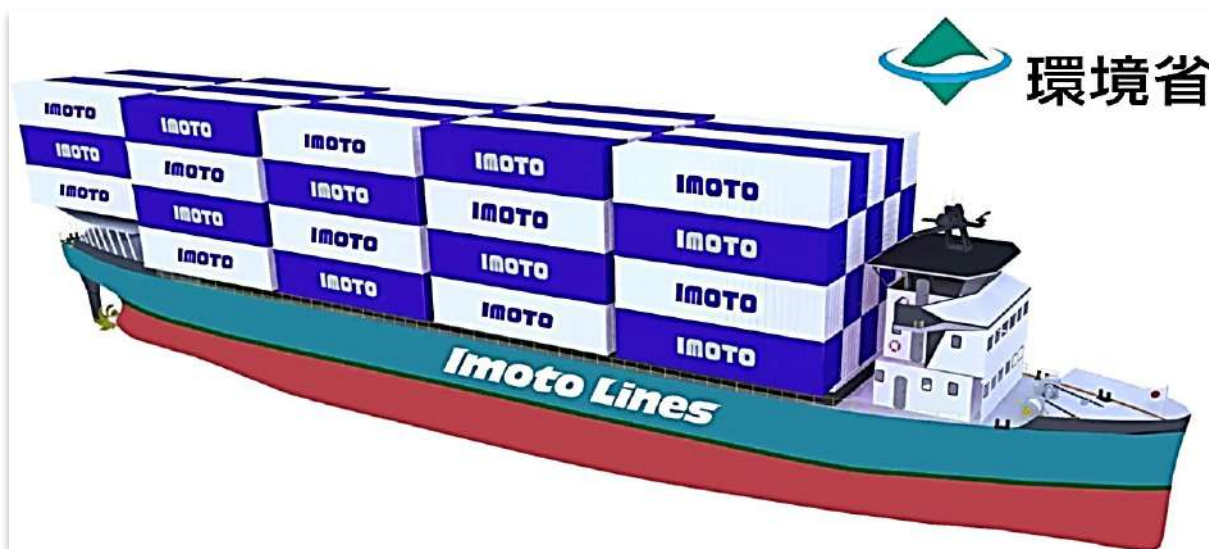
Το λιμάνι της Σαγκάης αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις:

- Το λιμάνι είναι μεγάλο και είναι δύσκολο να εγκατασταθεί ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά σε όλες τις τοποθεσίες.
- Ορισμένα διεθνή πλοία είναι τεχνικά ασύμβατα και δεν έχουν ακόμη αναβαθμιστεί για να υποστηρίξουν κρύο σιδέρωμα.
- και οικονομικές απαιτήσεις για συνεχή συντήρηση και επέκταση της υποδομής [80].
- Παρά τις προκλήσεις, το λιμάνι έχει ανακοινώσει σχέδια για περαιτέρω επέκταση των εγκαταστάσεων έως το 2030 για να φιλοξενήσει περισσότερους τύπους πλοίων και να αυξήσει τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. [90].

3.7 Ηλεκτρισμός πλοίων που εδρεύουν στην ξηρά στο λιμάνι του Κόμπε (Ιαπωνία)

Λιμάνι του Κόμπε είναι ένα από τα πιο μεγάλα και παλιά Ιαπωνικά λιμάνια και έχει γίνει διεθνές μοντέλο για την εφαρμογή της τεχνολογίας ηλεκτρικού ρεύματος (κρύο σιδέρωμα) στην Ασία. Ως σημαντικό εμπορικό και επιβατικό λιμάνι, το Κόμπε δέχεται εκατοντάδες πλοία (πλοία εμπορευματοκιβωτίων, επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια) κάθε χρόνο και αποτελεί στρατηγικό ναυτιλιακό κόμβο στον Ειρηνικό Ωκεανό [78].

Η εφαρμογή της ηλεκτροδότησης των ακτών αποτελεί μέρος της συνολικής πολιτικής της Ιαπωνίας για τη μείωση των εκπομπών, την προστασία της δημόσιας υγείας και την ενίσχυση των πράσινων λιμένων [80].



Εικόνα 3.20 Το φιλόδοξο σχέδιο της Ιαπωνίας για την ανάπτυξη ηλεκτρικών πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, Πηγή: <https://www.naftikachronika.gr/2024/04/30/to-filodoxo-iaponiko-schedio-gia-tin-anaptyxi-ilektrikou-containership/>

3.7.1 Στρατηγική και πολιτική κατεύθυνση

Η ιαπωνική κυβέρνηση, μέσω του Υπουργείου Γης, Υποδομών, Μεταφορών και Τουρισμού (MLIT), έχει προωθήσει μια εθνική στρατηγική για τα πράσινα λιμάνια και το Κόμπε είναι ένα από τα πρώτα λιμάνια που επενδύουν σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας στην ξηρά στο πλαίσιο αυτής της στρατηγικής (MLIT, 2020).

Οι κύριοι στόχοι είναι:

1. Μείωση των εκπομπών CO₂, NO_x και SO₂ από τα πλοία στο λιμάνι.
2. Δεδομένου ότι το λιμάνι βρίσκεται σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή, μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα της τοπικής κοινωνίας.
3. Συμμόρφωση με τις διεθνείς απαιτήσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και εφαρμόστε τα πρότυπα [79]; [83].

3.7.2 Τεχνική υποδομή και προδιαγραφές

Η εγκατάσταση του Κόμπε έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005-1 για υψηλή τάση (HVSC) και το διεθνές πρότυπο 80005-2 για εφαρμογές χαμηλής τάσης για τη διασφάλιση της τεχνικής διαλειτουργικότητας με διεθνή πλοία [83].

Οι βασικές τεχνικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν:

- ☑ Τάση 6,6kV, συχνότητα 60Hz (συμβατό με Ιαπωνικό δίκτυο ισχύος).
- ☑ Δυνατότητα υποστήριξης φορτίων έως 7-10 MW για μεγάλα κρουαζιερόπλοια.
- ☑ Σύστημα αυτόματου συγχρονισμού για ομαλή μετάβαση από τις εσωτερικές γεννήτριες του σκάφους στο δίκτυο της ξηράς.
- ☑ Η κατανάλωση ενέργειας παρακολουθείται και καταγράφεται μέσω ψηφιακών συστημάτων ελέγχου [80].¹

Η Ιαπωνία στοχεύει να ελαττώσει να μην βασίζεται από τα ορυκτά καύσιμα [91], επομένως ένα μεγάλο μέρος του ηλεκτρισμού που χρησιμοποιεί πηγάζει από τον ηλεκτρισμό που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

3.7.3 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη

Η εφαρμογή της υπεράκτιας ενέργειας στο Kobe παρέχει τα ακόλουθα οφέλη:

1. Μείωση των εκπομπών CO₂ κατά περίπου 4.000-5.000 τόνους ετησίως.
2. Μείωση σημαντικά των εκπομπών NO_x και SO_x και βελτίωση την τοπική ποιότητα του αέρα.
3. Μειωμένη ηχορύπανση, καθώς οι κινητήρες παραμένουν σβηστοί ενώ το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι [78].

Η Λιμενική Αρχή εκτιμά ότι η χρήση ενέργειας από την ξηρά θα αυξήσει την ελκυστικότητα του λιμανιού στις διεθνείς γραμμές κρουαζιέρας, οι οποίες αναζητούν πράσινες, φιλικές προς το περιβάλλον λιμενικές υποδομές [91].

3.7.4 Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις

Παρά την πρόοδό του, το Κόμπε εξακολουθεί να αντιμετωπίζει τις ακόλουθες προκλήσεις:

1. Η εγκατάσταση και η συντήρηση της υποδομής είναι ακριβή.
2. Οι εργαζόμενοι και το προσωπικό πρέπει να εκπαιδευτούν στην ασφαλή διαχείριση του συστήματος.
3. Συνεργαστείτε με διεθνείς ναυτιλιακές εταιρείες για να εξοπλίσουν τα πλοία τους με συμβατές τεχνολογίες [80].

Ως μέρος της στρατηγικής του, το λιμάνι σκοπεύει να επεκτείνει τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας στην ξηρά στον τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων και να ενσωματώσει έξυπνα δίκτυα [91].

4 Κεφάλαιο Οικονομική Ανάλυση και Κόστη Εφαρμογής: Η ηλεκτροδότηση λιμένων και πλοίων με βάση την ξηρά

Η ηλεκτροδότηση πλοίων μέσω δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά, διεθνώς γνωστή ως τροφοδοσία από ακτή σε ακτή (SSE) ή ψυχρό σιδέρωμα, είναι μια τεχνολογία που στοχεύει στη μείωση των εκπομπών ρύπων στα λιμάνια αντικαθιστώντας τη χρήση γεννητριών όταν ελλιμενίζονται τα πλοία [91]. Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας έχει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις τόσο για τους φορείς εκμετάλλευσης λιμένων όσο και για τους πλοιοκτήτες.

4.1 Κόστος και οφέλη υλοποίησης: ηλεκτροδότηση λιμένων και πλοίων μέσω ξηράς

Η ηλεκτροδότηση λιμένων και πλοίων μέσω χερσαίων δικτύων (shore power, SSE) είναι γενικά παραδεκτό ότι αποτελεί βασική τακτική για την ελάττωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων στα λιμάνια [92]. Αν και η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας απαιτεί συγκεκριμένο κόστος, μπορεί επίσης να έχει έως αποτέλεσμα πολύ θετικές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

4.1.1 Οικονομικό κόστος εγκατάστασης συστημάτων ηλεκτροκίνησης από ακτή σε λιμάνι

Η εφαρμογή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή σε ακτή (SSE⁵) απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε λιμενικές και θαλάσσιες υποδομές. Το κύριο οικονομικό κόστος για τα λιμάνια περιλαμβάνει την εγκατάσταση υποσταθμών υψηλής τάσης, τη διασύνδεση με το εθνικό δίκτυο, την εγκατάσταση συστημάτων μετασχηματισμού και διανομής ισχύος στον τερματικό σταθμό και την ανάπτυξη ασφαλών μηχανισμών σύνδεσης και αποσύνδεσης πλοίων [93].

Σύμφωνα με τους συγγραφείς στην παραπομπή [94], το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανά αγκυροβόλιο σε μεγάλα εμπορικά λιμάνια κυμαίνεται από 0,5 εκατ. ευρώ έως 2 εκατ.

⁵ **SSE**: Η ανάπτυξη της χερσαίας ηλεκτρικής ενέργειας, της λεγόμενης SSE (Shore Side Electricity - από ακτή σε ακτή), η οποία προμηθεύει ηλεκτρισμό σε ελλιμενισμένα πλοία, είναι μια σημαντική πρωτοβουλία του «Fitfor 55».

ευρώ, ανάλογα με τη χωρητικότητα (σε μεγαβάτ), τον τύπο των πλοίων που εξυπηρετούνται (κρουαζιερόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοία ro-ro) και τις απαιτήσεις αναβάθμισης του υπάρχοντος δικτύου. Από την σκοπιά του πλοιοκτήτη, το κόστος της αναβάθμισης κάθε πλοίου ώστε να είναι συμβατό με SSE ανάμεσα σε διακόσιες χιλιάδες ευρώ έως ένα εκατομμύριο ευρώ, ανάλογα με το μέγεθος και την πολύπλοκη μορφή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού [92]. Παρά το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, η εφαρμογή της SSE προσφέρει σημαντικά λειτουργικά πλεονεκτήματα.

4.1.2 Αναμενόμενα οφέλη από τη μείωση της ρύπανσης

Από τα πιο μεγάλα οφέλη βρίσκονται της εφαρμογής SSE, στην πιο σημαντική μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων στα λιμάνια, ιδίως CO₂, NO_x, SO₂ και σωματιδίων (PM). Σύμφωνα με το ICCT [95], αυτές οι εκπομπές σχετίζονται άμεσα με την καύση πετρελαίου εσωτερικής καύσης θαλάσσης (MGO) σε γεννήτριες ενώ τα πλοία είναι ελλιμενισμένα. Με την αντικατάστασή τους με καθαρότερη ηλεκτρική ενέργεια (ειδικά εάν το δίκτυο τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας), τα λιμάνια μπορούν να ελαττώσουν τους ρύπους CO₂ μέχρι περίπου 50-70%, ενώ οι τοπικοί ρύποι (NO_x, SO_x, PM) μειώνονται σχεδόν στο μηδέν [94].

Επιπλέον, τα περιβαλλοντικά οφέλη θα επεκταθούν στη καλύτερευση ποιοτικά στον αέρα στις παράκτιες περιοχές, έχοντας άμεσο θετικό αντίκτυπο στη δημόσια υγεία και μειώνοντας τα παράπονα και τους κανονισμούς από τις τοπικές κυβερνήσεις.

4.1.3 Αναμενόμενη εξοικονόμηση καυσίμων

Από την πλευρά του πλοιοκτήτη, η αντικατάσταση της καύσης MGO με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση πόρων. Σύμφωνα με [93], η μέση κατανάλωση MGO των μεγάλων εμπορικών πλοίων ενώ βρίσκονται ελλιμενισμένα είναι περίπου 2–4 τόνοι την ημέρα. Οι τιμές MGO είναι περίπου 600-700€/τόνο, που μεταφράζεται σε ημερήσιο κόστος καυσίμου 1.200-2.800€. Αντίστοιχα, το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 80-120 EUR/MWh, γεγονός που θα μείωνε το λειτουργικό κόστος για τους πλοιοκτήτες κατά 30-50%, ανάλογα με τη χώρα και το ενεργειακό μείγμα [95].

Μακροπρόθεσμα, τα οφέλη από την εξοικονόμηση καυσίμων σε συνδυασμό με το μειωμένο κόστος συντήρησης (λόγω μειωμένης φθοράς στα πλοία) θα μπορούσαν να επιτρέψουν την απόσβεση της αρχικής επένδυσης εντός 3-7 ετών για τα πλοία και 5-10 ετών για τα λιμάνια [92].

4.1.4 Συνολική αξιολόγηση

Συνολικά, αν και το οικονομικό κόστος της εγκατάστασης ενός συστήματος SSE είναι υψηλό, τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη που αποφέρει είναι σημαντικά από την άποψη της άμεσης εξοικονόμησης και μακροπρόθεσμα στρατηγικά πλεονεκτήματα, καθιστώντας αυτήν την επένδυση ιδιαίτερα συμφέρουσα [93]; [92]. Παρακάτω ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη και οφέλη από την εφαρμογή της ηλεκτροδότησης πλοίων και λιμένων μέσω δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά.

Πίνακας 4.2 Συνοπτικός πίνακας κόστους-αποτελεσματικότητας SSE

A/ A	Κατηγορία	Στοιχείο	Εκτίμηση / Τιμή	Πηγή
1	Αρχικό κόστος (λιμάνι)	ανά υποδομή ελλιμενισμού	0,5 - 2 εκατομμύρια ευρώ	DNV (2019), Lindstad et al. (2015)
2	Αρχικό κόστος (σκάφος)	Προσαρμογή εξοπλισμού πλοίων	200.000 - 1.000.000 euros	European Commission (2020)
3	Δαπάνες λειτουργίας	Τιμές ηλεκτρικής ενέργειας	80 - 120 EUR/MWh	ICCT (2020)
4	Λειτουργικό κόστος (σύγκριση)	Τιμές καυσίμων (MGO)	150-250 EUR/MWh ή 600-700 EUR/τόνο	DNV (2019)
5	Περιβαλλοντικά Οφέλη	Μείωση των εκπομπών CO ₂	Έως 50–70%	Lindstad et al. (2015)

6	Περιβαλλοντικά Οφέλη	Μείωση των NO ₂ , SO ₂ και PM	Σχεδόν μηδενικές εκπομπές	ICCT (2020)
7	Οικονομικά οφέλη	Εξοικονόμηση καυσίμου ανά ημέρα σύνδεσης	1.200–2.800 EUR/σκάφος (ανάλογα με το μέγεθος)	DNV (2019)
8	Περίοδος απόσβεσης	Λιμάνια	5–10 έτη	European Commission (2020)
9	Περίοδος απόσβεσης	Πλοία	3–7 έτη	European Commission (2020)
10	Στρατηγικά Πλεονεκτήματα	Βελτίωση της εικόνας του λιμανιού και διαμόρφωση σύμφωνα με τους κανονισμούς	Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, αποφυγή προστίμων	ICCT (2020)

4.2 Χρηματοδότηση και επιδοτήσεις: Ευκαιρίες χρηματοδότησης για την εφαρμογή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά και ηλεκτροκίνησης πλοίων

Η εγκατάσταση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή σε ακτή (SSE) σε ένα πλοίο είναι ένα έργο με υψηλή αρχική επένδυση, αλλά συνοδεύεται από σημαντικά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Για την υλοποίηση τέτοιων έργων, η χρηματοδότηση από ευρωπαϊκούς, εθνικούς και ιδιωτικούς φορείς είναι απαραίτητη, καθώς διευκολύνει τη μετάβαση σε «πράσινες» λιμενικές υποδομές και βοηθά στην επίτευξη στόχων για το κλίμα.

4.2.1 Connecting Europe Facility (CEF)

Η διευκόλυνση «Συνδέοντας την Ευρώπη» (CEF) είναι το κύριο χρηματοδοτικό μέσο της ΕΕ για έργα υποδομής στους τομείς των μεταφορών, της ενέργειας και των ψηφιακών υπηρεσιών. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2020), η CEF συγχρηματοδοτεί έργα που προωθούν τη δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών (TEN-T) και συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων ρύπων από τις μεταφορές.



Εικόνα 4.21 Επένδυση στα δίκτυα μεταφορών, ενέργειας και ψηφιακών υποδομών της Ευρώπης, Πηγή: <https://www.cultureinexternalrelations.eu/2020/10/07/connecting-europe-facility/>

Η ηλεκτροδότηση από την ξηρά είναι ένα επιλέξιμο έργο CEF, καθώς μειώνει τις εκπομπές στα λιμάνια και προωθεί τη βιώσιμη χρήση ενέργειας για ελλιμενισμένα πλοία. Το πρόγραμμα μπορεί να παρέχει χρηματοδότηση έως και 50% του συνόλου των επιλέξιμων δαπανών για λιμενικά περιβαλλοντικά έργα [76]. Συγκεκριμένα, η CEF εστιάζει στη χρηματοδότηση υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης, τερματικών συστημάτων διανομής ισχύος και τεχνολογιών σύνδεσης πλοίων.

Η πρόσβαση στο CEF απαιτεί την υποβολή ανταγωνιστικής πρότασης, πλήρη τεχνική και οικονομική ανάλυση και τεκμηρίωση των περιβαλλοντικών οφελών του έργου [92].

4.2.2 Horizon Europe

Το Horizon Europe είναι το πρόγραμμα πλαίσιο έρευνας και καινοτομίας της ΕΕ με συνολικό προϋπολογισμό άνω των 95 δισεκατομμυρίων ευρώ για την περίοδο 2021-2027. Σύμφωνα με την [92], το πρόγραμμα Horizon Europe δεν χρηματοδοτεί άμεσα επενδύσεις σε υποδομές, αλλά υποστηρίζει πιλοτικά έργα, ερευνητικές δράσεις και καινοτόμες τεχνολογίες που σχετίζονται με πράσινες λύσεις για λιμάνια.



Εικόνα 4. Το Horizon Europe είναι το φιλόδοξο πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας της ΕΕ με προϋπολογισμό 95,5 δισεκατομμυρίων ευρώ για την περίοδο 2021-2027, Πηγή: European Commission

Για τα συστήματα SSE, το Horizon Europe μπορεί να χρηματοδοτήσει την ανάπτυξη και τη δοκιμή καινοτόμων τεχνολογιών ηλεκτροκίνησης, όπως νέες μέθοδοι μετατροπής ισχύος, προηγμένα συστήματα ελέγχου ή ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [92]. Η χρηματοδότηση παρέχεται κυρίως σε συνεργατικές πρωτοβουλίες που περιλαμβάνουν πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα, βιομηχανία και δημόσιους φορείς.

4.2.3 European Investment Bank (EIB)

Η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕπ) παρέχει μακροπρόθεσμα δάνεια και χρηματοδότηση για έργα που συμβάλλουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη δράση για το κλίμα. Σύμφωνα με το DNV⁶ [93], η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων κατατάσσει τα έργα ηλεκτροκίνησης πλοίων στην ξηρά μεταξύ εκείνων με θετικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και προσφέρει δανειακά προϊόντα με ευνοϊκούς όρους, όπως μειωμένα επιτόκια και μεγαλύτερες περιόδους αποπληρωμής.



Εικόνα 4.22 IMPACT EUROPE NEWS FROM THE EIB GROUP, Πηγή: <https://www.eib.org/en/infocentre/newsletters/2017-february.htm>

⁶ **DNV**: είναι μια διεθνώς αναγνωρισμένη ένωση εγγραφής και ταξινόμησης με έδρα το Hovik της Νορβηγίας. Η DNV εξυπηρετεί μια ποικιλία βιομηχανιών, Συμπεριλαμβανομένης της ναυτιλίας, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της ηλεκτροκίνησης και της υγειονομικής περίθαλψης.

Η χρηματοδότηση της ΕΤΕπ έχει ως αποτέλεσμα να καλύπτονται τα μη επιδοτούμενα μέρη των επενδύσεων που δεν τα καλύπτουν οι επιχορηγήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή εθνικά προγράμματα, δημιουργώντας έτσι προγράμματα μικτής χρηματοδότησης [93].

4.2.4 ευρωπαϊκά διαρθρωτικά και επενδυτικά ταμεία (ΕΔΕΤ)

Τα ευρωπαϊκά διαρθρωτικά και επενδυτικά ταμεία (ΕΔΕΤ), που περιλαμβάνει το ευρωπαϊκό ταμείο περιφερειακής ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και το ταμείο συνοχής, είναι ένα άλλο χρηματοδοτικό μέσο για έργα βιώσιμων μεταφορών. Σύμφωνα με [76], λιμάνια που βρίσκονται σε περιοχές συνοχής ή λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές θα μπορούσαν να επωφεληθούν από αυτά τα κεφάλαια για επενδύσεις σε πράσινες υποδομές, όπως τα συστήματα SSE.



Εικόνα 4.23 Τα ευρωπαϊκά διαρθρωτικά και επενδυτικά ταμεία να επενδύσουν 405 δις. ευρώ, Πηγή: EurActiv.gr

Η χρηματοδότηση που παρέχεται μέσω του ΕΔΕΤ συνδέεται με εθνικές και περιφερειακές στρατηγικές, οι οποίες συχνά απαιτούν τη συνεργασία Με τις τοπικές αρχές και διαχειριστές έργων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020) [76].

4.2.5 Προγράμματα Green Shipping και Green Ports

Εκτός από το κεντρικό σύστημα της ΕΕ, έχουν αναπτυχθεί ειδικά θεματικά προγράμματα χρηματοδότησης για τη βιώσιμη ναυτιλία και τα πράσινα λιμάνια. Αυτά τα συστήματα παρέχουν ειδική χρηματοδότηση για έργα που μειώνουν τις εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων SSE. Ένα παράδειγμα είναι οι ενέργειες που αφορούν την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, η οποία στοχεύει στην προώθηση της απαλλαγής από τον άνθρακα στον τομέα των μεταφορών [76].



Εικόνα 4.24 Οι πυλώνες ενός πράσινου λιμανιού, Πηγή: <https://medium.com/@Desapex/green-ports-charting-a-sustainable-course-for-maritime-trade-5a533536cd73>

4.3 Χρηματοδότηση και επιδοτήσεις: ευκαιρίες εθνικής χρηματοδότησης για την εφαρμογή συστημάτων ηλεκτροκίνησης ακτών, λιμένων και πλοίων

Η ενέργεια από ακτή σε ακτή (SSE) είναι μια στρατηγική παρέμβαση για την ελάττωση των ρύπων στα λιμάνια και την επιτάχυνση της πράσινης ναυτιλίας. Λόγω του υψηλού αρχικού κόστους εγκατάστασης υποδομής, οι κρατικές επιδοτήσεις και τα φορολογικά προγράμματα είναι οι κύριοι μηχανισμοί υποστήριξης για αυτά τα έργα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

Η εφαρμογή της SSE αποτελεί μία από τις προτεραιότητες των χωρών που ανήκουν στην ΕΕ στο πλαίσιο των Εθνικών Σχεδίων Ενέργειας και Κλίματος (NECPs), που θα οδηγήσει στη δημιουργία εθνικών χρηματοδοτικών μέσων και κινήτρων για την προώθηση της ανάπτυξης τέτοιων έργων [93].

4.3.1 Εθνικό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινων Υποδομών

Πολλές χώρες της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, έχουν εθνικά σχέδια χρηματοδότησης πράσινων υποδομών που καλύπτουν επενδύσεις σε συστήματα ηλεκτροδότησης ακτών λιμένων. Στην Ελλάδα, το Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας χρηματοδοτεί έργα που συμβολή στην ελάττωση των ρύπων CO₂, ακόμη στη προσαρμογή της οικονομίας στην πράσινη μετάβαση [92]. Εφόσον η εγκατάσταση SSE αποτελεί μέρος εγκεκριμένου σχεδίου αναβάθμισης λιμένα, θεωρείται επιλέξιμη δαπάνη στο πλαίσιο αυτών των δράσεων.

Σύμφωνα με το ICCT [102], οι κρατικές πρωτοβουλίες παρέχουν οικονομική υποστήριξη με τη μορφή άμεσων επιχορηγήσεων ή επιδοτήσεων επιτοκίου σε δάνεια που λαμβάνονται για την υλοποίηση έργων. Αυτές οι επιδοτήσεις κυμαίνονται συνήθως από 20% έως 50% του συνολικού κόστους επένδυσης, ανάλογα με το μέγεθος του έργου, την περιοχή υλοποίησης και τα αναμενόμενα περιβαλλοντικά οφέλη.

4.3.2 Φορολογικά οφέλη

Εκτός από τις άμεσες επιδοτήσεις, πολλές χώρες εφαρμόζουν επίσης φορολογικά κίνητρα για εταιρείες που επενδύουν σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. Σύμφωνα με το DNV [93], τα φορολογικά οφέλη μπορεί να περιλαμβάνουν:

- ☒ Απαλλαγή από τον φόρο κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν τα πλοία.
- ☒ Έκπτωση φόρου εισοδήματος για δαπάνες εταιρικών επενδύσεων στο Χρηματιστήριο της Σαγκάης.
- ☒ Οι λιμενικές αρχές και οι εταιρείες που εγκαθιστούν τον σχετικό εξοπλισμό μπορούν να αποσβέσουν τις επενδύσεις τους πιο γρήγορα (επιταχυνόμενες αποσβέσεις).

Αυτά τα φορολογικά κίνητρα μειώνουν τη συνολική δημοσιονομική επιβάρυνση και ενθαρρύνουν τον ιδιωτικό τομέα να συμμετάσχει στη χρηματοδότηση έργων [95].

4.3.3 Εθνικός Λιμενικός Ειδικός Σχεδιασμός

Ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες διαθέτουν ήδη εθνικά προγράμματα χρηματοδότησης ειδικά για λιμάνια, εστιάζοντας σε δράσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση της ρύπανσης. Για παράδειγμα, η Γερμανία έχει εφαρμόσει το πρόγραμμα «*Landstromförderung*», το οποίο επιδοτεί την εγκατάσταση συστημάτων SSE σε λιμάνια και παρέχει επιδοτήσεις έως και 80% για τεχνική υποδομή υψηλής τάσης [92].

Η Νορβηγία έχει λάβει παρόμοια δράση, μέσω του εθνικού προγράμματος Epona, για την παροχή επιδοτήσεων σε λιμάνια και πλοία για εγκατάσταση και χρήση SSE, μειώνοντας έτσι τους οικονομικούς κινδύνους και ενθαρρύνουν την ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας [93].

4.3.4 Συνδυασμός εθνικών και ευρωπαϊκών πηγών

Σε πολλές περιπτώσεις, τα εθνικά χρηματοδοτικά μέσα συνδυάζονται με ευρωπαϊκά προγράμματα, επιτρέποντας τη χρηματοδότηση έργων μέσω μικτών προγραμμάτων επιχορηγήσεων όπως οι [94], το (2015) επεσήμαναν ότι η μικτή χρηματοδότηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα μικρά και μεσαία λιμάνια επειδή δυσκολεύονται να καλύψουν το μη επιδοτούμενο μέρος της επένδυσης.

4.4 Εκτίμηση κόστους-αποτελεσματικότητας: ανάλυση της επενδυτικής αποδοτικότητας και της περιόδου απόσβεσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά και ηλεκτροδότησης πλοίων

Η εγκατάσταση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή σε ξηρά (SSE) σε λιμάνια και πλοία είναι μια επένδυση που απαιτεί μεγάλη αρχική επένδυση κεφαλαίου, αλλά μπορεί να έχει πολλά θετικά τόσο στο περιβάλλον, στην οικονομία όσο και στην κοινωνία. Προκειμένου να αξιολογηθεί η οικονομική βιωσιμότητα τέτοιων έργων, απαιτείται μια ολοκληρωμένη ανάλυση κόστους-οφέλους (CBA), η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τις άμεσες οικονομικές παραμέτρους όσο και τις έμμεσες θετικές επιπτώσεις.

4.4.1 Κόστος Εγκατάστασης

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος SSE περιλαμβάνει:

- ☛ Αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου του λιμανιού (υποσταθμοί υψηλής τάσης, μετασχηματιστές, υποδομές διανομής).
- ☛ Εγκατάσταση συστημάτων σύνδεσης σε προβλήτες (καλώδια, πρίζες, συσκευές ασφαλείας).
- ☛ Αναβάθμιση της τεχνολογίας του σκάφους ώστε να είναι συμβατό με το σύστημα SSE.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική αναφορά [94], το κόστος της λιμενικής υποδομής κυμαίνεται από 500.000 έως 2 εκατομμύρια ευρώ ανά θέση ελλιμενισμού, ανάλογα με τον τύπο του λιμένα, τον αριθμό των πλοίων και τις τεχνικές απαιτήσεις. Από την πλευρά του πλοιοκτήτη, το κόστος της αναβάθμισης κάθε πλοίου εκτιμάται ότι βρίσκεται ανάμεσα στις διακόσιες χιλιάδες και ένα εκατομμύριο ευρώ, σχετικά ποιο είναι το μέγεθος, η πολυπλοκότητα του πλοίου [92].

Το υψηλό αρχικό κόστος αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την εφαρμογή της SSE, αλλά μελλοντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη μπορούν να αντισταθμίσουν αυτό το κόστος.

4.4.2 Οικονομικά Οφέλη

Τα κύρια οικονομικά οφέλη που λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση κόστους-οφέλους περιλαμβάνουν:

1. **Μειωμένο κόστος καυσίμων:** Η αντικατάσταση της χρήσης πετρελαίου εσωτερικής καύσης (MGO) με ηλεκτρική ενέργεια δικτύου μπορεί να μειώσει σημαντικά το λειτουργικό κόστος ενώ το πλοίο είναι ελλιμενισμένο. Το ICCT [95] εκτιμά ότι το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 80–120 €/MWh, ενώ το αντίστοιχο κόστος ενέργειας MGO είναι 150–250 €/MWh. Αυτή η διαφορά μπορεί να εξοικονομήσει έως και 30-50% στο λειτουργικό κόστος.
2. **Μειωμένο κόστος συντήρησης:** Με τη μείωση του χρόνου λειτουργίας των γεννητριών του πλοίου, η φθορά και η ανάγκη συντήρησης περιορίζονται, με αποτέλεσμα πρόσθετα οικονομικά οφέλη [93].
3. **Αποφυγή των πρόστιμων και συμμόρφωση με τους κανονισμούς:** Η χρήση SSE συμβάλλει στη συμμόρφωση με τους κανονισμούς ορίων εκπομπών (π.χ. Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών – ECA), αποτρέπει την επιβολή προστίμων και διασφαλίζει την πρόσβαση σε περιβαλλοντικά κίνητρα [92].

4.4.3 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη

Η ανάλυση κόστους-οφέλους περιλαμβάνει επίσης μη οικονομικές επιπτώσεις. Η χρήση SSE μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές CO₂, NO_x, SO_x και σωματιδίων (PM) στα λιμάνια. Οι συγγραφείς στην βιβλιογραφική αναφορά [94] έδειξαν ότι οι εκπομπές CO₂ μπορούν να μειωθούν κατά 50-70% κατά το διάστημα που βρίσκονται στα λιμάνια σε σχέση με τα σκάφη που λειτουργούν με MGO, ενώ οι εκπομπές NO₂, SO₂ και PM μειώνονται σχεδόν στο μηδέν.

Η βελτιωμένη ποιότητα του αέρα έχει θετικό αντίκτυπο στη δημόσια υγεία, μειώνοντας τις αναπνευστικές ασθένειες και Η συχνότητα εμφάνισης καρδιακών παθήσεων σε περιοχές κοντά σε λιμάνια [95].

4.4.4 Περίοδος απόσβεσης

Η περίοδος απόσβεσης εξαρτάται από:

- Αριθμός πλοίων που χρησιμοποιούν την υποδομή.
- Ο χρόνος ελλιμενισμού κάθε πλοίου.
- Η τιμή του ρεύματος και των καυσίμων.
- Επιδοτήσεις ή επιχορηγήσεις που λαμβάνονται.

Σύμφωνα με μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [76], για τα μεγάλα εμπορικά λιμάνια, ο χρόνος απόσβεσης για επενδύσεις είναι μεταξύ 5 και 10 ετών, ενώ για τα πλοία ο χρόνος απόσβεσης εκτιμάται μεταξύ 3 και 7 ετών, ανάλογα με τη συχνότητα των κλήσεων και τη χρήση της υποδομής.

Σύμφωνα με την DNV [93] επισημαίνει ότι η περίοδος απόσβεσης μπορεί να συντομευθεί περαιτέρω εάν οι λιμένες συμμετέχουν σε προγράμματα επιδοτήσεων και αναλαμβάνουν μέρος του κόστους εγκατάστασης.

4.5 Εφαρμογή συστήματος ηλεκτροδότησης στην ξηρά: μελέτη περιπτώσεων λιμένα

Η εφαρμογή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας από ακτή σε ακτή (SSE) είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη πρακτική στα λιμάνια για τη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και άλλων αέριων ρύπων από τα σκάφη που είναι αγκυροβολημένα στο λιμάνι. Ιδιαίτερο

ενδιαφέρον παρουσιάζει το παράδειγμα των λιμανιών στη Σκανδιναβία, όπου έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην εφαρμογή της SSE, μια τάση που ακολουθείται ενεργά και σε άλλες περιοχές της Ευρώπης.

4.5.1 Λιμάνι του Όσλο (Όσλο, Νορβηγία)

Λιμάνι στο Όσλο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά λιμάνια στον κόσμο στην εφαρμογή SSE. Σύμφωνα με το [93], το έργο ηλεκτροκίνησης ξεκίνησε το 2011, αρχικά για πορθμεία και αργότερα επεκτάθηκε σε κρουαζιερόπλοια και πλοία RoRo. Σήμερα, το λιμάνι διαθέτει υποδομή που αφήνει τα πλοία να έρχονται σε επαφή στο δίκτυο με την ηλεκτρική ενέργεια, ενώ βρίσκονται στα λιμάνια, με σκοπό την ελάττωση των ρύπων CO₂ περίπου στο 50% μέχρι το έτος 2030.

Η υλοποίηση του SSE στο Όσλο χρηματοδοτήθηκε από το εθνικό πρόγραμμα Επونا, το οποίο κάλυψε περίπου το 40–50% του κόστους εγκατάστασης της υποδομής και έλαβε επίσης χρηματοδότηση από ευρωπαϊκά προγράμματα [93]. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή [92] Αναφέρεται ότι το λιμάνι έχει μειώσει με επιτυχία τις εκπομπές NO_x και SO_x σχεδόν στο μηδέν, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα των πόλεων. Ταυτόχρονα, η χρήση SSE ενισχύει την ανταγωνιστικότητα των λιμένων ως βιώσιμων προορισμών, προσελκύοντας πλοία που δίνουν προτεραιότητα στη συμμόρφωση με τα περιβαλλοντικά πρότυπα [95].

4.5.2 Λιμάνι του Γκέτεμποργκ (Γκέτεμποργκ, Σουηδία)

Λιμάνι του Γκέτεμποργκ, το πιο μεγάλο λιμάνι της Σουηδίας, εφαρμόζει SSE από το 2000, ξεκινώντας με πλοία τακτικών γραμμών και σταδιακά επεκτείνοντας σε άλλους τύπους πλοίων [94]. Η [93] σημείωσε ότι το λιμάνι του Γκέτεμποργκ ήταν ένα από τα πρώτα λιμάνια στην Ευρώπη που πρόσφερε οικονομικά κίνητρα στους πλοιοκτήτες που χρησιμοποιούν SSE, παρέχοντας εκπτώσεις στα λιμενικά τέλη για πλοία συνδεδεμένα στο παράκτιο δίκτυο.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή [92] δηλώνει ότι οι εκπομπές CO₂ από το λιμάνι μειώνονται κατά περίπου 60% σε σύγκριση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων κατά την ελλιμενισμό και η χρήση SSE συμβάλλει στη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της Περιοχής Ελέγχου Εκπομπών της Βαλτικής Θάλασσας (ECA).

Το έργο χρηματοδοτείται από συνδυασμό εθνικών κονδυλίων, ευρωπαϊκών κονδυλίων (μέσω CEF) και ιδίων κεφαλαίων του λιμανιού, με τις επιδοτήσεις να αντιστοιχούν περίπου στο 30–50% του συνολικού επενδυτικού κόστους [92].

4.5.3 Λιμάνι της Βαρκελώνης (Βαρκελώνη, Ισπανία)

Ένα άλλο αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το λιμάνι της Βαρκελώνης, το οποίο σχεδιάζει να εφαρμόσει το SSE ως μέρος της στρατηγικής του για το Σχέδιο Βελτίωσης Ποιότητας Αέρα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή [92], το έργο «*Electrification of Terminals*» έχει προϋπολογισμό άνω των 60 εκατομμυρίων ευρώ και περιλαμβάνει την ηλεκτροδότηση τερματικών σταθμών που εξυπηρετούν κρουαζιερόπλοια, φορτηγά πλοία και πορθμεία.

Το έργο χρηματοδοτείται από ευρωπαϊκά προγράμματα όπως το Spanish Recovery and Resilience Fund και τα Ευρωπαϊκά Ταμεία. Το λιμάνι αναμένει ότι, με την ολοκλήρωση του έργου, οι εκπομπές CO₂ θα μειωθούν κατά 66% και οι εκπομπές NO_x κατά 38% έως το 2030 [92].

4.6 Αξιολόγηση αποτελεσματικότητας: Πώς αποδίδουν οι επίγειες τεχνολογίες ηλεκτροκίνησης σε περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου; Ποιες προκλήσεις αντιμετωπίζονται κατά την εφαρμογή;

Η τροφοδοσία από ακτή σε ακτή (SSE) είναι η τεχνική που είναι σχεδιασμένη για τη μείωση των ρύπων στα λιμάνια αντικαθιστώντας τις γεννήτριες που χρησιμοποιούνται όταν ελλιμενίζονται τα πλοία. Αν και η τεχνολογία έχει δοκιμαστεί και εφαρμοστεί σε πολλά λιμάνια σε όλο τον κόσμο, η αποτελεσματικότητά της σε πραγματικές συνθήκες εξαρτάται από τεχνικούς, οικονομικούς και διοικητικούς παράγοντες [93].

4.6.1 Τεχνολογική απόδοση σε πραγματικό περιβάλλον

Η εμπειρία από λιμάνια που έχουν εφαρμόσει SSE, όπως το Όσλο, το Γκέτεμποργκ και το Ρότερνταμ, δείχνει ότι η τεχνολογία μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2020), η χρήση SSE σε αυτά τα λιμάνια μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 50-70%. Οι εκπομπές NO_x, SO_x και σωματιδίων (PM) μειώνονται σχεδόν στο μηδέν κατά τη σύνδεση.

Επιπλέον, ο θόρυβος των λιμένων μειώνεται σημαντικά επειδή οι κινητήρες των πλοίων παραμένουν απενεργοποιημένες όταν συνδέονται στο δίκτυο της ξηράς [94]. Αυτό είχε θετικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων σε περιοχές κοντά στο λιμάνι και συνέβαλε στη μείωση των καταγγελιών και των αντιδράσεων από την τοπική κοινωνία [95].

Η αποτελεσματικότητα μιας σταθερής παροχής ενέργειας (SSE) εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ενεργειακό μείγμα της χώρας. Σε χώρες όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι ακόμη μεγαλύτερα. Αντίθετα, σε περιοχές όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως με λιγνίτη ή άλλα ορυκτά καύσιμα, τα οφέλη είναι περιορισμένα, καθώς οι εκπομπές απλώς «μεταφέρονται» από το λιμάνι στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής [93].

4.6.2 Προκλήσεις Εφαρμογής

Παρά τα πολλά οφέλη της τεχνολογίας SSE, η εφαρμογή της αντιμετωπίζει μια σειρά από προκλήσεις που επιβραδύνουν ή περιπλέκουν την εφαρμογή:

a) Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης

Η εγκατάσταση ηλεκτρολογικών υποδομών (υποσταθμοί, δίκτυα διανομής, συστήματα σύνδεσης) απαιτεί σημαντικές κεφαλαιουχικές δαπάνες. Το κόστος κυμαίνεται από 500.000 έως 2 εκατομμύρια. [92]; [94]. Η οικονομική επιβάρυνση αποτελεί εμπόδιο, ειδικά για τα μικρομεσαία λιμάνια.

b) Έλλειψη τυποποίησης

Η έλλειψη παγκόσμιων προτύπων για τη συνδεσιμότητα πλοίων και λιμένων δυσχεραίνει την εφαρμογή της SSE. Το [95] επισημαίνει ότι τα πλοία που πλέουν σε διαφορετικές χώρες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν ασύμβατα συστήματα σύνδεσης, που απαιτούν πρόσθετες επενδύσεις ή τεχνολογικό μετασχηματισμό.

c) Περιορισμένη πρόσβαση σε υποδομές

Η απόδοση της επένδυσης εξαρτάται από την αξιοποίηση της υποδομής. Σε λιμάνια όπου λίγα πλοία είναι εξοπλισμένα για να συνδεθούν με SSE, η υποδομή υποχρησιμοποιείται, επηρεάζοντας αρνητικά την οικονομική βιωσιμότητα [93]. Οι πλοιοκτήτες πρέπει να επενδύσουν παράλληλα, δημιουργώντας δίλημμα κόστους και αγκυρώσεως, καθώς τα λιμάνια διστάζουν να επενδύσουν χωρίς εγγυημένη ζήτηση, ενώ οι πλοιοκτήτες είναι επίσης

απρόθυμοι να επενδύσουν χωρίς επαρκή ζήτηση. Το λιμάνι δεν παρέχει τις υποδομές που απαιτούνται.

d) Διαχείριση φορτίου ισχύος

Η σύνδεση μεγάλων πλοίων στο παράκτιο δίκτυο απαιτεί υψηλή ισχύ (έως 10 MW για κρουαζιερόπλοια), γεγονός που θέτει προκλήσεις για την εξισορρόπηση και τη σταθερότητα του δικτύου [92]. Σε ορισμένες περιπτώσεις, θα απαιτηθούν πρόσθετες επενδύσεις σε δίκτυα διανομής εντός και εκτός λιμένων.

e) Διοικητικές και ρυθμιστικές προκλήσεις

Η εφαρμογή της SSE απαιτεί συντονισμό μεταξύ πολλών παραγόντων (λιμενικές αρχές, προμηθευτές ενέργειας, ναυτιλιακές εταιρείες, ρυθμιστικές αρχές) και η έλλειψη σαφών κανονισμών ή υποχρεωτικής χρήσης της SSE μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις [95].

4.6.3 Αξιολόγηση επιπτώσεων

Μια συνολική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της SSE δείχνει ότι η τεχνολογία αποδίδει ιδιαίτερα καλά σε περιβαλλοντικό επίπεδο, μειώνοντας ριζικά τις τοπικές εκπομπές ρύπων και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής στις λιμενικές περιοχές [92]; [95]. Οι οικονομικές αποδόσεις επιτυγχάνονται μακροπρόθεσμα, με περιόδους απόσβεσης που υπολογίζονται σε 5-10 χρόνια για τα λιμάνια και 3-7 χρόνια για τα πλοία, ανάλογα με τη χρήση της υποδομής και τα διαθέσιμα φορολογικά κίνητρα [93]; [94].

Ωστόσο, μια επιτυχημένη εφαρμογή απαιτεί:

- ☛ Πολιτική δέσμευση και κίνητρα για τους πλοιοκτήτες,
- ☛ Οικονομική υποστήριξη για μείωση του αρχικού κόστους,
- ☛ Οι τεχνικές απαιτήσεις είναι τυποποιημένες σε διεθνές επίπεδο,
- ☛ Στρατηγικός σχεδιασμός και συνεργασία μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων.

5 Κεφάλαιο Στρατηγικές βελτίωσης

Η τρέχουσα ή κρύα τεχνολογία σιδερώματος είναι απαραίτητη για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα λιμάνια. Ωστόσο, η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας αντιμετωπίζει πολλές τεχνικές, οικονομικές και θεσμικές προκλήσεις. Προκειμένου να εφαρμοστεί καλύτερα αυτή η τεχνολογία, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν και να υιοθετηθούν στρατηγικές για την αντιμετώπιση αυτών των εμποδίων και τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας της εφαρμογής της.

5.1 Συστάσεις για την καλύτερευση της εφαρμογής και της βιώσιμης ανάπτυξης των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά σε λιμάνια και πλοία

Τα επίγεια συστήματα πρόωσης πλοίων είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των ρύπων στα λιμάνια, ειδικά όταν τα πλοία είναι ελλιμενισμένα. Ωστόσο, η μεγάλης κλίμακας και βιώσιμη εφαρμογή τέτοιων συστημάτων απαιτεί στοχευμένες παρεμβάσεις σε τεχνικό, πολιτικό και οικονομικό επίπεδο. Συγκεκριμένες συστάσεις για τη βελτίωση της εφαρμογής και της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας αυτών των συστημάτων συζητούνται παρακάτω.

5.1.1 Ανάπτυξη εθνικών και διεθνών πολιτικών υποστήριξης

Η έλλειψη ενός σαφούς και δεσμευτικού ρυθμιστικού πλαισίου είναι ένα από τα κύρια εμπόδια στην εφαρμογή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. Η θέσπιση υποχρεωτικών κανονισμών για τη χρήση της ξηράς ενέργειας σε λιμάνια σε επίπεδο ΕΕ και Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά την υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας [96]. Επιπλέον, η ανάπτυξη μιας εθνικής στρατηγικής με συγκεκριμένους στόχους και χρονοδιαγράμματα θα επιταχύνει αυτή τη μετάβαση.

5.1.2 Οικονομική υποστήριξη και μοντέλα χρηματοδότησης

Το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης σε λιμάνια και πλοία παραμένει σημαντικό [97]. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, συνιστάται:

- Δημιουργία εθνικών και ευρωπαϊκών ταμείων χρηματοδότησης για λιμάνια που υλοποιούν υποδομές ψυχρού σιδερώματος [98].
- Παροχή κινήτρων σε ναυτιλιακές εταιρείες (π.χ. φοροαπαλλαγές, μειωμένα λιμενικά τέλη).
- Ανάπτυξη ενός μοντέλου σύμπραξης δημόσιου-ιδιωτικού τομέα (PPPs) για την επίτευξη κοινής κατανομής του κόστους επένδυσης [99].

5.1.3 Πρότυπα Τεχνολογικής Καινοτομίας και Διαλειτουργικότητας

Για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία της τεχνολογίας σε πολλά λιμάνια και πλοία, απαιτείται ευρεία υιοθέτηση διεθνών προτύπων όπως τα IEC/ISO/IEEE 80005-1 και 80005-2 [100]. Επιπλέον, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως τα έξυπνα δίκτυα, τα συστήματα διαχείρισης φορτίου και η ενσωμάτωση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και να μειώσει τις εκπομπές.

5.1.4 Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον

Η περιβαλλοντική αξία της ισχύος στην ξηρά εξαρτάται άμεσα από την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση λιγνίτη ή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση πετρελαίου μπορεί απλώς να μεταφέρει τη ρύπανση από τα λιμάνια στις περιοχές παραγωγής [101]. Ως εκ τούτου, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια πρέπει να ενσωματωθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο των λιμένων. Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να αυξήσει τη βιωσιμότητα του συστήματος.

5.1.5 Εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού και τεχνική υποστήριξη

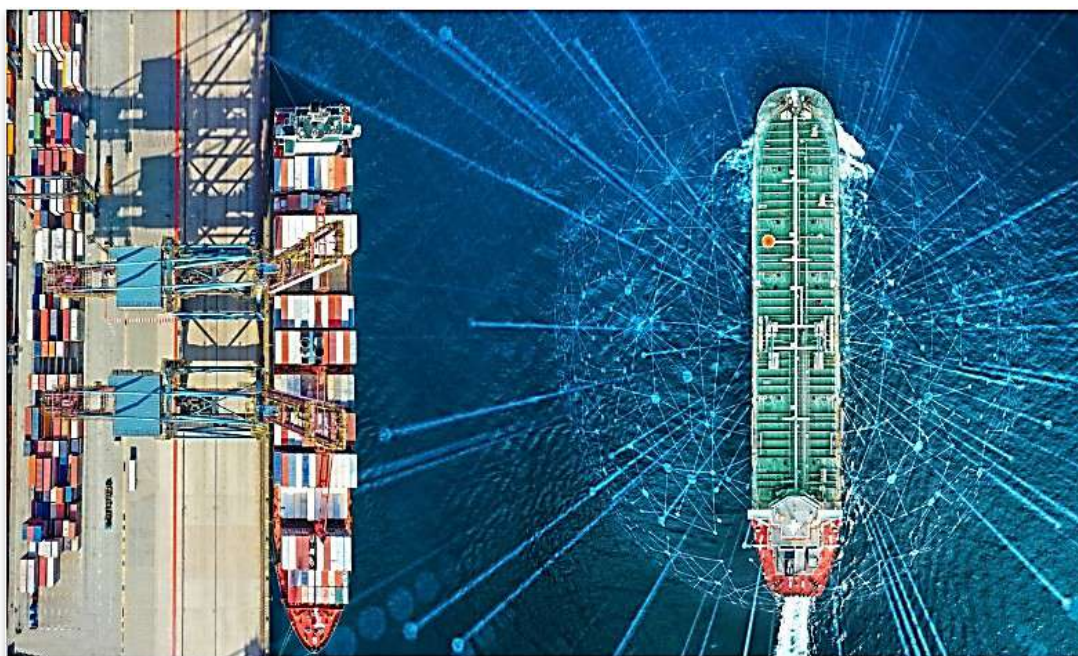
Η ασφαλής και αποτελεσματική χρήση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό στα λιμάνια και στα πλοία. Υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης προγραμμάτων κατάρτισης και πιστοποίησης τεχνικών και μηχανικών [102]. Παράλληλα, στην εύρυθμη λειτουργία του συστήματος συμβάλλει και η δημιουργία υποστηρικτικών τεχνικών υποδομών όπως ομάδες συντήρησης και τηλεχειρισμού.

5.1.6 Πιλοτική εφαρμογή και ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών

Η ενίσχυση πιλοτικών έργων σε στρατηγικούς λιμένες θα μπορούσε να δημιουργήσει τεχνογνωσία και να μειώσει τον δισταγμό σε άλλα λιμάνια [96]. Επιπλέον, η δημιουργία ευρωπαϊκών και διεθνών δικτύων για την ανταλλαγή τεχνικής και διαχειριστικής εμπειρίας (π.χ. το Δίκτυο Πράσινων Λιμένων) προάγει τη συνεργασία και επιταχύνει την εφαρμογή.

5.2 Έξυπνα λιμάνια και ψηφιοποίηση: Πώς η τεχνητή νοημοσύνη και τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να βελτιώσουν την ηλεκτροδότηση των πλοίων και τη βιωσιμότητα των λιμένων

Η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία βρίσκεται στη μέση ενός μετασχηματισμού προς ένα πιο βιώσιμο, αποτελεσματικό και ψηφιοποιημένο σύστημα. Ως σημαντικοί κόμβοι στην εφοδιαστική αλυσίδα, τα λιμάνια υιοθετούν ψηφιακές στρατηγικές και τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης για να μετατραπούν σε «έξυπνα λιμάνια». Αυτός ο μετασχηματισμός περιλαμβάνει όχι μόνο την αποτελεσματικότητα των εμπορικών ροών αλλά και την ηλεκτροδότηση των χερσαίων πλοίων (ψυχρό σιδέρωμα ή ηλεκτρική ενέργεια στην ξηρά) και τη συνολική περιβαλλοντική βιωσιμότητα των λιμανιών.



Εικόνα 5.25 Στα λιμάνια επιτάχυνση την προς ψηφιοποίησης τους, Πηγή:
<https://www.naftikachronika.gr/2020/06/06/pros-tin-epitachynsi-tis-psifiopoiisis-sta-limania/>

5.2.1 Έξυπνα λιμάνια και ψηφιοποίηση: βασικές αρχές

Τα Έξυπνα λιμάνια ενσωματώνουν ψηφιακές τεχνολογίες π.χ. (τεχνητή νοημοσύνη) για τη συλλογή, επεξεργασία και χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι τεχνολογίες εφαρμόζονται στα logistics, τη διαχείριση αγαθών, τις ροές ενέργειας και τα συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης [103].

Η τεχνητή νοημοσύνη, ειδικά μέσω της μηχανικής μάθησης, μπορεί να βελτιστοποιήσει τις αποφάσεις σχετικά με την κατανομή των πόρων, την πρόβλεψη της ζήτησης ισχύος του πλοίου και τη βέλτιστη χρήση των δικτύων ισχύος λιμένων [104].

5.2.2 Τεχνητή Νοημοσύνη στον ηλεκτρισμό πλοίων που βασίζεται στην ακτή

Η χρήση τεχνητής νοημοσύνης σε συστήματα κρύου σιδερώματος (cold ironing) προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- ☑ *Προβλεπτική διαχείριση ενέργειας:* Με βάση ιστορικά δεδομένα και πραγματικές συνθήκες, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προβλέψει πότε και πού θα χρειαστεί ηλεκτρική ενέργεια σε ένα λιμάνι, επιτρέποντας την προφόρτιση της υποδομής ή την έξυπνη εναλλαγή φορτίου [105].
- ☑ *Βελτιστοποίηση κατανάλωσης:* Με την εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τα συστήματα ψυχρού σιδερώματος μπορούν να επιλέξουν την πιο αποδοτική πηγή ενέργειας με βάση το κόστος και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα [106].
- ☑ *Αυτόματη προσαρμογή και απόκριση σε συνθήκες αιχμής:* Σε καταστάσεις υψηλής ζήτησης ή αστάθειας δικτύου, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να εφαρμόσει στρατηγικές «απόκρισης ζήτησης» για την αποφυγή υπερφόρτωσης και τη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος.

5.2.3 Port Smart Energy Network (Smart Grid)

Τα έξυπνα δίκτυα στα λιμάνια χρησιμοποιούν τεχνολογία παρακολούθησης για να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα και την αποδοτικότητα του ενεργειακού εφοδιασμού. Στο πλαίσιο της ηλεκτροδότησης των πλοίων, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν:

- ☑ Διαχειρίζονται πολλαπλές πηγές ενέργειας (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκευση, δίκτυο) και ενισχύουν τη βιωσιμότητα.

- ☑ Αποθηκεύουν ενέργεια όταν η ζήτηση είναι χαμηλή και την απελευθερώνουν όταν χρειάζεται κρύο σιδέρωμα [107].
- ☑ Παρακολουθούν την κατανάλωση και τις εκπομπές σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας ένα σύστημα μέτρησης και ανταμοιβής για πλοία που πληρούν τα περιβαλλοντικά πρότυπα.

5.2.4 Βελτίωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας μέσω της ψηφιοποίησης

Η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει τα λιμάνια να επιτύχουν τους στόχους βιωσιμότητας με:

- Παρακολούθηση με ακρίβεια τους ρύπους από πλοία και εγκαταστάσεις.
- Η δημιουργία ενός ψηφιακού δίδυμου επιτρέπει την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του λιμενικού ενεργειακού συστήματος [108].
- Η διαδικασία πιστοποίησης για πλοία που χρησιμοποιούν καθαρή ενέργεια είναι διαφανής και αυτοματοποιημένη.

5.2.5 Προτάσεις για τη βελτίωση της εφαρμογής

- ☑ Επένδυση σε υποδομές έξυπνων δικτύων με δυνατότητες διασύνδεσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση ενέργειας.
- ☑ Ανάπτυξη μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιώντας δεδομένα από προηγμένα συστήματα παρακολούθησης λιμένων.
- ☑ Εκπαίδευση σε υπαλλήλους και ναυτικούς, σε ψηφιακές δεξιότητες για τη διαχείριση έξυπνων συστημάτων.
- ☑ Συμμετοχή σε ευρωπαϊκά προγράμματα που προωθούν την τεχνολογική καινοτομία και τη βιώσιμη ανάπτυξη (π.χ. Horizon Europe, Green Ports).

5.3 Το μέλλον της χερσαίας ηλεκτροδότησης: τεχνολογικές καινοτομίες, προκλήσεις και προοπτικές την επόμενη δεκαετία

Η ηλεκτροδότηση των πλοίων από την ξηρά (ηλεκτρικό ρεύμα ή κρύο σιδέρωμα) είναι μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες για την απαλλαγή από τον άνθρακα της ναυτιλίας και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στα λιμάνια. Επιτρέπει στα πλοία να κλείνουν τους κύριους

και βοηθητικούς κινητήρες ενώ βρίσκονται στο λιμάνι, μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές CO₂, NO_x, SO_x και σωματιδίων (PM). Σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία και τη διάδοση αυτών των συστημάτων αναμένονται την επόμενη δεκαετία καθώς οι διεθνείς και εθνικές πολιτικές γίνονται όλο και πιο φιλόδοξες.



Εικόνα 5.26 ΝΑΥΠΗΓΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ, Πηγή: https://issuu.com/naftemporikigr/docs/_book_1

5.3.1 Τεχνολογική καινοτομία: Προς ένα πιο έξυπνο, πιο φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα κρύου σιδερώματος

☛ Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθήκευσης

Μία από τις μεγαλύτερες εξελίξεις στην ανάπτυξη της χερσαίας ηλεκτροδότησης ήταν η ενσωμάτωση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και η ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών αποθήκευσης όπως μπαταρίες λιθίου, μπαταρίες ροής και υπερπυκνωτές. Με αυτόν τον τρόπο, το λιμάνι μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια με μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα ακόμη και σε ώρες αιχμής ή σε περιόδους κακής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές [106].

Η τεχνολογία μικροδικτύων (τοπικά αυτόνομα ενεργειακά δίκτυα) επιτρέπει στα λιμάνια να λειτουργούν αυτόνομα την ενέργειά τους, αυξάνοντας έτσι την ανθεκτικότητα του συστήματος [109].

☛ Τεχνητή Νοημοσύνη και Προγνωστική Διαχείριση Φορτίου

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) θα διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στη διαχείριση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. Αξιοποιώντας δεδομένα πλοίου, καιρού, φορτίου και κατανάλωσης, η τεχνητή νοημοσύνη θα προβλέψει τη ζήτηση και θα βελτιστοποιήσει την παροχή ενέργειας σε πραγματικό χρόνο [105].

Επιπλέον, η προγνωστική συντήρηση μειώνει το χρόνο διακοπής λειτουργίας του συστήματος, παρατείνει τη διάρκεια ζωής της υποδομής και μειώνει το λειτουργικό κόστος [103].

☛ **Ρομποτική και Αυτόνομα Συνδεδεμένα Συστήματα**

Μέχρι το 2035, η αυτόνομη σύνδεση των καλωδίων τροφοδοσίας με ρομποτικούς βραχίονες μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως, μειώνοντας τον χρόνο και τα ανθρώπινα λάθη στη διαδικασία [96]. Αυτές οι τεχνολογίες είναι κρίσιμες σε μεγάλα, πολυσύχναστα λιμάνια όπου οι ώρες εξυπηρέτησης είναι περιορισμένες.

5.3.2 Προκλήσεις στην εφαρμογή και επέκταση της τεχνολογίας

☛ **Έλλειψη παγκόσμιας διαλειτουργικότητας**

Αν και το πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005 έχει καθιερωθεί, δεν έχει ακόμη εφαρμοστεί ομοιόμορφα από όλες τις θύρες και τους κατασκευαστές. Αυτό δημιουργεί εμπόδια για τα πλοία να επισκέπτονται διαφορετικά λιμάνια, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα και το κόστος προσαρμογής [100].

☛ **Υψηλό κόστος υποδομής**

Το κόστος αρχικής εγκατάστασης στα λιμάνια υπολογίζεται σε αρκετά εκατομμύρια ευρώ, ειδικά εάν απαιτούνται αναβαθμίσεις στο τοπικό δίκτυο ή αποθήκευση ενέργειας. Τα μικρά ή περιφερειακά λιμάνια συχνά στερούνται την απαραίτητη χρηματοδότηση ή τεχνογνωσία [98].

☛ **Χαμηλή προσαρμοστικότητα στόλου**

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, μεγάλο μέρος του παγκόσμιου στόλου εξακολουθεί να μην είναι εξοπλισμένο για ηλεκτροκίνηση στην ξηρά. Οι ναυτιλιακές εταιρείες είναι προσεκτικές όσον αφορά τις επενδύσεις, ειδικά σε παλαιότερα πλοία που ενδέχεται να αποσυρθούν [97].

5.3.3 Συμπεράσματα

- 1ος)** Η ηλεκτροκίνηση στην ξηρά αναμένεται να είναι βασικό στοιχείο για τη μετάβαση της ναυτιλίας και των λιμένων προς μια στρατηγική πλήρως απελευθερωμένη από τον άνθρακα.
- 2ος)** Η επόμενη δεκαετία αναμένεται να φέρει σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες, όπως έξυπνα δίκτυα, αποθήκευση ενέργειας, ρομποτικό αυτοματισμό και χρήση τεχνητής νοημοσύνης.
- 3ος)** Ωστόσο, η εφαρμογή ήταν άνιση και αντιμετωπίζει τεχνικές, οικονομικές και θεσμικές προκλήσεις.

5.3.4 Προτάσεις για την επόμενη δεκαετία

- 1)** Διεθνής εναρμόνιση τεχνικών προτύπων και καθολική εφαρμογή του IEC/ISO/IEEE 80005 σε όλα τα λιμάνια.
- 2)** Θέσπιση ειδικών χρηματοοικονομικών μέσων για την υποστήριξη λιμένων και ναυτιλιακών εταιρειών που επενδύουν στην τεχνολογία.
- 3)** Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά καθίσταται υποχρεωτική σε λιμένες με μεγάλη ρύπανση ή σε ορισμένους τύπους πλοίων, σύμφωνα με τη νομοθεσία.
- 4)** Προώθηση της καινοτομίας μέσω ευρωπαϊκών προγραμμάτων E&A όπως το Horizon Europe.
- 5)** Εκπαίδευση των υπαλλήλων σε συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, έξυπνα πλέγματα και κρύο σιδέρωμα.
- 6)** Ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ λιμένων, πλοιοκτητών, προμηθευτών ενέργειας και κατασκευαστών εξοπλισμού.

5.4 Διερεύνηση μελλοντικών τάσεων και τεχνολογικών καινοτομιών που αναμένεται να διαμορφώσουν τα «έξυπνα» και βιώσιμα λιμάνια της επόμενης δεκαετίας.

Η παγκόσμια λιμενική βιομηχανία μεταμορφώνεται γρήγορα υπό την πίεση της ψηφιοποίησης, της ανάγκης για βιώσιμη λειτουργία και της ανάγκης αντιμετώπισης κρίσεων όπως η κλιματική αλλαγή ή οι διαταραχές της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα λιμάνια του μέλλοντος γνωστά και ως «έξυπνα πράσινα λιμάνια» θα χαρακτηρίζονται από την

ενσωμάτωση τεχνολογιών και στρατηγικών αιχμής. Σχεδιασμένο για τη καλυτέρευση των λειτουργιών, την ελάττωση των εκπομπών και την επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας.

5.4.1 Μελλοντικές τάσεις ανάπτυξης έξυπνων λιμανιών

☛ Ολοκληρωμένη ψηφιοποίηση και ανάλυση μεγάλων δεδομένων

Οι έξυπνες θύρες την επόμενη δεκαετία θα βασίζονται σε δίκτυα αισθητήρων (Διαδίκτυο των πραγμάτων) και πλατφόρμες ανάλυσης μεγάλων δεδομένων, επιτρέποντας σε πραγματικό χρόνο ολοκληρωμένη λειτουργική ορατότητα και διαχείριση. Με τη συλλογή και τη χρήση δεδομένων από πλοία, γερανούς, αποθήκες και οχήματα. Τα λιμάνια θα μπορούν να προβλέπουν καθυστερήσεις, να διαχειρίζονται τις ροές φορτίου και να βελτιώνουν την απόδοση [103].

☛ Ανάπτυξη Digital Twins

Η υιοθέτηση ψηφιακών δίδυμων, δηλαδή εικονικών αναπαραστάσεων των λιμένων και της υποδομής τους, θα παρέχει προηγμένες δυνατότητες προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για λειτουργίες [108]. Τα ψηφιακά δίδυμα θα χρησιμοποιηθούν για:

- 1) Προληπτική συντήρηση εξοπλισμού.
- 2) Ενεργειακή βελτιστοποίηση.
- 3) Προσομοίωση φορτίου και κίνησης πλοίου.

5.4.2 Βιώσιμη ανάπτυξη και καινοτομία τεχνολογίας καθαρής ενέργειας

☛ Πράσινο δίκτυο ενέργειας και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Το λιμάνι θα μετατραπεί σε ενεργειακό κόμβο παραγωγής, αποθήκευσης και διαχείρισης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες). Θα μειώσει τη χρήση ορυκτών καυσίμων και θα παρέχει καθαρή ενέργεια για τα πλοία μέσω της ηλεκτροδότησης στην ξηρά [109].

☛ Υδρογόνο και άλλες μορφές εναλλακτικής ενέργειας

Το πράσινο υδρογόνο (που παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στα λιμάνια του μέλλοντος, τόσο ως

καύσιμο για εργασίες μηχανημάτων, για τροφοδοσία πλοίων και φορτηγών, όσο και ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας [98].



Εικόνα 5.27 Πράσινο υδρογόνο: Εναλλακτικές λύσεις για τη μείωση των εκπομπών και την προστασία του πλανήτη, Πηγή: DS New Energy

5.4.3 Αυτοματισμός, Ρομποτική και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)

☛ Συστήματα Ρομποτικής και Αυτόνομης Διαχείρισης Φορτίου

Τα λιμάνια θα εξελιχθούν σε αυτοματοποιημένα περιβάλλοντα, με ρομποτικούς γερανούς, αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα (AGV) και drones για επιθεώρηση. Αυτά τα αυτόνομα συστήματα θα χρησιμοποιούν αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης για τη καλύτερευση της κυκλοφορίας, τη μείωση κάποιων καθυστερήσεων και τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας [105].

☛ Τεχνητή Νοημοσύνη για Πρόβλεψη και Βελτιστοποίηση Ενέργειας

Η χρήση AI και μηχανικής εκμάθησης θα επιτρέψει στις θύρες να:

1ος) Προβλέπουν τη ζήτηση ενέργειας.

2ος) Βελτιστοποίησαν τη χρήση των ΑΠΕ.

3ος) Ρυθμίζουν την ηλεκτροδότηση των πλοίων με βάση την ενεργειακή κατάσταση και τις συνθήκες κυκλοφορίας του λιμανιού [106].

5.4.4 Προκλήσεις και ζητήματα εφαρμογής

Παρά τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, ο μετασχηματισμός προς «έξυπνα» και βιώσιμα λιμάνια αντιμετωπίζει προκλήσεις:

- ☛ Έλλειψη διεθνών προτύπων και διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.
- ☛ Δεδομένου ότι πολλά συστήματα είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο, το δίκτυο είναι ασφαλές.
- ☛ Οι ψηφιακές και ενεργειακές υποδομές είναι δαπανηρές, ειδικά για μικρότερα λιμάνια.
- ☛ Το ανθρώπινο δυναμικό πρέπει να εκπαιδευτεί και να επανεκπαιδευτεί για να υποστηρίξει τις νέες τεχνολογίες [97].

6 Κεφάλαιο Παρουσίαση Συμπερασμάτων και Προτάσεων, Προκλήσεων για τα Έξυπνα και Βιώσιμα Λιμάνια

Με βάση την εργασία και την έρευνα που διεξήχθη, αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τα κύρια συμπεράσματα και τις στρατηγικές συστάσεις για την αλλαγή προς το καλύτερο της εφαρμογής και της καλύτερης απόδοσης συστημάτων ηλεκτρικών οχημάτων που βασίζονται στην ξηρά (SEO) σε λιμάνια και πλοία. Η εργασία παρουσιάζει επίσης τις τεχνολογικές καινοτομίες και τις προκλήσεις που αναμένεται να αντιμετωπίσει το SEO που βασίζεται στην ξηρά την επόμενη δεκαετία.

6.1 Συμπεράσματα από την ανάλυση

- 1ος)** Η επίγεια ηλεκτρική πρόωση συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών CO₂, NO_x και SO_x ενώ ενισχύει τη συμμόρφωση με τα διεθνή περιβαλλοντικά πρότυπα όπως το παράρτημα VI της MARPOL και τους κανονισμούς της ΕΕ.
- 2ος)** Η τεχνολογία κρύου σιδερώματος είναι απαραίτητη για την απαλλαγή των λιμένων από άνθρακα, ιδίως μέσω της σύνδεσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προηγμένων δικτύων αποθήκευσης.
- 3ος)** Η έλλειψη διεθνών τεχνικών προτύπων και τυποποίησης (IEC/ISO/IEEE 80005) αποτελεί εμπόδιο στην ευρεία εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας.
- 4ος)** Η εφαρμογή του ψυχρού σιδερώματος απαιτεί αναβάθμιση της ενεργειακής υποδομής των λιμανιών, κυρίως μέσω έξυπνων δικτύων και μικροδικτύων.
- 5ος)** Το υψηλό κόστος εγκατάστασης περιορίζει την εφαρμογή, ειδικά σε μικρότερες ή λιγότερο ανεπτυγμένες θύρες.
- 6ος)** Η οικονομική σκοπιμότητα εξαρτάται από τον χρόνο παραμονής του σκάφους, τη συχνότητα των κλήσεων και τις τιμές της ενέργειας.
- 7ος)** Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση ενέργειας και τη λειτουργική απόδοση, όπως μέσω της προγνωστικής συντήρησης και της αυτοματοποιημένης ρύθμισης ισχύος.
- 8ος)** Η χαμηλή διαθεσιμότητα πλήρως εξοπλισμένων σκαφών παραμένει πρόκληση και μεγάλο μέρος του στόλου απαιτεί αναβάθμιση.

9ος) Πιλοτικά έργα σε ευρωπαϊκά λιμάνια (π.χ. Λος Άντζελες, Ρότερνταμ, έργα element) συνέβαλαν σημαντικά στη δημιουργία τεχνογνωσίας και προτύπων εφαρμογής.

10ος) Η τεχνολογία κρύου σιδερώματος (cold ironing) μπορεί να μετατρέψει τα λιμάνια σε κόμβους βιώσιμης ενέργειας, ενισχύοντας τον ρόλο τους ως μέρος μιας πράσινης εφοδιαστικής αλυσίδας.

6.2 Στρατηγικές Συστάσεις

- 1.** Ανάπτυξη εθνικών και υπερεθνικών πλαισίων πολιτικής για να καταστεί υποχρεωτική η ηλεκτροκίνηση στην ξηρά σε μεγάλα λιμάνια και για πλοία συγκεκριμένου μεγέθους.
- 2.** Ενίσχυση της δημόσιας και ιδιωτικής χρηματοδότησης για επενδύσεις σε κρύο σιδέρωμα και συναφείς υποδομές, χρησιμοποιώντας μέσα όπως το Horizon Europe, ο Ευρωπαϊκός Μηχανισμός Κυκλικής Οικονομίας και η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων.
- 3.** Εκσυγχρονισμός του στόλου παρέχοντας οικονομικά κίνητρα για πλοία προσαρμοσμένα στο κρύο σιδέρωμα, όπως με φοροαπαλλαγές ή μειώσεις των λιμενικών τελών.
- 4.** Ομογενοποίηση τεχνικών προτύπων μέσω της υιοθέτησης και εφαρμογής διεθνώς αναγνωρισμένων πρωτοκόλλων (π.χ. IEC/ISO/IEEE 80005) για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας.
- 5.** Επένδυση σε έξυπνα δίκτυα ενέργειας και υποδομές αποθήκευσης, ενσωματώνοντας ΑΠΕ και τεχνητής νοημοσύνης για την πραγματοποίηση ενεργειακής βελτιστοποίησης.
- 6.** Δημιουργία πλαισίου εκπαίδευσης και κατάρτισης για το λιμενικό προσωπικό και το πλήρωμα, με έμφαση στις ψηφιακές και τεχνολογικές δεξιότητες.
- 7.** Ανάπτυξη και υποστήριξη πιλοτικών έργων σε λιμενικούς κόμβους για τη δημιουργία εμπειρίας και την ανάπτυξη επιχειρησιακών προτύπων.
- 8.** Διασύνδεση με τα έργα κρύου σιδερώματος (cold ironing) με ψηφιακά δίδυμα και συστήματα παρακολούθησης για συνεχή αξιολόγηση της απόδοσης και του αντίκτυπου.

6.3 Βελτίωση της ηλεκτροδότησης και της βιωσιμότητας των λιμένων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης και έξυπνων δικτύων

Η ναυτιλία και τα λιμάνια, ως βασικοί κρίκοι της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας, υφίστανται πίεση να απελευθερωθούν από τον άνθρακα, να ψηφιοποιηθούν και να γίνουν ενεργειακά αποδοτικά. Σε αυτό το πλαίσιο, οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης (AI) και έξυπνων δικτύων γίνονται βασικοί μοχλοί ενεργειακού και περιβαλλοντικού μετασχηματισμού στα λιμάνια, ειδικά στην εφαρμογή συστημάτων ισχύος πλοίων που βασίζονται στην ξηρά (κρύο σιδέρωμα).

6.3.1 Τεχνητή Νοημοσύνη στη Διαχείριση Λιμενικής Ενέργειας



Εικόνα 6.28 Η ψηφιοποίηση και η τεχνητή νοημοσύνη είναι το κλειδί για την ενεργειακή μετάβαση,
Πηγή: <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/i-psifiopiisi-ke-i-techniti-noimosini-klidi-gia-tin-energiaki-metavasi-2/>

Η τεχνητή νοημοσύνη παρέχει την ανάλυση μεγάλων δεδομένων και τις δυνατότητες πρόβλεψης μοντελοποίησης που απαιτούνται για την αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας. Τα βασικά οφέλη περιλαμβάνουν:

1ος) Προγνωστική Διαχείριση Ενέργειας

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προβλέψει τις ανάγκες ισχύος των πλοίων σε ένα λιμάνι με βάση ιστορικά δεδομένα, καιρικές συνθήκες, τύπο πλοίου και χρόνο παραμονής [106]. Αυτό επιτρέπει στις θύρες να προσαρμόζουν δυναμικά την ισχύ, να μειώνουν τις απώλειες και να βελτιώνουν την αξιοπιστία του συστήματος.

2ος) Βελτιστοποίηση Φορτίου

Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διαχειριστεί την κατανομή των φορτίων ισχύος μεταξύ πλοίων και λιμενικών εγκαταστάσεων, εξισορροπώντας την προσφορά και τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο [105].

3ος) Προγνωστική συντήρηση

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ανιχνεύσει ανωμαλίες στον εξοπλισμό (καλώδια, μετασχηματιστές, πίνακες) και να προβλέψει πότε χρειάζεται συντήρηση, μειώνοντας έτσι το χρόνο διακοπής λειτουργίας και το κόστος ανάκτησης [103].

6.3.2 Έξυπνα δίκτυα και ψηφιακές θύρες λιμανιών

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο του λιμανιού μπορεί να συνδέει, να διανέμει και να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με βελτιστοποιημένο και αυτοματοποιημένο τρόπο. Τα χαρακτηριστικά τους είναι:

1ος) Ένταξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Τα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν στα λιμάνια να χρησιμοποιούν ηλιακή ή αιολική ενέργεια για την τροφοδοσία πλοίων, αυξάνοντας έτσι τη βιωσιμότητα των συστημάτων κρύου σιδερώματος (cold ironing) [109].

2ος) Αποθήκευση ενέργειας

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες, υπερπυκνωτές) μπορούν να αποθηκεύσουν την περίσσεια ενέργειας και να την απελευθερώσουν όταν αυξάνεται η ζήτηση, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από εξωτερικά δίκτυα [98].

3ος) Δυνατότητα διαχείρισης πολλαπλών ροών ενέργειας

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία έξυπνων μετρητών, τα λιμάνια μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο για πλοία, γερανούς, ψύκτες, αποθήκες και άλλα [108].

6.3.3 Η συνέργεια τεχνητής νοημοσύνης και έξυπνων δικτύων: προς το λιμάνι του μέλλοντος

Ο συνδυασμός τεχνητής νοημοσύνης και έξυπνων ενεργειακών δικτύων θα δημιουργήσει ένα αυτορρυθμιζόμενο, ενεργειακά αποδοτικό λιμενικό οικοσύστημα που θα χαρακτηρίζεται από:

☑ Αυτόνομη σύνδεση/αποσύνδεση πλοίων σε συστήματα κρύου σιδερώματος (cold ironing) με ρομποτικό σύστημα [96].

☑ Χρησιμοποίηση ψηφιακών δίδυμων για να προσομοιώσει ενεργειακά σενάρια και στρατηγικό σχεδιασμό υποδομών.

☑ Ανταπόκριση σε ενεργειακές κρίσεις μέσω της αυτονομίας, της προβλεψιμότητας και της προσαρμοστικότητας του συστήματος.

6.3.4 Προκλήσεις και Ζητήματα Εφαρμογής

Ενώ τα οφέλη είναι σημαντικά, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις:

- ☛ Ασφάλεια και διακυβέρνηση δεδομένων σε πολυεπίπεδα συστήματα ΑΙ και ΙοΤ.
- ☛ Το αρχικό κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης με υποδομές ΑΠΕ και κρύου σιδερώματος (cold ironing) είναι υψηλό.
- ☛ Οι εργαζόμενοι πρέπει να εκπαιδευτούν ώστε να υποστηρίζουν και να αξιοποιούν τις ψηφιακές τεχνολογίες.

6.4 Τεχνολογική καινοτομία και προκλήσεις της ηλεκτροδότησης της γης την επόμενη δεκαετία

Η τροφοδοσία στην ξηρά (ή το κρύο σιδέρωμα) είναι βασικό στοιχείο της απανθρακοποίησης της ναυτιλίας και των στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης των λιμένων. Καθώς πλησιάζει το έτος 2035, η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας αναμένεται να επηρεαστεί από σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες, αλλά και από προκλήσεις που σχετίζονται με τη χρηματοδότηση, την τυποποίηση και την προσαρμογή του στόλου.

6.4.1 Τεχνολογική καινοτομία

1ος) Ανάπτυξη έξυπνων ενεργειακών δικτύων (έξυπνα δίκτυα)

Το λιμάνι θα υιοθετήσει ένα έξυπνο δίκτυο διανομής ενέργειας, το οποίο θα ενσωματώνει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική) και τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας. Τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να επιτρέψουν τη δυναμική ρύθμιση φορτίου, τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης και την παροχή πράσινης ενέργειας στα πλοία, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα [109].

2ος) Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης (ΑΙ).

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προγνωστική διαχείριση ενέργειας με βάση τις αφίξεις πλοίων, τον τύπο φορτίου, τον καιρό και την κατάσταση του δικτύου [106].

Επιπλέον, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης θα βοηθήσουν στην προγνωστική συντήρηση του συστήματος και στην αυτοματοποιημένη διανομή ενέργειας.

3ος) Τεχνολογίες συνδεσιμότητας αυτονομίας και ρομποτικής

Αναμένεται ότι οι ρομποτικοί βραχίονες θα χρησιμοποιηθούν ευρέως για την αυτόματη σύνδεση/αποσύνδεση καλωδίων, ελαχιστοποιώντας έτσι τον ανθρώπινο παράγοντα και βελτιώνοντας την ασφάλεια, ειδικά σε μεγάλα ή πολυσύχναστα λιμάνια [106].

4ος) Υβριδικά ενεργειακά συστήματα και ενέργεια υδρογόνου

Η συμπληρωματική χρήση του υδρογόνου, είτε για άμεση παραγωγή ενέργειας είτε για αποθήκευση, θα ενισχύσει την ευελιξία των συστημάτων κρύου σιδερώματος, ειδικά σε περιοχές χωρίς πρόσβαση σε ισχυρό δίκτυο [98].

5ος) Digital Twin

Δημιουργώντας μια ψηφιακή αναπαράσταση λιμένων και ροών ενέργειας, τα ψηφιακά δίδυμα θα επιτρέψουν προσομοιώσεις σεναρίων, αξιολογήσεις απόδοσης και ακριβή σχεδιασμό υποδομής [108].

6.4.2 Κύριες Προκλήσεις

1ος) Υψηλό αρχικό κόστος υποδομής

Η εφαρμογή κρύου σιδερώματος απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας, μετασχηματιστές, γραμμές και έξυπνα συστήματα. Αυτό περιορίζει ιδιαίτερα την εφαρμογή του σε λιμάνια με χαμηλότερο προϋπολογισμό [97].

2ος) Έλλειψη διεθνών προτύπων και διαλειτουργικότητας

Αν και υπάρχουν διεθνή πρότυπα (IEC/ISO/IEEE 80005), αυτά δεν εφαρμόζονται ομοιόμορφα παγκοσμίως, οδηγώντας σε προβλήματα τεχνικής συμβατότητας μεταξύ πλοίων και λιμανιών [100].

3ος) Χαμηλό επίπεδο προσαρμογής του παγκόσμιου στόλου

Πολλά πλοία, ειδικά τα παλαιότερα, δεν είναι εξοπλισμένα με εξοπλισμό κρύου σιδερώματος και εάν τα πλοία δεν μετασκευαστούν εκ των υστέρων ταυτόχρονα, η κερδοφορία των λιμενικών επενδύσεων θα μειωθεί [102].

4ος) Κυβερνοασφάλεια και διαχείριση δεδομένων

Η χρήση του ΑΙ και του ΙοΤ αυξάνει τον κίνδυνο κυβερνοεπιθέσεων και την ανάγκη για ασφαλή διαχείριση δεδομένων, ειδικά σε στρατηγικά ή εμπορικά ευαίσθητα λιμάνια [108].

7 Βιβλιογραφία

- [1] Lind. M et.al, «Hamnen som digital nod – förstudie, TRV 2050/50902,» Trafikverket, 2021a.
- [2] Bach. A et.al, «Hamnen som energinod – ett koncept för hamnens roll i omställningen mot ett hållbart transportsystem,» RISE, 2022.
- [3] Berglund. P & Andersson. G, «Tilläggsuppdrag hamnar. Inom ramen för regeringsuppdraget Nationell samordnare för inrikes och närsjöfart,» Trafikverket, 2021.
- [4] Notteboom. T et.al, «The role of seaports in green supply chain management: Initiatives, attitudes, and perspectives in Rotterdam, Antwerp, North Sea Port, and Zeebrugge,» *Sustainability*, τόμ. 12, αρ. 4, 2020.
- [5] World Bank, «Mombasa: Options for the port city interface – final report,» Washington, D.C., 2017.
- [6] Roberts. T Williams. I & Preston. J, «The Southampton System: A new universal standard approach to port-city classification,» *Maritime Policy & Management*, τόμ. 48, αρ. 4, p. 530–542, 2020.
- [7] Roberts. T et.al, «Love thy neighbour: Social benefits and port-city relationships,» *Sustainability*, τόμ. 13, αρ. 1, 2021.
- [8] Roberts. T. et.al, «Port sector transition towards a circular economy: The role of innovation, governance and embeddedness,» *Sustainability*, τόμ. 13, αρ. 1, 2021.
- [9] Miola. A et.al, «External costs of transportation. Case study: Maritime transport,» European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Geel, Belgium, 2009.
- [10] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), «The competitiveness of global port cities: Synthesis report,» 2013.
- [11] Castells Sanabra. M Usabiaga Santamaría. J. J & Martínez De Osés. F. X, «Manoeuvring and hotelling external costs: Enough for alternative energy sources?,»

- Maritime Policy & Management*, τόμ. 41, αρ. 1, p. 42–60, 2013.
- [12] United Nations, «sdgs.un.org,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sdgs.un.org/goals>.
- [13] Gharehgozli. A H et.al, «Evaluating a “wicked problem”: A conceptual framework on seaport resiliency in the event of weather disruptions,» *Technological Forecasting and Social Change*, τόμ. 121, p. 65–75, 2017.
- [14] Hou. L & Geerlings. H, «Dynamics in sustainable port and hinterland operations: A conceptual framework and simulation of sustainability measures and their effectiveness, based on an application to the Port of Shanghai,» *Journal of Cleaner Production*, τόμ. 135, p. 449–456, 2016.
- [15] Hsu. W-K & Huynh. N. T, «An evaluation of productive efficiency for container terminals affiliated to a single organisation,» *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, τόμ. 57, αρ. 1, p. 59–76, 2023b.
- [16] Hsu. W-K et.al, «A risk assessment model of work safety in container dry ports,» *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Maritime Engineering*, τόμ. 176, αρ. 4, p. 193–205, 2023.
- [17] Ashrafi. M et.al, «A review of corporate sustainability drivers in maritime ports: A multi-stakeholder perspective,» *Maritime Policy & Management*, τόμ. 47, αρ. 8, p. 1027–1044, 2020.
- [18] Kuznetsov. A et.al, «Towards a sustainability management system for smaller ports,» *Marine Policy*, τόμ. 54, p. 59–68, 2015.
- [19] Lu. C-S Shang. K-C & Lin C-C, «Examining sustainability performance at ports: Port managers’ perspectives on developing sustainable supply chains,» *Maritime Policy & Management*, τόμ. 43, αρ. 8, p. 909–927, 2016.
- [20] Makkawan. K & Muangpan. T, «A conceptual model of smart port performance and smart port indicators in Thailand,» *Journal of International Logistics and Trade*, τόμ. 19, αρ. 3, p. 133–146, 2021.
- [21] Gharehgozli. A-H et.al, «Evaluating a "wicked problem": A conceptual framework on seaport resiliency in the event of weather disruptions,» *Technological Forecasting and Social Change*, τόμ. 121, p. 65–75, 2017.
- [22] Lawer. E T, «CORE,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available:

<https://core.ac.uk/download/286540225.pdf>.

- [23] Tichavska. M et.al, «Air emissions from ships in port: Does regulation make a difference?,» *Transport Policy*, τόμ. 59, p. 303–311, 2017.
- [24] World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), «WG150 "Sustainable ports": A guidance for port authorities (Revision 6),» PIANC, 2013.
- [25] Saxe. H & Larsen. T, «Air pollution from ships in three Danish ports,» *Atmospheric Environment*, τόμ. 38, p. 4057–4067, 2004.
- [26] Widyawati. N & Ardyansyah. M D, «Energy resources, greenport, and modern technology in the port terminal operational business efficiency,» *International Journal of Entrepreneurship and Business Development*, τόμ. 5, αρ. 3, p. 1865, 2022.
- [27] Chan R Y K et.al, «Environmental orientation and corporate performance: The mediation mechanism of green supply chain management and moderating effect of competitive intensity,» *Industrial Marketing Management*, τόμ. 41, αρ. 4, p. 621–630, 2012.
- [28] Mintu. A T & Lozada. H R, «Green marketing education: A call for action,» *Marketing Education Review*, τόμ. 3, αρ. Fall, p. 17–23, 1993.
- [29] Karna. J Hansen. E & Juslin. H, «Social responsibility in environmental marketing planning,» *European Journal of Marketing*, τόμ. 37, αρ. 5/6, p. 848–871, 2003.
- [30] Abdel-Aziz. A, «Green supply chain management and competitive advantage of Jordanian pharmaceutical industry,» *Sustainability*, τόμ. 13, αρ. 23, 2021.
- [31] Stein. M & Acciaro. M, «Value creation through corporate sustainability in the port sector: A structured literature analysis,» *Sustainability*, τόμ. 12, αρ. 14, 2020.
- [32] PROMPT Project Staff, «UCP Knowledge Network,» 7 Φεβρουαρίου 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/stories/green-ports-concept-and-prompt>.
- [33] Notteboom. T & Pallis. A A, «Green port governance,» σε *Port economics, management and policy*, PortEconomics, 2025.
- [34] Eurelectric, «Eurelectric,» 1 Φεβρουάριος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eurelectric.org/news/green-ports/>.

- [35] European Union, «Regulation (EU) 2023/1805 on the deployment of alternative fuels infrastructure,» Eur-Lex, 2023.
- [36] European Commission, «Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU. COM(2021) 559 final,» European Commission, 2021.
- [37] Energy Community, «AFIR: Alternative fuels infrastructure regulation,» 20 December 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.energy-community.org/dam/jcr:cae3c8a3-04a5-4eb3-9c84-0b52d1f58c6e/AFIR_2023.pdf.
- [38] International Maritime Organization, «International Maritime Organization,» 7 July 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>.
- [39] Isalos.net, «MARPOL: Η σύμβαση-προστάτης του θαλάσσιου περιβάλλοντος,» Isalos.net, 2024.
- [40] *Σημειώσεις διεθνείς θεσμοί και ναυτιλιακή πολιτική.*
- [41] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, «Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2024–2028,» 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://deddie.gr/media/48198/%CF%83%CE%B1%CE%B4-2024-2028-%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%87%CE%BF%CF%83_2_7_24.pdf.
- [42] Τσαμόπουλος. Μ, «Newmoney,» 5 Φεβρουαρίου 2025. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/emsa-i-naftilia-efthinete-gia-to-142-ton-ekpompon-co2-apo-tis-metafores-stin-ee/>.
- [43] European Parliament, «europarl.europa.eu,» 7 June 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20220610STO32720/meiosi-ekpompon-apo-aeroplana-kai-ploia-ta-metra-tis-ee>.
- [44] European. Commission, «ec.europa.eu,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12312-%CE%95%CE%BA%CF%80%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%B5%CF%82-CO2-%CE%B1%CF%80%CE%BF-%CF%84%CE%B7-%CE%BD%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BB%CE%B9%CE%B1-%CE%B5%CE%BD%CE%B8%CE>

%B1%CF%81%CF%81%CF%8.

- [45] Μπέντσος. Χ, «OffLine Post,» 4 Οκτωβρίου 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.offlinepost.gr/2019/10/04/η-ευρωπαϊκή-πολιτική-για-την-αντιμετώ/>.
- [46] Bailey. J & Euronews Green, «Euronews,» 9 Απρίλιος 2025. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://gr.euronews.com/green/2025/04/09/pagkosmios-foros-anthraka-sti-naftilia-gia-tis-meiwseis-ripwn>.
- [47] Sun. Z & Shi. B, «Dynamic emission reduction strategy for shipping company considering shipper's cancellation of cabin space,» *Social Science Studies Research*, τόμ. 5, αρ. 3, p. 221–234, 2024.
- [48] Ministry of Energy & Natural Resources, «Solar energy overview,» Turkish Ministry of Energy and Natural Resources, (2022a).
- [49] Lam. J S L Notteboom T & Ng. A K Y, «The greening of ports: A comparison of port management tools used by leading ports in Asia and Europe,» *Transport Reviews*, τόμ. 37, αρ. 5, p. 653–675, 2017.
- [50] Ministry of Energy and Natural Resources, «Wind energy technologies and applications,» Turkish Ministry of Energy and Natural Resources, 2022b.
- [51] Li. J Zhang. Y & Wang. Z, «Wave energy potential and technology status: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 135, 2021.
- [52] Intergovernmental Panel on Climate Change, «Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,» Cambridge University Press, 2012.
- [53] Alamoush. A Ballini. F & Ölçer. A I, «Sustainability in maritime supply chains: A structured literature review and research agenda,» *Sustainability*, τόμ. 12, αρ. 19, 2020.
- [54] Yorke. D González-Aregall. M & Bergqvist. R, «Renewable energy in port operations: Policy and practice,» *Journal of Cleaner Production*, τόμ. 354, 2022.
- [55] Aregall. M G Bergqvist. R & Monios. J, «Port hinterland access and green port performance: A European survey,» *Transport Policy*, τόμ. 69, p. 1–14, 2018.
- [56] Ballini. F & Bozzo. R, «Cold ironing and port emissions: Environmental evaluation and economic feasibility,» *Research in Transportation Business & Management*, τόμ. 17, p. 92–98, 2015.

- [57] Chen. H Xu. M & Liu. J, «Design and simulation of shore-to-ship power supply system,» *Journal of Marine Science and Engineering*, τόμ. 7, αρ. 1, 2019.
- [58] NR, «Robert Jenssen – NR,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://nr.no/ansatte/robert-jenssen/>.
- [59] Daniel. S Kurniawan. R & Lee. J, «Challenges and prospects of cold ironing adoption in European ports,» *Sustainable Maritime Technologies*, τόμ. 11, αρ. 2, p. 125–140, 2022.
- [60] Port of Rotterdam, «Energy transition projects in the port area: From wind to green hydrogen,» Port of Rotterdam Authority, 2022b.
- [61] Port of Antwerp, «Port of Antwerp-Bruges,» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.portofantwerpbruges.com/en/our-port/climate-andtransition>.
- [62] González-Aregall. M Bergqvist. R & Monios. J, «Port sustainability: A critical review of contemporary issues,» *Marine Pollution Bulletin*, τόμ. 172, 2021.
- [63] Christodoulou. A & Woxenius. J, «Sustainable short sea shipping,» *Sustainability*, τόμ. 11, αρ. 10, 2019.
- [64] Perić. T Božić. D & Vila. M, «Green port strategies for sustainable development,» *Sustainability*, τόμ. 13, αρ. 5, 2021.
- [65] Acciaro. M Ghiara. H & Cusano. M. I, «Energy management in seaports: A new role for port authorities,» *Energy Policy*, τόμ. 71, p. 4–12, 2014.
- [66] Yousefi. H Mazraati. M & Sadrameli. S M, «Cold ironing implementation in shipping: Economic and environmental assessments,» *Energy Reports*, τόμ. 6, p. 2230–2241, 2020.
- [67] Chen. L Xu. Y & Wang. W, «Development and evaluation of a shore power system for sustainable port operation,» *Journal of Cleaner Production*, τόμ. 236, 2019.
- [68] He. Y Liu. M & Liu. W, «Comparative analysis of NOx reduction measures for ships at berth: Low-sulfur fuel vs shore power,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 86, 2019.
- [69] New South Wales Environment Protection. Authority, «New South Wales State of the Environment 2015,» Government of New South Wales, 2015.

- [70] European Environment Agency, «Shipping and the environment: State of play and policy perspectives,» 2020.
- [71] DNV, «Shore power: A solution for cleaner ports,» 2021.
- [72] International Association of Ports and Harbors, «World Ports Sustainability Report 2022,» 2022.
- [73] International Maritime Organization, «2023 IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships,» 2023.
- [74] European Commission., 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789>.
- [75] Tzannatos. E, «Cold ironing and emissions from ships in ports: The need for coordinated action in the Mediterranean,» *Marine Policy*, τόμ. 100, p. 165–173, 2019.
- [76] European Commission, 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_2330.
- [77] IMO, «Fourth IMO greenhouse gas study 2020,» 2020.
- [78] Raicu. S Costescu. D & Burciu. S, «Distribution system with flow consolidation at the boundary of urban congested areas,» *Sustainability*, τόμ. 12, αρ. 3, 2020.
- [79] International Maritime Organization, «Fourth IMO GHG study 2020,» 2020.
- [80] Psaraftis. H N & Kontovas. C A, «Balancing the economic and environmental performance of maritime transportation,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 15, αρ. 8, p. 458–462, 2010.
- [81] United States Navy, «Shore power capabilities in naval bases,» Department of Defense, 2005.
- [82] California Air Resources Board, «Emission reduction plan for ports and goods movement in California,» 2007.
- [83] IEC/ISO/IEEE, «IEC/ISO/IEEE 80005 series: Utility connections in port – High voltage shore connection systems,» International Electrotechnical Commission, 2019.
- [84] Port. of Rotterdam, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/rotterdam-is-already-home-to-europes-largest-biofuel-cluster>.
- [85] Port of Rotterdam., 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.portofrotterdam.com>.

- [86] Port of Gothenburg, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.portofgothenburg.com>.
- [87] Port of Hamburg, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hafen-hamburg.de>.
- [88] Port of Los Angeles, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.portoflosangeles.org>.
- [89] Port of Seattle, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.portseattle.org/blog/partners-powering-clean-energy-seattles-waterfront>.
- [90] Shanghai Municipal Transportation Commission, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://jtw.sh.gov.cn>.
- [91] International Council on Clean Transportation (ICCT), 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://theicct.org>.
- [92] European Commission., 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://transport.ec.europa.eu/index_en?prefLang=el&wt-search=yes.
- [93] DNV, «Shore power: The route to cleaner ports,» DNV GL Maritime, 2019.
- [94] Lindstad. H Rialland. A & Eskeland. G S, «Potential emissions reductions from port electrification,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 41, p. 423–431, 2015.
- [95] ICCT, 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Marine-EEXI-nov2020.pdf>.
- [96] Gonzalez-Aregall. M Bergqvist. R & Monios. J, «Port–city sustainability: Shore power implementation in Europe and the USA,» *Journal of Shipping and Trade*, τόμ. 4, αρ. 1, p. 1–22, 2019.
- [97] Wang. S & Notteboom. T, «The role of port authorities in the development of cold ironing,» *Maritime Economics & Logistics*, τόμ. 17, αρ. 1, p. 86–108, 2015.
- [98] DNV., 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dnv.com/publications/financing-the-energy-transition-210940/>.
- [99] Kumar. R Teixeira. A P & Soares. C G, «Review of shore power implementation for cleaner ports,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 133, 2020.
- [100] Gkonis. K G & Psaraftis. H N, «The economics of shore power: Impact on emissions and operations,» *Maritime Policy & Management*, τόμ. 44, αρ. 5, p. 575–592, 2017.

- [101] Yuen. C Zhang. A & Cheung. W, «Port competitiveness from the users' perspective: An analysis of major container ports in China and the USA,» *Research in Transportation Business & Management*, τόμ. 11, p. 43–52, 2014.
- [102] Cullinane. K & Bergqvist. R, «Emission control areas and their impact on maritime transport,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 28, p. 1–5, 2014.
- [103] Heilig. L Lalla-Ruiz. E & Voß. S, «Digital transformation in maritime ports: Analysis and a game theoretic framework,» *Netnomics*, τόμ. 18, αρ. 2, p. 227–254, 2017.
- [104] Acciaro. M Ghiara. H & Cusano. M I, «Energy management in seaports: A new role for port authorities,» *Energy Policy*, τόμ. 71, p. 4–12, 2014.
- [105] Zhang. Y Zhao. Z Y & Lee. C K M, «Smart port energy management using artificial intelligence: Opportunities and challenges,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τόμ. 124, 2020.
- [106] Tsakalidis. A Christodoulou. A & Zis. T, «Optimizing shore power systems using machine learning: A case study of Mediterranean ports,» *Journal of Cleaner Production*, τόμ. 312, 2021.
- [107] Lam. J S L & Notteboom. T, «The greening of ports: A comparison of port management tools used by leading ports in Asia and Europe,» *Transport Reviews*, τόμ. 34, αρ. 2, p. 169–189, 2014.
- [108] Schwab. A Wallenburg. C M & Wieland. A, «Digital twins in logistics and supply chain management: Applications and challenges,» *Journal of Business Logistics*, τόμ. 42, αρ. 1, p. 5–23, 2021.
- [109] «Gestión de recursos humanos y retención de talento en administración portuaria: Revisión sistemática». *Revista Venezolana de Gerencia*.
- [110] Westin Automotive Products, Inc, «www.westinautomotive.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.westinautomotive.com/hdx-winch-mount-grille-guard>.
- [111] United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), «Review of maritime transport 2018,» United Nations, 2018.
- [112] Lai. K H Lun. Y H V Wong. C W Y & Cheng. T C E, «Measures for evaluating green shipping practices implementation,» *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, τόμ. 5, αρ. 2, p. 217–235, 2013.

- [113] Browne. M Allen. J Nemoto. T & Patier. D, «Reducing emissions from port-related freight transport: The role of shore power,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 41, p. 375–385, 2015.

8 Παραρτήματα

Παράρτημα Α

Στις 20 Δεκεμβρίου 2023, η Aleksandra Klenke από τη Γενική Διεύθυνση Μεταφορών (DG MOVE, Unit B4) παρουσίασε μια παρουσίαση με τίτλο «*Ρύθμιση της υποδομής εναλλακτικών καυσίμων στο AFIR*» στο πλαίσιο του εργαστηρίου της Ενεργειακής Κοινότητας στη Βιέννη. Αυτή η παρουσίαση πραγματεύεται τον Κανονισμό Υποδομής Εναλλακτικών Καυσίμων (AFIR), ο οποίος αποτελεί βασικό πυλώνα της στρατηγικής της ΕΕ για την πράσινη μετάβαση στις μεταφορές, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και της Στρατηγικής Έξυπνης Βιώσιμης Κινητικότητας. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα άρθρα που σχετίζονται με τα λιμάνια και τα πλοία.

1ος) Σύμφωνα με το Άρθρο 9 των Κανονισμών για την Παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας Λιμενικής Ακτής, ο επιλεγμένος λιμένας εκπληρώνει τις υποχρεώσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

☛ **Πεδίο εφαρμογής:** Αυτή η υποχρέωση ισχύει μόνο για μεγαλύτερα λιμάνια, αλλά πρέπει να πληροί ορισμένα ελάχιστα πρότυπα, τα οποία βασίζονται στα ακόλουθα:

a) Τύπος σκάφους:

- ☒ πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων,
- ☒ Επιβατηγά πλοία RoRo και επιβατηγά πλοία υψηλής ταχύτητας,
- ☒ Κρουαζιερόπλοιο.

b) Μέσος αριθμός επαφών ανά έτος τα τελευταία τρία χρόνια:

- ☒ Πάνω από 100 τρόποι εισόδου πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στο λιμάνι,
- ☒ Τα επιβατηγά πλοία RoRo έχουν περισσότερα από 40 δρομολόγια προς το λιμάνι,
- ☒ Πάνω από 25 επιλογές άφιξης κρουαζιερόπλοιων.

c) Ολική χωρητικότητα του εμπλεκόμενου σκάφους: άνω των 5.000 μικτών τόνων.

- ☛ **Εξαίρεση:** Δεν υπολογίζονται τα αγκυροβολημένα στην περιοχή του λιμανιού σκάφη.
- ☛ **Υποχρέωση εγκατάστασης:** Με την επιφύλαξη των παραπάνω προϋποθέσεων, έως το 2030, τα λιμάνια πρέπει να εγκαταστήσουν ένα σύστημα τροφοδοσίας στην ξηρά επαρκές για να καλύψει τουλάχιστον το 90% της ζήτησης (υπολογιζόμενο με τον αριθμό των επισκέψεων).

2ος) Το άρθρο 10 του Κανονισμού για την Παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Λιμένες Εσωτερικών Πλωτών Μεταφορών (IWW) ορίζει τις ακόλουθες υποχρεώσεις:

☛ Σημαντικά λιμάνια εσωτερικής ναυσιπλοΐας στο κεντρικό δίκτυο ΔΕΔ-Μ:

☑ Υποχρέωση εγκατάστασης τουλάχιστον μίας (1) υποδομής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρά έως το 2025.

☑ Ολοκληρωμένος λιμένας εσωτερικού δικτύου TEN-T (TEN-T Integrated Inland Port):

☑ Υποχρέωση εγκατάστασης τουλάχιστον μίας (1) υποδομής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρά έως το 2030.

Σημείωση: (Άρθρο 10 Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά σε λιμένες εσωτερικής ναυσιπλοΐας).

3ος) Σύμφωνα με το άρθρο 11, τα κράτη μέλη διασφαλίζουν ότι ένας κατάλληλος αριθμός σταθμών ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) έχει εγκατασταθεί σε θαλάσσιους λιμένες στο κεντρικό δίκτυο ΔΕΔ-Μ έως την 1η Ιανουαρίου 2025, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 2, ώστε να επιτρέπεται στα ποντοπόρα πλοία να κυκλοφορούν στο κεντρικό δίκτυο ΔΕΔ-Μ.

☑ Όπου χρειάζεται, τα κράτη μέλη πρέπει να συνεργάζονται με τα γειτονικά κράτη μέλη για να εξασφαλίσουν επαρκή κάλυψη του βασικού δικτύου ΔΕΔ-Μ.

☑ Τα κράτη μέλη ορίζουν, στο πλαίσιο των εθνικών τους πολιτικών, τους θαλάσσιους λιμένες στο κεντρικό δίκτυο ΔΕΔ-Μ που θα παρέχουν σταθμούς ανεφοδιασμού ΥΦΑ όπως αναφέρεται στην παράγραφο 1. Κατά την ονομασία αυτή, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πραγματικές ανάγκες της αγοράς και οι σχετικές εξελίξεις.

☑ Επιπλέον, τα κράτη μέλη πρέπει να αξιολογήσουν την προσφορά άλλων εναλλακτικών καυσίμων, όπως υδρογόνο, μεθανόλη και ηλεκτρική ενέργεια από μπαταρία, στο πλαίσιο των εθνικών τους πολιτικών.

Σημείωση: (Άρθρο 11, Υγροποιημένο μεθάνιο, Θαλάσσιες μεταφορές).

Παράρτημα Β

MARPOL 73/78 Παράρτημα VI

☛ Κανόνες για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία

Σύμφωνα με το νέο Πρωτόκολλο MARPOL 73/78, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ενέκρινε το 1997 ένα παράρτημα (Παράρτημα VI) το οποίο περιλαμβάνει διατάξεις για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία.

Η Ελλάδα έχει επικυρώσει όλα τα παραρτήματα και τις τροποποιήσεις της MARPOL 73/78.

Οι διατάξεις του παρόντος Παραρτήματος θεσπίζουν ενιαίους κανόνες για τη λήψη ειδικών μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Συγκεκριμένα, άλλες απαιτήσεις περιλαμβάνουν κανονισμούς με τη μορφή κανονισμών που καθορίζουν τη μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα σε θείο του μαζούτ που χρησιμοποιείται από πλοία, εκπομπές οξειδίου του αζώτου από κινητήρες ντίζελ πλοίων και μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται σε λιμάνια και τερματικούς σταθμούς υποδοχής δεξαμενόπλοιων, τα οποία ενδέχεται να απαιτούν την παρουσία συστημάτων ελέγχου εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC).

Προκειμένου να ληφθούν οι πληρέστερες πληροφορίες και προκειμένου όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να εφαρμόσουν ομοιόμορφα αυτό το παράρτημα, παρέχονται οι ακόλουθες συμπληρωματικές/διευκρινιστικές σημειώσεις:

1. Πεδίο εφαρμογής

MARPOL 73/78 Παράρτημα VI για την Πρόληψη της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ισχύει για όλα τα πλοία και υπόκειται στις αντίστοιχες απαιτήσεις τους.

2. Επιθεώρηση - Κανόνας 5

2.1 Κάθε πλοίο 400 ολικής χωρητικότητας και άνω, όλες οι σταθερές και πλωτές εγκαταστάσεις παραγωγής πετρελαίου και άλλες πλατφόρμες θα πρέπει να υπόκεινται στις ακόλουθες επιθεωρήσεις:

α) Αρχική επιθεώρηση: διενεργείται πριν τεθεί σε λειτουργία το πλοίο ή πριν εκδοθεί για πρώτη φορά το Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.

β) Περιοδικός Έλεγχος: να διενεργείται σε χρόνο που καθορίζεται από τη Διοίκηση αλλά δεν υπερβαίνει τα πέντε (5) έτη.

γ) Τουλάχιστον μία ενδιάμεση επιθεώρηση: Εάν πρόκειται να διεξαχθεί μόνο μία τέτοια επιθεώρηση κατά τη διάρκεια μιας πενταετίας, θα πρέπει να διενεργηθεί εντός έξι μηνών πριν ή μετά το μεσοπρόθεσμο της περιόδου αυτής (έξι μήνες πριν ή μετά από δύομισι χρόνια).

Οι παραπάνω επιθεωρήσεις πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός, τα συστήματα, τα εξαρτήματα, οι συσκευές και τα υλικά συμμορφώνονται πλήρως με τις ισχύουσες απαιτήσεις ελέγχου εκπομπών και είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας.

2.2 Επιθεωρήσεις υπόχρεων πλοίων διενεργούνται από επιθεωρητές της Διοίκησης ή αναγνωρισμένων οργανισμών (Α.0).

2.3 Εάν κατά την επιθεώρηση ο επιθεωρητής διαπιστώσει ότι ο εξοπλισμός του πλοίου δεν συμμορφώνεται με τις πληροφορίες του πιστοποιητικού, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να διασφαλιστεί ότι έχουν γίνει οι ακόλουθες ενέργειες: Λάβετε μέτρα για την επαναφορά του,

☛ Παράλληλη ενημέρωση από τη Διοίκηση.

2.4 Οποιοσδήποτε αλλαγές στον εξοπλισμό, τα συστήματα, τα εξαρτήματα, τις διατάξεις ή τα υλικά που καλύπτονται από την επιθεώρηση πρέπει να εγκρίνονται εκ των προτέρων από την Αρχή.

3 Έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (IAPPC) - Άρθρο 6

3.1 Τα πλοία και οι πλατφόρμες πετρελαίου ή οι εξέδρες γεώτρησης (υφιστάμενα πλοία) που απαιτείται να διαθέτουν IAP σύμφωνα με το Πρόγραμμα και τα οποία κατασκευάστηκαν πριν από τις 19 Μαΐου 2005 θα πρέπει να διαθέτουν Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης που εκδίδεται το αργότερο μέχρι την πρώτη προγραμματισμένη επιθεώρηση ακτών μετά τις 19 Μαΐου 2005, αλλά όχι αργότερα από τις 2 Μαΐου 2005.

3.2 Το DPPRA εκδίδεται από την αρμόδια αρχή ή αναγνωρισμένο οργανισμό.

3.3 Ο τύπος του πιστοποιητικού πρέπει να είναι συνεπής

3.4 Το παρόν πιστοποιητικό ισχύει για πέντε χρόνια από την ημερομηνία έκδοσης.

4 Απαιτήσεις ελέγχου εκπομπών πλοίου

Σύμφωνα με τον εννοιολογικό ορισμό του νόμου, ως «εκπομπή» νοείται η απελευθέρωση οποιασδήποτε ουσίας από πλοίο στον αέρα ή τη θάλασσα, η οποία ρυθμίζεται από το Παράρτημα VI της Οδηγίας για τις Εκπομπές Πλοίων. MARPOL 73/78.

4.2 Οξείδια του αζώτου (NO_x) - Άρθρο 13

Αυτοί οι κανονισμοί ισχύουν για:

Οποιοσδήποτε κινητήρας ντίζελ με ισχύ άνω των 130 kW που έχει εγκατασταθεί σε πλοίο που ναυπηγήθηκε μετά την 1η Ιανουαρίου 2000 και κάθε κινητήρας ντίζελ με ισχύ άνω των 130 kW που έχει υποστεί σημαντική μετατροπή μετά την 1η Ιανουαρίου 2000.

Ο παρών κανονισμός δεν εφαρμόζεται σε:

Μηχανές ντίζελ έκτακτης ανάγκης (γεννήτριες), κινητήρες πρόωσης σωσίβιας λέμβου και κάθε συσκευή ή εξοπλισμός που έχει σχεδιαστεί ειδικά για χρήση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Για τους σκοπούς του παρόντος κανονισμού, σημαντική τροποποίηση είναι η τροποποίηση κινητήρα που:

Ο κινητήρας αντικαταστάθηκε από έναν νέο κινητήρα που κατασκευάστηκε μετά την 1η Ιανουαρίου 2000,

Οποιαδήποτε σημαντική τροποποίηση στον κινητήρα όπως ορίζεται στον Τεχνικό Κώδικα για τον Έλεγχο Εκπομπών Οξειδίων του Αζώτου από κινητήρες ντίζελ πλοίων (Τεχνικός Κώδικας NO_x), ή η απόδοση της μέγιστης συνεχούς ταχύτητας του κινητήρα είναι βελτιωμένη κατά περισσότερο από 10%.

Οποιοσδήποτε κινητήρας ντίζελ που υπόκειται στον παρόντα κανονισμό μπορεί να λειτουργεί εφόσον οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου βρίσκονται εντός των ακόλουθων ορίων:

17,0 g/KWh όταν το n είναι μικρότερο από 130 rpm,

Όταν το n είναι μεγαλύτερο ή ίσο με 130 rpm αλλά μικρότερο από 2000 rpm, $45,0 \times n^{-0,2}$ g/KWh,

Όταν το n είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 2000 rpm, είναι 9,8 g/KWh,

Όπου n = ονομαστικές στροφές κινητήρα (στροφαλοφόρος άξονας).

Οι κινητήρες ντίζελ επιτρέπεται επίσης να λειτουργούν όταν λειτουργούν με σύστημα καθαρισμού καυσαερίων εγκεκριμένο σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NO_x ή με οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη μέθοδο εγκεκριμένη από την Αρχή. Μειώστε τις εκπομπές NO_x στα πλοία τουλάχιστον στα παραπάνω όρια.

4.3 Οξείδια του θείου (SO_x) - Άρθρο 14

Οι κανονισμοί θέτουν ανώτατο όριο 4,5% θείου σε οποιοδήποτε μαζούτ.

Για πλοία που πλέουν σε περιοχές ελέγχου εκπομπών οξειδίων του θείου (SECA), δηλαδή πλοία που πλέουν σε θαλάσσιες περιοχές που συμμορφώνονται με τα πρότυπα και τις

καθορισμένες διαδικασίες που ορίζονται στο προσάρτημα ΙΙΙ του παραρτήματος του παρόντος κανονισμού, ισχύουν αυστηρότερες απαιτήσεις.

Λόγω της συμφωνίας. Επί του παρόντος, η Βαλτική Θάλασσα, η Βόρεια Θάλασσα και η Μάγχη έχουν χαρακτηριστεί ως περιοχές SECA.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν ένα πλοίο εισέρχεται σε περιοχή ελέγχου εκπομπών SO_x, είναι απαραίτητο να καταγράφεται η χωρητικότητα του μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη ή ίση με 1,5% κατά βάρος) σε κάθε δεξαμενή, καθώς και η ημερομηνία, η ώρα και η θέση του πλοίου όταν ολοκληρώνεται η λειτουργία μετατροπής μαζούτ. Ενδεικτικά γνωρίζουμε ότι μπορούν να γίνουν σχετικές καταγραφές στο ημερολόγιο γέφυρας ή κινητήρα του σκάφους.

Επιπλέον, για πλοία που βρίσκονται εντός των προαναφερόμενων περιοχών SECA, πρέπει να πληρούνται τουλάχιστον μία από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

Η περιεκτικότητα σε θείο στο μαζούτ δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,5% κατά βάρος. Ή ο κινητήρας του πλοίου (συμπεριλαμβανομένου του κύριου κινητήρα πρόωσης ή του βοηθητικού κινητήρα πρόωσης) είναι εξοπλισμένος με σύστημα καθαρισμού καυσαερίων εγκεκριμένο από την αρμόδια αρχή για τη μείωση των συνολικών εκπομπών οξειδίων του θείου. Η συνολική ποσότητα εκπομπών διοξειδίου του θείου δεν υπερβαίνει τα 6 γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (συνολικές εκπομπές $\leq 6,0 \text{ gSO}_x/\text{KWh}$) ή άλλες ισοδύναμες τεχνικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των εκπομπών SO_x εντός του παραπάνω ορίου,

Εγκεκριμένο από τη Διοίκηση.

Για την επαλήθευση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του παρόντος κανονισμού, η περιεκτικότητα του μαζούτ σε θείο ($S \leq 4,5\% \text{ wt.}$ ή $S \leq 1,5\% \text{ wt.}$ σε περιοχές ελέγχου εκπομπών SO_x) πρέπει να αναφέρεται από τον προμηθευτή στο δελτίο παράδοσης μαζούτ.

4.4 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) – Άρθρο 15

Ο παρών κανονισμός καθορίζει τις γενικές απαιτήσεις/υποχρεώσεις για τα μέρη του Πρωτοκόλλου του 1997 όταν επιθυμούν να ορίσουν λιμένες ή τερματικούς σταθμούς υπό τη δικαιοδοσία τους για τη ρύθμιση των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) από δεξαμενόπλοια.

Στην περίπτωση αυτή, τα Μέρη του Πρωτοκόλλου θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι οι λιμένες και οι τερματικοί σταθμοί που έχουν υιοθετήσει ειδικά μέτρα εκπομπής VOC είναι εξοπλισμένοι με συστήματα ελέγχου συγκεκριμένων πτητικών ατμών φορτίου και ότι τα

συστήματα αυτά λειτουργούν με ασφάλεια και δεν προκαλούν αδικαιολόγητες καθυστερήσεις στα δεξαμενόπλοια.

Αυτά τα συστήματα πρέπει να είναι εγκεκριμένου τύπου και να συμμορφώνονται με τις τυπικές προδιαγραφές για συστήματα ελέγχου εκπομπών αναθυμιάσεων που αναφέρονται στην απόφαση MSC/Circ.585.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για τα δεξαμενόπλοια υγραερίου, αυτός ο κανονισμός ισχύει μόνο εάν ο τύπος των συστημάτων φόρτωσης και περιορισμού επιτρέπει στους ατμούς μη πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) που δεν περιέχουν μεθάνιο να παραμείνουν επί του πλοίου ή να επιστραφούν με ασφάλεια στην ακτή.

Τον Απρίλιο του 2008, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) ενέκρινε προτεινόμενες τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της MARPOL σχετικά με τη μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία.

Η κύρια αλλαγή είναι η σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x) από τα πλοία, με το παγκόσμιο όριο θείου να μειώνεται αρχικά στο 3,50% από την 1η Ιανουαρίου 2012 (σήμερα 4,50%) και στη συνέχεια να μειώνεται σταδιακά στο 0,50% από την 1η Ιανουαρίου 2020, με την επιφύλαξη της ολοκλήρωσης μελέτης σκοπιμότητας το αργότερο 2088.

Από την 1η Μαρτίου 2010, το ισχύον όριο στις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Θείου (SECA) θα μειωθεί στο 1,00% (το τρέχον όριο είναι 1,50%) και από την 1η Ιανουαρίου 2015 στο 0,10%.

Τα μέρη συμφώνησαν επίσης να μειώσουν σταδιακά τις εκπομπές οξειδίου του αζώτου (NO_x) από τους κινητήρες των πλοίων, με τους αυστηρότερους ελέγχους να εφαρμόζονται στους λεγόμενους «κινητήρες της σειράς III» – κινητήρες που εγκαθίστανται σε πλοία που ναυπηγήθηκαν από την 1η Ιανουαρίου 2016 και λειτουργούν σε περιοχές ελέγχου εκπομπών.

Το αναθεωρημένο Παράρτημα VI θα επιτρέψει τη δημιουργία περιοχών ελέγχου εκπομπών για οξείδια του θείου, σωματίδια, οξείδια του αζώτου ή και τις τρεις εκπομπές από πλοία, με την επιφύλαξη προτάσεων που υποβάλλονται από έναν ή περισσότερους από τους συμμετέχοντες που εξετάζονται στο Παράρτημα για έγκριση από τον Οργανισμό, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν στοιχεία για την ανάγκη πρόληψης, μείωσης και ελέγχου μιας ή και των τριών εκπομπών από πλοία.

Κανονισμοί NO_x για νέους κινητήρες

Τι είναι το NO_x;

Το NO_x είναι ένας γενικός όρος που περιγράφει τα οξείδια του αζώτου. Το NO_x είναι ένα μείγμα αερίων και ένας από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που ρυθμίζονται στο Παράρτημα VI του Τεχνικού Κώδικα για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία. Τα δύο κύρια οξείδια του αζώτου που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το NO και το NO₂. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) είναι άχρωμο και σχεδόν άοσμο. Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) είναι ένα κοκκινοκαφέ αέριο με έντονη οσμή. Το NO_x (NO και NO₂) μπορεί να ερεθίσει τους πνεύμονες, να προκαλέσει βρογχίτιδα και πνευμονία και να μειώσει την αντίσταση σε λοιμώξεις του αναπνευστικού. Το NO_x είναι επίσης πρόδρομος του σχηματισμού του τροποσφαιρικού όζοντος (νέφος) και συμβάλλει στην όξινη βροχή. Οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου (NO_x) παράγονται κατά την καύση του καυσίμου.

Η MEPC συμφώνησε με την τροπολογία, επιβεβαιώνοντας την προτεινόμενη δομή τριών επιπέδων για νέους κινητήρες, η οποία θα θέσει σταδιακά αυστηρότερα όρια εκπομπών NO_x ανάλογα με την ημερομηνία εγκατάστασης των νέων κινητήρων.

Η σειρά I ισχύει για κινητήρες ντίζελ που είναι εγκατεστημένοι σε πλοία που ναυπηγήθηκαν μεταξύ 1ης Ιανουαρίου 2000 και πριν από την 1η Ιανουαρίου 2011 και αντιπροσωπεύει το πρότυπο 17 g/kW που ορίζεται στο υπάρχον παράρτημα VI.

Για τη Σειρά II, το επίπεδο εκπομπών NO_x για κινητήρες ντίζελ που είναι εγκατεστημένοι σε πλοία που κατασκευάζονται από την 1η Ιανουαρίου 2011 θα μειωθεί στα 14,4 g/kWh.

Για τη Σειρά III, τα επίπεδα εκπομπών NO_x για κινητήρες ντίζελ που είναι εγκατεστημένοι σε πλοία που κατασκευάζονται από την 1η Ιανουαρίου 2016 θα μειωθούν σε 3,4 g/kWh όταν το πλοίο λειτουργεί σε καθορισμένη περιοχή ελέγχου εκπομπών. Εκτός των καθορισμένων περιοχών ελέγχου εκπομπών, ισχύουν τα όρια της Σειράς II.

Όρια NO_x για υπάρχοντες κινητήρες

Τεχνικές προδιαγραφές NO_x

Τα σχέδια αναθεωρήσεων του Τεχνικού Κώδικα NO_x περιλαμβάνουν ένα νέο Κεφάλαιο 7 που βασίζεται στη συμφωνημένη προσέγγιση για τη ρύθμιση των NO_x για υφιστάμενους (προ του 2000) κινητήρες που θεσπίστηκε στο σχέδιο αναθεωρήσεων του παραρτήματος VI της MARPOL.

Το σχέδιο αναθεωρημένου κανονισμού NO_x περιλαμβάνει διατάξεις για μεθόδους άμεσης μέτρησης και ελέγχου, διαδικασία πιστοποίησης για υπάρχοντες κινητήρες και κύκλους δοκιμών που ισχύουν για τους κινητήρες της Σειράς II και της Σειράς III.

☛ Εφαρμογή ελέγχων - κυρώσεων

Η αρμόδια αρχή που είναι αρμόδια για την εποπτεία της εφαρμογής των νομοθετικών διατάξεων. 3104/2003 στην Ελλάδα είναι το Υπουργείο Εθνικής Ασφάλειας και η Αρχή Λιμένων και στο εξωτερικό είναι η Προξενική Αρχή Λιμένων.

Όσοι παραβιάζουν τις διατάξεις του Ν. 3104/03 θα υπόκεινται σε κυρώσεις σύμφωνα με το άρθρο 9 του ίδιου νόμου. 1269/1982 (ΦΕΚ 89Α) *«Περί επικύρωσης της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία, 1973 και του Πρωτοκόλλου της 1978»* 15 Ιουλίου 2011: Οι εκπρόσωποι της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) ενέκριναν υποχρεωτικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) από τη διεθνή ναυτιλία στο Παράρτημα VI της MARPOL. Η τροποποίηση στο Παράρτημα VI των Κανονισμών για την Πρόληψη της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης από Πλοία προσθέτει το Κεφάλαιο (4) σχετικά με τους κανονισμούς ενεργειακής απόδοσης των πλοίων στο Παράρτημα VI, απαιτώντας από τα νέα πλοία να εφαρμόζουν Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) και όλα τα πλοία να εφαρμόζουν Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP).