

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



**Διερεύνηση ρυθμιστικών θεμάτων συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας κατά την ηλεκτροδότηση ελλιμενιζόμενων πλοίων.**

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Όνοματεπώνυμο: Παναγιώτης Θεοδωρόπουλος

Αριθμός μητρώου: 08118007

e-mail: [pan.theodoropoulos1@gmail.com](mailto:pan.theodoropoulos1@gmail.com)

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών 2023

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου στον σύμβουλο της διπλωματικής μου εργασίας, τον καθηγητή Ιωάννη Προυσαλίδη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη και τα διεισδυτικά σχόλια καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής αυτής της έρευνας. Η εμπειρία του, η υπομονή του και η αφοσίωσή του συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση της κατεύθυνσης και της ποιότητας αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Είμαι επίσης ευγνώμων στους συμφοιτητές και φίλους μου, Γιώργο Στυλιανού, Βασίλη Σοφικίτη και Νικόλαο Ακρίβο, για τη συνεργασία τους και τη βοήθειά τους. Η συμβολή τους και η φιλία τους έκαναν αυτό το ταξίδι πιο απολαυστικό και αξέχαστο.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου εκτίμηση στην οικογένειά μου για την κατανόηση και ενθάρρυνση καθ' όλη τη διάρκεια του ακαδημαϊκού μου ταξιδιού. Η ακλόνητη υποστήριξή τους και η πίστη τους στις ικανότητές μου αποτέλεσαν σταθερή πηγή κινήτρων και δύναμης.

Είμαι πραγματικά ευγνώμων για την ευκαιρία που μου δόθηκε να αναλάβω αυτή την έρευνα και για την υποστήριξη όλων όσων συμμετείχαν σε αυτή την προσπάθεια.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τη σκοπιμότητα της εφαρμογής του Cold Ironing, μαζί με την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (ΣΑΕ), σε 14 λιμάνια στην Ελλάδα. Ο στόχος είναι η παροχή μιας βιώσιμης και οικονομικά αποδοτικής λύσης για τη φόρτιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η μελέτη διερευνά τις τεχνικές και οικονομικές πτυχές της τεχνολογίας Cold Ironing, αναλύει τους ρόλους εντός της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και διερευνά τα λειτουργικά μοντέλα που μπορούν να εφαρμοστούν σε λιμάνια. Πραγματοποιείται χρηματοοικονομική ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψη μετρήσεις όπως η καθαρή παρούσα αξία (NPV), ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η απόδοση της επένδυσης (ROI). Τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία των εκτιμήσεων του εξωτερικού κόστους και την ανάγκη βελτιστοποίησης των επιλογών επιδότησης για τη διασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας. Η έρευνα συμβάλλει στην ανάπτυξη οικολογικότερων ναυτιλιακών πρακτικών, υποστηρίζοντας τη μετάβαση προς έναν πιο ενεργειακά αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον ναυτιλιακό τομέα.

# Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Cold Ironing.....</b>	<b>8</b>
2.1 Εισαγωγή στο Cold Ironing.....	8
2.2 ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012.....	9
2.3 Εξοπλισμός Cold Ironing.....	9
2.3.1 Τυπική διαμόρφωση σύμφωνα με τη σύσταση της ΕΕ.....	10
2.3.2 Εξοπλισμός Παροχής Υψηλής Τάσης.....	11
2.3.3 Πίνακας Διανομής Ξηράς.....	13
2.3.4 Μετασχηματιστής επί του πλοίου.....	14
2.3.5 Πίνακας Διανομής Πλοίου.....	14
2.4 Έργα Cold Ironing σε Μεγάλα Λιμάνια.....	15
2.4.1 Λιμάνι του Λος Άντζελες.....	15
2.4.2 Λιμάνι του Γκέτεμποργκ.....	16
2.4.3 Λιμάνι της Αμβέρσας.....	17
<b>3. Φωτοβολταϊκά Πάνελ και Εμπορία Ενέργειας.....</b>	<b>19</b>
3.1 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά Πάνελ.....	19
3.1.1 Επισκόπηση Φωτοβολταϊκών Τεχνολογιών.....	19
3.1.2 Εξαρτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	19
3.1.3 Οφέλη από Φ/Β Πάνελ σε Λιμενικά Περιβάλλοντα.....	20
3.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ στα ελληνικά λιμάνια.....	21
3.2.1 Ηλιακό δυναμικό στα ελληνικά λιμάνια.....	21
3.2.2 Αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ.....	21
3.2.3 Megawatt Peak (MWp).....	22
3.3 Το Net Metering και ο ρόλος του στην εμπορία ενέργειας.....	23
3.3.1 Ορισμός και έννοια του Net Metering.....	23
3.3.2 Λειτουργία Συστημάτων Net Metering.....	23
3.3.3 Πολιτικές και ρυθμιστικές εκτιμήσεις.....	23
<b>4. Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας (ΣΑΕ).....</b>	<b>25</b>
4.1 Σημασία της Αποθήκευσης Ενέργειας σε Λιμενικά Περιβάλλοντα.....	25
4.2 Τύποι μπαταριών για αποθήκευση ενέργειας.....	25
4.3 Εξαρτήματα ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών.....	26
4.3.1 Μπαταρίες.....	26
4.3.2 Σύστημα Διαχείρισης Μπαταριών (ΣΔΜ).....	27
4.3.3 Σύστημα Μετατροπής Ισχύος (ΣΜΙ) ή Υβριδικός Μετατροπέας.....	27
4.3.4 Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (ΣΔΕ).....	29
4.4 Λειτουργία Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας στα Εξεταζόμενα Λιμάνια.....	29
<b>5. Εμπόριο Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Λιμάνια.....</b>	<b>32</b>
5.1 Οι ρόλοι στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	32
5.1.1 Aggregator.....	32
5.1.2 Closed Distribution Network Operator.....	32
5.1.3 Ενεργός Πελάτης.....	32
5.1.4 Ενεργειακή Κοινότητα.....	33



5.2 Λειτουργικά Μοντέλα της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στα λιμάνια.....	33
5.3 Power Purchase Agreements (PPAs).....	36
5.3.1 Τύποι PPAs.....	36
5.3.1.1 Physical PPAs.....	36
5.3.1.2 Sleeved PPAs (SPPAs).....	37
5.3.1.3 Virtual PPAs (VPPAs).....	37
5.4 Contracts for Difference (CFDs)/Συμβόλαια Μελλοντικής Εκπλήρωσης (ΣΜΕ).....	38
<b>6. Οικονομική Ανάλυση.....</b>	<b>39</b>
6.1 Μετρήσεις χρηματοοικονομικής αξιολόγησης.....	39
6.1.1 Net Present Value   Καθαρή Παρούσα Αξία.....	39
6.1.2 Internal Rate of Return (IRR)   Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης.....	40
6.1.3 Return on Investment   Απόδοση της Επένδυσης.....	40
6.2 Εξωτερικό κόστος στο πλαίσιο της εφαρμογής του Cold Ironing στους λιμένες.....	41
6.2.1 Αξιολόγηση του εξωτερικού κόστους και των οικονομικών κινήτρων για το Cold Ironing.....	42
6.3 Μοντέλο Καθαρής Παρούσας Αξίας.....	44
6.3.1 Μηχανισμός χρέωσης για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους λιμένες.....	44
6.3.2 Υποθέσεις και Σενάρια Εγκατάστασης Cold Ironing.....	45
6.3.3 Αποτελέσματα της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας.....	46
6.4 Συγκριτική Ανάλυση Μηχανισμού Τιμολόγησης Ηλεκτρικής Ενέργειας και Contract for Difference (CFD) στο Cold Ironing.....	48
6.4.1 Προσδιορισμός Απόκλισης της Συνολικής Τιμής από το PPA.....	48
6.4.2 Υπολογισμός Τέλους Παράδοσης και Ζημιών/Οφελών Προμηθευτών.....	50
6.4.3 Συγκεντρωτικά τέλη παράδοσης, διαφορές CFD και απώλειες/οφέλη των προμηθευτών.....	50
6.5 Αξιολόγηση των καθαρών οικονομικών επιπτώσεων για κάθε επιλογή επιδότησης..	53
6.5.1 Ενσωμάτωση της συνολικής εξοικονόμησης εξωτερικού κόστους και των διαφορών CFD.....	53
6.5.2 Σύγκριση ΚΠΑ, IRR και ROI για διαφορετικά επίπεδα επιδότησης.....	55
<b>7. Συμπεράσματα.....</b>	<b>58</b>
7.1 Σύνοψη των ευρημάτων.....	58
7.2 Επιπτώσεις και συστάσεις.....	58
7.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	59
7.4 Συμπέρασμα.....	59
<b>8. Βιβλιογραφία.....</b>	<b>60</b>

# 1. Εισαγωγή

Η ναυτιλιακή βιομηχανία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στο παγκόσμιο εμπόριο και τις μεταφορές, συνδέοντας τα έθνη και διευκολύνοντας την οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, η εξάρτηση της βιομηχανίας από τα συμβατικά καύσιμα και οι συναφείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχουν προκαλέσει σημαντικές ανησυχίες. Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί όλο και μεγαλύτερη έμφαση στην ανάπτυξη βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων στον τομέα της ναυτιλίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει τη σκοπιμότητα και τα πιθανά οφέλη της εφαρμογής του Cold Ironing, μαζί με την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (ΣΑΕ), σε 14 λιμάνια που βρίσκονται στην Ελλάδα. Το Cold ironing, γνωστό και ως τροφοδοσία από την ξηρά ή Alternative Maritime Power, αναφέρεται στην πρακτική της τροφοδοσίας των πλοίων με ηλεκτρική ενέργεια από το χερσαίο δίκτυο, ενώ αυτά είναι ελλιμενισμένα, επιτρέποντάς τους να απενεργοποιούν τις μηχανές τους και να μειώνουν τις εκπομπές ρύπων.

Ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας διατριβής είναι η εξεύρεση μιας βιώσιμης και οικονομικά αποδοτικής προσέγγισης για τη φόρτιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων, αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις που θέτουν οι κυμαινόμενες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης συμβατικών καυσίμων. Η μελέτη θα εξετάσει τις δυνατότητες συνδυασμού της τεχνολογίας Cold Ironing με φωτοβολταϊκά συστήματα και ΣΑΕ για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και την περαιτέρω μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον ναυτιλιακό τομέα.

Με τη διερεύνηση των τεχνικών και οικονομικών πτυχών της εφαρμογής συστημάτων cold ironing, η παρούσα έρευνα επιδιώκει να παράσχει πολύτιμες γνώσεις και πρακτικές συστάσεις για τις λιμενικές αρχές, τις πλοιοκτήτριες εταιρείες, τους παραγωγούς ενέργειας και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Τα ευρήματα έχουν ως στόχο να συμβάλλουν στις συνεχόμενες προσπάθειες για την απαλλαγή από τον άνθρακα και τη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται ως εξής: Το κεφάλαιο 2 παρέχει μια εισαγωγή στο Cold Ironing, αναλύοντας τις αρχές και τα οφέλη της. Το κεφάλαιο 3 διερευνά τους διάφορους ρόλους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τα λειτουργικά μοντέλα που εφαρμόζονται στους λιμένες. Το κεφάλαιο 4 επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και στον ρόλο τους στην εμπορία ενέργειας. Το κεφάλαιο 5 εξετάζει τη σημασία και τους τύπους των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε λιμενικό περιβάλλον. Το κεφάλαιο 6 παρουσιάζει μια οικονομική ανάλυση των προτεινόμενων λύσεων, αξιολογώντας βασικές μετρήσεις και εξωτερικό κόστος. Τέλος, το Κεφάλαιο 7 προσφέρει συμπερασματικές παρατηρήσεις με βάση τα ερευνητικά ευρήματα και παρέχει συστάσεις για μελλοντικές δράσεις.

Η σημασία της παρούσας εργασίας έγκειται στη δυνατότητά της να συμβάλει στην ανάπτυξη βιώσιμων ναυτιλιακών πρακτικών και στην προώθηση της περιβαλλοντικής διαχείρισης στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Με τη διερεύνηση της ενσωμάτωσης του Cold Ironing, των

φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ΣΑΕ στα ελληνικά λιμάνια, η παρούσα μελέτη στοχεύει να ανοίξει το δρόμο για ένα πιο πράσινο και ενεργειακά αποδοτικότερο ναυτιλιακό μέλλον.

## 2. Cold Ironing

### 2.1 Εισαγωγή στο Cold Ironing

Το Cold Ironing, που αναφέρεται επίσης ως Alternative Maritime Power (AMP) ή High Voltage Shore Connection (HVSC), είναι μια πρακτική που στοχεύει στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία όταν ελλιμενίζονται σε λιμάνια, εξαλείφοντας την ανάγκη τα πλοία να βασίζονται στους κινητήρες ή στις βοηθητικές γεννήτριές τους. Αυτή η ιδέα περιλαμβάνει τη σύνδεση πλοίων με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο ή μια εναλλακτική πηγή ενέργειας διαθέσιμη στην ξηρά.

Η θεμελιώδης ιδέα του Cold Ironing περιστρέφεται γύρω από την ιδέα της μείωσης των εκπομπών και της βελτίωσης της ποιότητας του αέρα σε περιβάλλοντα λιμένων. Τα πλοία παραδοσιακά βασίζονται στους κινητήρες εσωτερικής καύσης ή στις βοηθητικές γεννήτριές τους για να καλύψουν τις απαιτήσεις ισχύος τους ενώ βρίσκονται ελλιμενισμένα. Αυτοί οι κινητήρες και οι γεννήτριες εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>), των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), των σωματιδίων και των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs), που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την κλιματική αλλαγή.

Με την εφαρμογή Cold Ironing, τα πλοία μπορούν να σβήσουν τους κινητήρες και τις βοηθητικές γεννήτριές τους, αντ' αυτού, αντλώντας ηλεκτρική ενέργεια από το παράκτιο δίκτυο ή άλλες χερσαίες πηγές ενέργειας. Αυτό μειώνει σημαντικά τις εκπομπές που σχετίζονται με τις λειτουργίες του πλοίου κατά τη διάρκεια παραμονής στο λιμάνι. Ο πρωταρχικός στόχος του Cold Ironing, επομένως, είναι η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εκπομπών των πλοίων και η βελτίωση της ποιότητας του αέρα μέσα και γύρω από τα λιμάνια.

Το Cold Ironing προσφέρει πολυάριθμα οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της σημαντικής μείωσης της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες λιμενικές περιοχές. Βοηθά στον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία που προκαλούνται από επιβλαβείς εκπομπές και δημιουργεί ένα πιο υγιές περιβάλλον εργασίας και διαβίωσης για τους λιμενικούς, τους κατοίκους της περιοχής και τους επισκέπτες.

Επιπλέον, το Cold Ironing ευθυγραμμίζεται με τους διεθνείς κανονισμούς και τους στόχους βιωσιμότητας που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον ναυτιλιακό τομέα. Συμβάλλει στις προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και υποστηρίζει τη μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη ναυτιλιακή βιομηχανία με χαμηλές εκπομπές άνθρακα.

Η έννοια του Cold Ironing έχει κερδίσει σημαντική προσοχή και ώθηση τα τελευταία χρόνια, οδηγώντας στην ανάπτυξη τυποποιημένων πρακτικών, βελτιώσεων υποδομών και υποστηρικτικών πολιτικών σε πολλά λιμάνια παγκοσμίως. Τα λιμάνια και οι ναυτιλιακές εταιρείες υιοθετούν όλο και περισσότερο το Cold Ironing ως μέρος των στρατηγικών βιωσιμότητας και των περιβαλλοντικών τους δεσμεύσεων.

## 2.2 ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012

Το ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012 είναι ένα διεθνές πρότυπο που αφορά ειδικά τις απαιτήσεις και τις κατευθυντήριες γραμμές για το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη λειτουργία συστημάτων High Voltage Shore Connection (HVSC). Το πρότυπο αυτό διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής ενσωμάτωσης τεχνολογιών Cold Ironing σε λιμενικά περιβάλλοντα.

Το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012 θεσπίζει τις θεμελιώδεις αρχές και τις τεχνικές προδιαγραφές για τα συστήματα HVSC, καλύπτοντας πτυχές όπως η ηλεκτρική υποδομή, οι μηχανισμοί μεταφοράς ισχύος και τα ζητήματα ασφάλειας. Παρέχει καθοδήγηση για το σχεδιασμό και την εγκατάσταση εξοπλισμού HVSC, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού shore supply, μετασχηματιστών, μετατροπέων, καλωδίων και πινάκων διανομής.

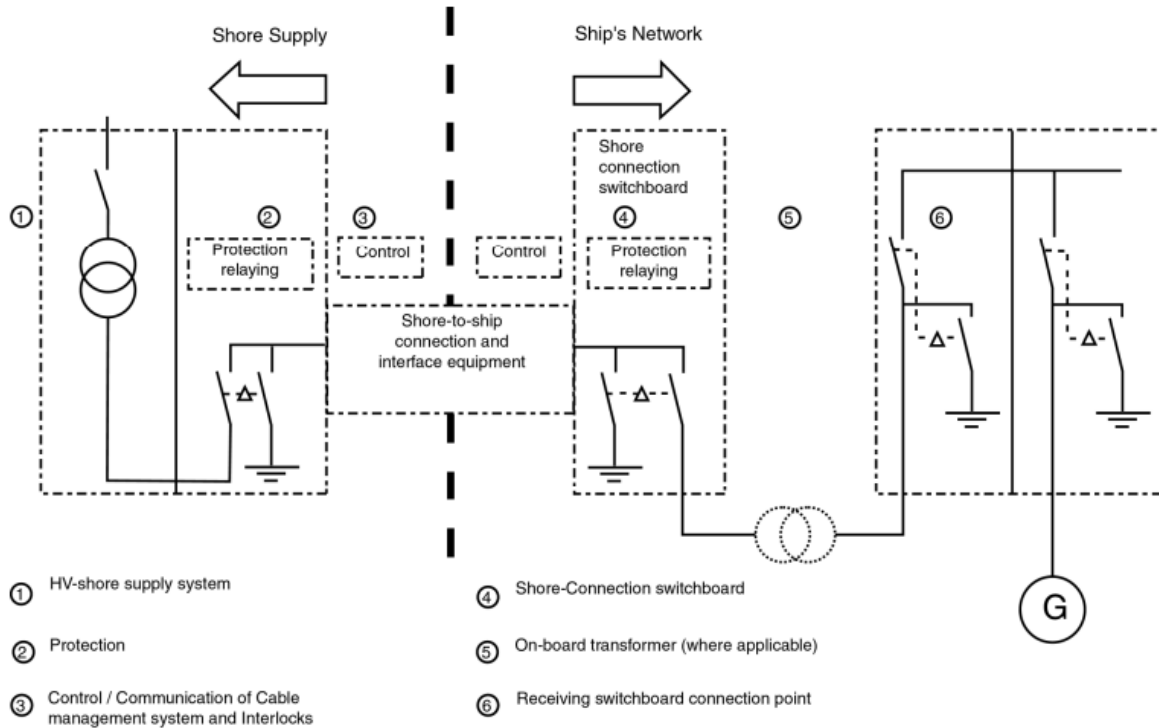
Τηρώντας το πρότυπο αυτό, οι λιμενικές αρχές, οι σχεδιαστές συστημάτων και οι κατασκευαστές εξοπλισμού μπορούν να διασφαλίσουν τη συμβατότητα, την αξιοπιστία και τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων HVSC. Το πρότυπο προωθεί τη συνέπεια στην εφαρμογή των τεχνολογιών Cold Ironing, διευκολύνοντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με διάφορους τύπους πλοίων και διαμορφώσεις λιμένων.

Επιπλέον, το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012 συμβάλλει στην ασφάλεια του προσωπικού και των περιουσιακών στοιχείων, καθορίζοντας απαιτήσεις για τη μόνωση, τις διατάξεις προστασίας, τη γείωση και τα συστήματα παρακολούθησης. Αντιμετωπίζει σημαντικά ζητήματα όπως η πρόληψη ηλεκτρικών κινδύνων, η προστασία από συνθήκες υπέρτασης και βραχυκυκλώματος και η διαθεσιμότητα ενδείξεων και συναγερμών για την παρακολούθηση της κατάστασης των συνδέσεων ισχύος.

Η συμμόρφωση με το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012 διασφαλίζει ότι τα συστήματα HVSC πληρούν τα διεθνή πρότυπα ποιότητας, απόδοσης και ασφάλειας. Προωθεί την αποτελεσματική αξιοποίηση των τεχνολογιών shore supply, ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μειώνοντας τις εκπομπές από τα πλοία σε λιμενικές περιοχές. Ως εκ τούτου, το πρότυπο αυτό χρησιμεύει ως πολύτιμο σημείο αναφοράς για την επιτυχή υλοποίηση και λειτουργία συστημάτων HVSC παγκοσμίως.

## 2.3 Εξοπλισμός Cold Ironing

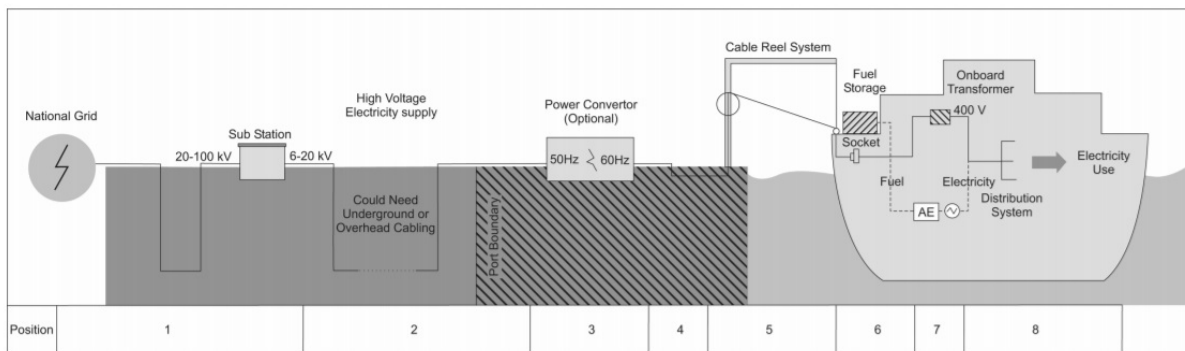
Η επιτυχής εφαρμογή ενός συστήματος Cold Ironing βασίζεται στην αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία διαφόρων εξαρτημάτων του εξοπλισμού. Αυτό το υποκεφάλαιο εμβαθύνει στον βασικό εξοπλισμό που εμπλέκεται σε ένα τυπικό σύστημα HVSC, επισημαίνοντας τις προδιαγραφές, τις δυνατότητες και τη σημασία του για την επίτευξη απρόσκοπτης μεταφοράς ισχύος μεταξύ της ακτής και του σκάφους.



Εικόνα 2.3.1 Διάγραμμα τυπικής διάταξης συστήματος HVSC

### 2.3.1 Τυπική διαμόρφωση σύμφωνα με τη σύσταση της ΕΕ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει παράσχει μια τυπική διαμόρφωση για την τροφοδοσία ρεύματος από την ξηρά σύμφωνα με τη σύστασή της 2006/339/EC. Η διαμόρφωση αυτή, που απεικονίζεται στην εικόνα 2.3.1.1, προσφέρει μια τυποποιημένη προσέγγιση για τη σύνδεση των πλοίων με το σύστημα shore power. Παρόλο που είναι δυνατές παραλλαγές ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, η σύσταση της ΕΕ χρησιμεύει ως βάση για τη δημιουργία μιας αξιόπιστης και αποδοτικής εγκατάστασης cold ironing.



Εικόνα 2.3.1.1 Επισκόπηση της διάταξης Cold Ironing σύμφωνα με τη σύσταση 2006/339/EC της ΕΕ

Σε αυτή τη διαμόρφωση, η θέση 1 περιλαμβάνει σύνδεση με το εθνικό δίκτυο, μεταφέροντας ηλεκτρική ενέργεια σε εύρος τάσης 20-100 kV από έναν τοπικό υποσταθμό. Στη θέση 2, χρησιμοποιούνται καλώδια για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως σε τάση 6-20 kV, από τον υποσταθμό στον τερματικό σταθμό του λιμένα. Η μετατροπή της ισχύος

πραγματοποιείται στη Θέση 3, εάν είναι απαραίτητο, ιδίως όταν ένα πλοίο που έχει σχεδιαστεί για ηλεκτρική ενέργεια 60 Hz απαιτεί μετατροπή από τη συχνότητα 50 Hz που συναντάται συνήθως στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας της κοινότητας.

Η θέση 4 περιλαμβάνει τα καλώδια διανομής εντός του τερματικού σταθμού, τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν υπόγεια χρησιμοποιώντας υφιστάμενους ή νέους αγωγούς. Για τη διευκόλυνση του χειρισμού των καλωδίων υψηλής τάσης, η θέση 5 περιλαμβάνει ένα σύστημα τυλίγματος καλωδίων που βρίσκεται στην προβλήτα. Το σύστημα αυτό διαθέτει ένα καρούλι καλωδίων, ένα βατήρα και ένα πλαίσιο, που επιτρέπουν την ανύψωση και τη καθέλκυση των καλωδίων στο πλοίο. Μπορεί να τροφοδοτείται και να ελέγχεται ηλεκτρομηχανικά για μεγαλύτερη ευκολία.

Επί του σκάφους, στη θέση 6, παρέχεται μια πρίζα για τη σύνδεση του καλωδίου τροφοδοσίας από την ξηρά. Η θέση 7 περιλαμβάνει την παρουσία ενός μετασχηματιστή στο σκάφος για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης σε 400 V, εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα με το ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου. Τέλος, στη θέση 8, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται σε όλο το σκάφος, επιτρέποντας την απενεργοποίηση των βοηθητικών μηχανών κατά τη λήψη ρεύματος από την ξηρά.

Ενώ η συνιστώμενη από την ΕΕ διαμόρφωση χρησιμεύει ως λύση αποκεντρωμένης τοπολογίας, έχει τους περιορισμούς της. Ένα ζήτημα είναι η διαστασιολόγηση του μετατροπέα συχνότητας, ο οποίος μπορεί να χρειαστεί να προσαρμοστεί στο σκάφος με τη μεγαλύτερη ζήτηση ισχύος στον προβλήτα. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την υποαξιοποίηση της χωρητικότητας του μετατροπέα όταν υπάρχουν σκάφη με χαμηλότερες απαιτήσεις ισχύος.

Επιπλέον, η συνιστώμενη διαμόρφωση δεν διαθέτει ικανοποιητική γαλβανική προστασία μεταξύ του σκάφους και του ηλεκτρικού συστήματος της ξηράς. Αν και τα σκάφη που είναι εξοπλισμένα με μετασχηματιστές επί του σκάφους προσφέρουν κάποιο βαθμό προστασίας, εκείνα χωρίς μετασχηματιστές δεν διαθέτουν γαλβανικό διαχωρισμό από το ηλεκτρικό σύστημα της ξηράς. Αυτό αποτελεί δυνητική ευπάθεια για τα σκάφη που λειτουργούν στην ίδια τάση με την παροχή ρεύματος της ξηράς.

Επιπλέον, η διάταξη σύνδεσης που περιγράφεται προηγουμένως ενδέχεται να μην είναι κατάλληλη για πλοία που χρησιμοποιούν γερανούς για εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Η παρουσία του συστήματος τυλίγματος καλωδίων θα μπορούσε να παρεμποδίσει την προσβασιμότητα και να δημιουργήσει προβλήματα ασφάλειας. Εναλλακτικές λύσεις που αντιμετωπίζουν αυτές τις προκλήσεις και εξασφαλίζουν αδιάλειπτες λειτουργίες είναι ιδιαίτερα επιθυμητές σε τέτοιες περιπτώσεις.

### **2.3.2 Εξοπλισμός Παροχής Υψηλής Τάσης**

Ο εξοπλισμός παροχής υψηλής τάσης αποτελεί τη βάση του συστήματος HVSC, που είναι υπεύθυνο για την παροχή ισχύος υψηλής τάσης από την πλευρά της ακτής. Αυτός ο εξοπλισμός περιλαμβάνει μετασχηματιστές, μετατροπείς (εάν απαιτείται), καλώδια και συστήματα διαχείρισης καλωδίων. Παρέχει την απαραίτητη υποδομή για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο διατηρώντας παράλληλα τη συμβατότητα και την ασφάλεια.

Προδιαγραφές και δυνατότητες του εξοπλισμού παροχής υψηλής τάσης:

- **Μετασχηματιστές:** Αυτές οι συσκευές παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση της παροχής υψηλής τάσης από την ακτή σε ένα κατάλληλο επίπεδο για τις ηλεκτρικές απαιτήσεις του πλοίου. Εξασφαλίζουν αποτελεσματική μεταφορά ισχύος και παρέχουν απομόνωση μεταξύ της ακτής και των ηλεκτρικών συστημάτων του πλοίου.



Εικόνα 2.3.2.1 Μετασχηματιστής τάσης

- **Στατικός/Περιστρεφόμενος Μετατροπέας (όπου ισχύει):** Σε περιπτώσεις όπου η ακτή και το πλοίο λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας στατικός ή περιστρεφόμενος μετατροπέας. Αυτός ο μετατροπέας διευκολύνει τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας στη συχνότητα που είναι κατάλληλη για το σκάφος, εξασφαλίζοντας συμβατότητα και αδιάλειπτη παροχή ρεύματος.
- **Καλώδια και εξοπλισμός διαχείρισης καλωδίων:** Τα καλώδια υψηλής ποιότητας και ο εξοπλισμός διαχείρισης καλωδίων είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική μεταφορά ισχύος και την ασφαλή λειτουργία. Αυτά τα εξαρτήματα εξασφαλίζουν σωστή μόνωση, ασφαλείς συνδέσεις και αποτελεσματική δρομολόγηση καλωδίων. Τα συστήματα βύσματος και πρίζας επιτρέπουν αξιόπιστες και τυποποιημένες συνδέσεις, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο διακοπής ρεύματος και διασφαλίζοντας μια στιβαρή ηλεκτρική διεπαφή.





Εικόνα 2.3.2.2 Καλώδια για τη λειτουργία του Cold Ironing

### 2.3.3 Πίνακας Διανομής Ξηράς

Ο πίνακας διανομής της ξηράς λειτουργεί ως κρίσιμη διασύνδεση μεταξύ της παροχής ρεύματος στην ξηρά και του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου. Διαχειρίζεται τη διαδικασία μεταφοράς ισχύος, παρέχοντας βασικές λειτουργίες όπως παρακολούθηση, έλεγχος και προστασία.



Εικόνα 2.3.3.1 Πίνακας διανομής ξηράς

Βασικά χαρακτηριστικά του πίνακα διανομής ξηράς:

- **Παρακολούθηση:** Ενσωματώνει όργανα και δείκτες για την παρακολούθηση της τάσης, του ρεύματος, της συχνότητας και άλλων σχετικών παραμέτρων. Αυτές οι μετρήσεις επιτρέπουν στους χειριστές να διασφαλίζουν ότι η μεταφορά ισχύος

παραμένει εντός του επιθυμητού εύρους και να εντοπίζουν τυχόν ανωμαλίες ή αποκλίσεις.

- **Έλεγχος:** Επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν τη σύνδεση και την αποσύνδεση της παροχής ρεύματος. Περιλαμβάνει διακόπτες και άλλους μηχανισμούς ελέγχου για τη δημιουργία και τον τερματισμό της διαδικασίας μεταφοράς ισχύος όπως απαιτείται.
- **Προστασία:** Ενσωματώνει προστατευτικές συσκευές όπως συσκευές βραχυκυκλώματος, συσκευές υπερέντασης και ενδείξεις σφάλματος γείωσης. Αυτές οι προστασίες προστατεύουν το σύστημα από ηλεκτρικές βλάβες, διασφαλίζοντας την ασφάλεια τόσο του σκάφους όσο και της υποδομής της ακτής.

### 2.3.4 Μετασχηματιστής επί του πλοίου

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα πλοία μπορεί να απαιτούν έναν ενσωματωμένο μετασχηματιστή για να προσαρμόσει την παροχή ρεύματος στις συγκεκριμένες απαιτήσεις τάσης τους. Αυτός ο ενσωματωμένος μετασχηματιστής μειώνει την τάση περισσότερο από τον μετασχηματιστή στην ακτή, ευθυγραμμίζοντάς τον με την τάση του κύριου πίνακα διανομής του πλοίου.

Ο ρόλος και η σημασία του ενσωματωμένου μετασχηματιστή:

- **Προσαρμογή:** Διασφαλίζει ότι η ηλεκτρική ισχύς που λαμβάνεται από την ακτή είναι συμβατή με τον κεντρικό πίνακα διανομής χαμηλής τάσης του σκάφους. Παρέχει τον απαραίτητο μετασχηματισμό τάσης για να ταιριάζει με την ηλεκτρική υποδομή του σκάφους.
- **Ενσωμάτωση:** Με την ενσωμάτωση ενός μετασχηματιστή επί του πλοίου, τα πλοία μπορούν να συνδεθούν απρόσκοπτα στο τροφοδοτικό της ακτής χωρίς να διακυβεύονται τα ηλεκτρικά τους συστήματα. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική κατανομή ισχύος εντός του πλοίου, ενώ μεγιστοποιεί τα οφέλη των συστημάτων Cold Ironing.

### 2.3.5 Πίνακας Διανομής Πλοίου

Ο πίνακας διανομής του πλοίου είναι ένα κρίσιμο εξάρτημα στο ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου, ειδικά σχεδιασμένο για τη λήψη και τη διανομή της ισχύος που μεταφέρεται από τη σύνδεση στην ξηρά.

Χαρακτηριστικά και λειτουργίες του Πίνακα Παραλαβής Πλοίου:

- **Κατανομή ισχύος:** Χρησιμεύει ως σημείο διανομής της ισχύος που λαμβάνεται από τη σύνδεση στην ξηρά. Εξασφαλίζει τη σωστή κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα εποχούμενα συστήματα, εξοπλισμό και φορτία.
- **Προστασία:** Παρόμοια με τον πίνακα διανομής στην ξηρά, ο πίνακας διανομής του πλοίου ενσωματώνει προστατευτικές συσκευές και συναγερμούς. Αυτές περιλαμβάνουν προστασία από βραχυκύκλωμα, προστασία υπερέντασης, ανίχνευση σφαλμάτων γείωσης, παρακολούθηση τάσης και συχνότητας και προστασία ακολουθίας φάσεων. Αυτά τα μέτρα προστατεύουν την ηλεκτρική υποδομή του πλοίου και αποτρέπουν ζημιές στον εξοπλισμό ή λειτουργικά προβλήματα.

## 2.4 Έργα Cold Ironing σε Μεγάλα Λιμάνια

### 2.4.1 Λιμάνι του Λος Άντζελες

Η μελέτη περίπτωσης του λιμένα του Λος Άντζελες αποτελεί παράδειγμα πρωτοποριακής εφαρμογής τεχνικών Cold Ironing ή Alternative Maritime Power (AMP). Αναγνωρισμένο ως εξαιρετικό πρόγραμμα ποιότητας του αέρα, το λιμάνι του Λος Άντζελες επικεντρώνεται στη μείωση των εκπομπών από τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο λιμάνι. Ενώ το Cold Ironing είχε χρησιμοποιηθεί από τα πορθμεία της Βαλτικής και τα κρουαζιερόπλοια στην Αλάσκα, το λιμάνι του Λος Άντζελες έγινε το πρώτο λιμάνι στον κόσμο που υιοθέτησε αυτή την τεχνική για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Το ταξίδι προς το Cold Ironing στο λιμάνι του Λος Άντζελες ξεκίνησε στις 21 Ιουνίου 2004, με το άνοιγμα της προβλήτα 100 στον τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων West Basin, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με δυνατότητες Cold Ironing. Ειδικότερα, στις 9 Αυγούστου του ίδιου έτους, το NYK Atlas έγινε το πρώτο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με δυνατότητες AMP που κατέπλευσε στο λιμάνι. Στη συνέχεια, επιπλέον θέσεις ελλιμενισμού εξοπλίστηκαν με συστήματα Cold Ironing. Ο τερματικός σταθμός Yusen στη προβλήτα 214 (2006), ο τερματικός σταθμός Sea Side της Evergreen στη προβλήτα 230 (2010) και ο τερματικός σταθμός κρουαζιέρας στις προβλήτες 92 και 93A (2011) είναι μεταξύ των προβλητών που είναι πλέον εξοπλισμένα για την παροχή shore power.

Σύμφωνα με την απόφαση του Συμβουλίου Αεροπορικών Πόρων της Καλιφόρνια για τον περιορισμό των εκπομπών των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, το Τμήμα Λιμένων έδωσε εντολή για την εγκατάσταση 24 συστημάτων AMP σε διάφορους προβλήτες, με ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2014. Αυτή η δέσμευση για το Cold Ironing καταδεικνύει τις προληπτικές προσπάθειες του λιμανιού για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από τα μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στο λιμάνι του Λος Άντζελες.

Ένα συναρπαστικό ορόσημο για το λιμάνι του Λος Άντζελες σημειώθηκε στις 24 Φεβρουαρίου 2011, καθώς έγινε το πρώτο λιμάνι παγκοσμίως που παρέχει AMP σε τρεις διαφορετικές εταιρείες κρουαζιέρας. Το Παγκόσμιο Κέντρο Κρουαζιέρας του λιμανιού διαθέτει τη χαρακτηριστική δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης δύο μεμονωμένων κρουαζιερόπλοιων. Με τα περισσότερα κρουαζιερόπλοια να χρησιμοποιούν συστήματα ηλεκτρικής διανομής που λειτουργούν στα 6,6kV ή 11kV, οι θέσεις ελλιμενισμού με δυνατότητα Cold Ironing του λιμανιού είναι ιδανικές για να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις τάσης. Επί του παρόντος, η ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος κυμαίνεται μεταξύ 8MW και 13MW. Είναι αξιοσημείωτο ότι το Παγκόσμιο Κέντρο Κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι του Λος Άντζελες έχει τη δυνατότητα να παρέχει έως και 40MW ισχύος, φιλοξενώντας δύο κρουαζιερόπλοια με 20MW διαθέσιμα για κάθε πλοίο.



Εικόνα 2.4.1.1 Το λιμάνι του Λος Άντζελες

## 2.4.2 Λιμάνι του Γκέτεμποργκ

Το λιμάνι του Γκέτεμποργκ, το μεγαλύτερο λιμάνι της σκανδιναβικής περιοχής, κατέχει στρατηγική θέση με εξαιρετικές σιδηροδρομικές συνδέσεις και εκτεταμένο δίκτυο θαλάσσιων διαδρομών. Λειτουργεί ως κρίσιμη πύλη για τις εξαγωγικές εταιρείες σε ολόκληρη τη Σκανδιναβία και την περιοχή της Βαλτικής, προσφέροντας άμεσες συνδέσεις με παγκόσμιους προορισμούς. Με εξειδικευμένους τερματικούς σταθμούς για εμπορεύματα Ro-Ro, εμπορευματοκιβώτια, επιβάτες, πετρέλαιο και οχήματα, το λιμάνι του Γκέτεμποργκ καλύπτει ποικίλες θαλάσσιες ανάγκες.

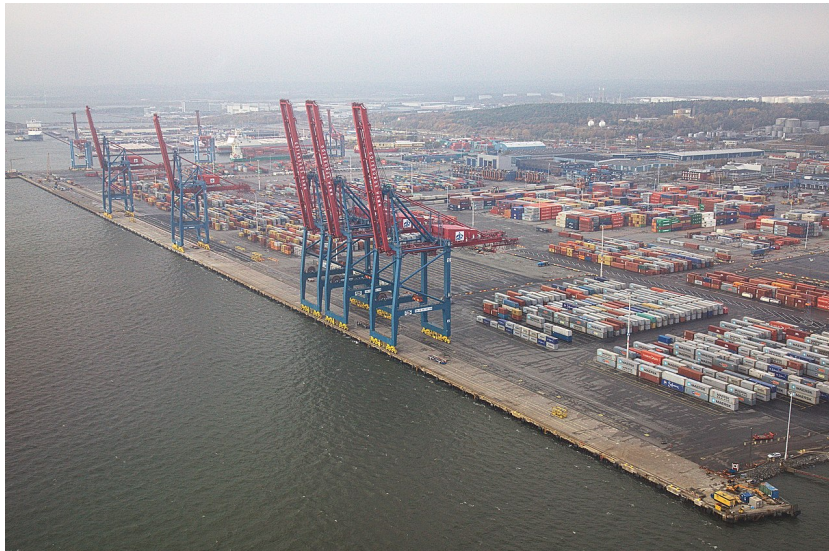
Το λιμάνι του Γκέτεμποργκ κατέχει μια αξιοσημείωτη διάκριση ως το πρώτο λιμάνι στον κόσμο που εφάρμοσε το Cold Ironing, παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια υψηλής τάσης στα πλοία που βρίσκονται στη προβλήτα και επιτρέποντάς τους να σβήσουν εντελώς τις κύριες μηχανές και τις βοηθητικές γεννήτριες. Η αρχική εφαρμογή του Cold Ironing χρονολογείται από το 2000 στον τερματικό σταθμό Ro-Ro και έκτοτε το λιμάνι έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στην επέκταση των έργων ηλεκτροδότησης ξηράς.

Επί του παρόντος, περίπου ένα στα τρία πλοία που καταπλέουν στο λιμάνι του Γκέτεμποργκ μπορεί να βασιστεί σε συστήματα Cold Ironing, επιτρέποντάς τους να σταματήσουν εντελώς τη χρήση των ρυπογόνων μηχανών τους. Αυτό το αξιοσημείωτο επίτευγμα συμβάλλει στη μείωση των επιβλαβών εκπομπών στην περιοχή του λιμανιού.

Για να ενισχύσει περαιτέρω τη δέσμευσή του για περιβαλλοντική βιωσιμότητα, το λιμάνι του Γκέτεμποργκ αξιοποιεί τη δύναμη δύο τοπικών ανεμογεννητριών για την παραγωγή πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση συμβάλλει στον μετριασμό των ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως τα NOx και SOx, που συνήθως συνδέονται με τις παραδοσιακές μονάδες παραγωγής ενέργειας.



Η υλοποίηση της εγκατάστασης Cold Ironing ενσωματώνει καινοτόμο τεχνολογία που μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα από την ευρωπαϊκή τυπική συχνότητα των 50Hz στα 60Hz που χρησιμοποιεί η πλειονότητα των πλοίων σε λειτουργία. Επί του παρόντος, τα συστήματα Cold Ironing χρησιμοποιούνται κυρίως σε επιβατηγά και φορτηγά οχηματαγωγά πλοία. Ωστόσο, η συνεχιζόμενη έρευνα των λιμενικών αρχών αποσκοπεί στην επέκταση της εφαρμογής του Cold Ironing σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και μεγάλα κρουαζιερόπλοια που διαπλέουν τα ευρωπαϊκά ύδατα, προωθώντας περαιτέρω την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στη ναυτιλιακή βιομηχανία.



**Εικόνα 2.4.2.1 Το λιμάνι του Γκέτεμποργκ**

### **2.4.3 Λιμάνι της Αμβέρσας**

Το λιμάνι της Αμβέρσας στο Βέλγιο, που βρίσκεται στην καρδιά της Ευρώπης και είναι προσβάσιμο σε πλοία τύπου capesize, κατέχει εξέχουσα θέση στο άνω άκρο των παλιρροιακών εκβολών του Σέλντε. Αυτή η στρατηγική θέση παρέχει στο λιμάνι ένα μοναδικό πλεονέκτημα, επιτρέποντας τη ναυσιπλοΐα μεγάλων πλοίων μέχρι 100.000 μικτούς τόνους σε απόσταση 80 χιλιομέτρων στην ενδοχώρα. Με άριστη συνδεσιμότητα με την ενδοχώρα μέσω σιδηροδρομικών, πλωτών και οδικών δικτύων, το λιμάνι της Αμβέρσας έχει καθιερωθεί ως ένα από τα κορυφαία θαλάσσια λιμάνια της Ευρώπης, καταλαμβάνοντας τη δεύτερη θέση όσον αφορά το σύνολο των διακινούμενων εμπορευμάτων, αμέσως μετά το Ρότερνταμ.

Τον Μάιο του 2008, το λιμάνι της Αμβέρσας έκανε ένα σημαντικό βήμα προς την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και υγειονομικών προβλημάτων που σχετίζονται με τις εκπομπές των πλοίων κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο λιμάνι. Ξεκίνησε η εγκατάσταση παροχών ενέργειας από την ξηρά για την τροφοδοσία των πλοίων, αξιοποιώντας προηγούμενες εμπειρίες με την παροχή ενέργειας από την ξηρά για φορτηγίδες και τον στόλο ρυμουλκών και βυθοκόρων του λιμανιού. Η πρωτοβουλία αυτή σηματοδότησε την έναρξη ενός δοκιμαστικού έργου, μιας συνεργασίας μεταξύ του Ανεξάρτητου Ναυτιλιακού Τερματικού Σταθμού, των λιμενικών αρχών και της φλαμανδικής κοινότητας. Ο στόχος ήταν η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα ποντοπόρα πλοία, ιδίως στα πλοία της Independent Container Line (ICL), κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού.

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας Cold Ironing στο λιμάνι της Αμβέρσας έχει τεράστια σημασία για τις λιμενικές αρχές. Αντιπροσωπεύει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από τα πλοία στις λιμενικές περιοχές. Με τη διευκόλυνση της χρήσης του ρεύματος ξηράς, το λιμάνι λαμβάνει προληπτικά μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, ευθυγραμμίζόμενο με τη δέσμευσή του για περιβαλλοντική διαχείριση.



**Εικόνα 2.4.3.1 Το λιμάνι της Αμβέρσας**

## 3. Φωτοβολταϊκά Πάνελ και Εμπορία Ενέργειας

### 3.1 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά Πάνελ

Σε αυτήν την ενότητα, παρέχεται μια ολοκληρωμένη εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ, περιγράφοντας τις θεμελιώδεις αρχές, τα στοιχεία του συστήματος και τα οφέλη τους στο πλαίσιο των λιμενικών περιβαλλόντων.

#### 3.1.1 Επισκόπηση Φωτοβολταϊκών Τεχνολογιών

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι συσκευές που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση του ηλιακού φωτός με υλικά ημιαγωγών, συνήθως πυρίτιο, για τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Με τη σύλληψη και τη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας, τα φωτοβολταϊκά πάνελ προσφέρουν μια λύση καθαρής και ανανεώσιμης ενέργειας.

Η έννοια της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας περιστρέφεται γύρω από τη θεμελιώδη αρχή της μετατροπής του ηλιακού φωτός σε χρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Όταν το ηλιακό φως πέφτει στα φωτοβολταϊκά πάνελ, τα φωτόνια στο ηλιακό φως διεγείρουν τα ηλεκτρόνια στο υλικό ημιαγωγών, δημιουργώντας μια ροή ηλεκτρισμού. Αυτή η άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια επιτρέπει στα φωτοβολταϊκά πάνελ να παράγουν καθαρή και βιώσιμη ενέργεια.

#### 3.1.2 Εξαρτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Για να κατανοηθεί πλήρως τη λειτουργικότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν τα βασικά στοιχεία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Αυτά τα εξαρτήματα συνεργάζονται για τη σύλληψη, τη μετατροπή, την αποθήκευση και τη διανομή της ηλιακής ενέργειας αποτελεσματικά.

Τα κύρια στοιχεία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος περιλαμβάνουν:

1. **Ηλιακά πάνελ:** Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, γνωστά και ως ηλιακά πάνελ, αποτελούνται από πολλαπλά διασυνδεδεμένα ηλιακά κύτταρα. Αυτά τα κύτταρα είναι κατασκευασμένα από υλικά ημιαγωγών και είναι υπεύθυνα για τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια.
2. **Μετατροπείς/Inverters:** Οι μετατροπείς διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) κατάλληλο για χρήση σε ηλεκτρικά συστήματα. Διασφαλίζουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα πάνελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την τροφοδοσία διαφόρων συσκευών και εξοπλισμού.
3. **Ελεγκτής φόρτισης:** Οι ελεγκτές φόρτισης είναι απαραίτητοι για τον έλεγχο της φόρτισης και της εκφόρτισης μιας συστοιχίας μπαταριών ή της τάσης εξόδου ενός φωτοβολταϊκού πίνακα. Αποτρέπουν την υπερφόρτιση ή την υπερβολική εκφόρτιση

των μπαταριών και βελτιστοποιούν την τάση εξόδου του ηλιακού πάνελ ώστε να ταιριάζει με την τάση του συστήματος.

4. **Μπαταρίες:** Σε ορισμένα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας που παράγεται σε περιόδους υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτά τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας επιτρέπουν στο λιμάνι να χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια ακόμη και σε περιόδους χαμηλού ηλιακού φωτός ή τη νύχτα, ενισχύοντας τη συνολική αξιοπιστία και σταθερότητα της παροχής ενέργειας.
5. **Εξοπλισμός παρακολούθησης:** Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματώνουν συσκευές παρακολούθησης για την παρακολούθηση και ανάλυση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών, των μετατροπένων και άλλων εξαρτημάτων του συστήματος. Αυτά τα εργαλεία παρακολούθησης παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για την παραγωγή ενέργειας, την απόδοση του συστήματος και πιθανά ζητήματα, διευκολύνοντας την προληπτική συντήρηση και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.
6. **Κατασκευές στερέωσης:** Οι φωτοβολταϊκές μονάδες απαιτούν στιβαρές δομές στερέωσης για να τις στερεώνουν στη θέση τους και να βελτιστοποιούν την έκθεσή τους στο ηλιακό φως. Αυτές οι δομές μπορούν να είναι σταθερές ή ρυθμιζόμενες, επιτρέποντας σωστό προσανατολισμό και ρύθμιση γωνίας κλίσης για μεγιστοποίηση της δέσμησης ηλιακής ενέργειας.
7. **Ηλεκτρικές συνδέσεις:** Οι καλωδιώσεις και τα ηλεκτρικά εξαρτήματα, όπως κουτιά διακλάδωσης, καλώδια και σύνδεσμοι, διευκολύνουν τη διασύνδεση των φωτοβολταϊκών μονάδων και διασφαλίζουν την ομαλή ροή ηλεκτρικής ενέργειας εντός του συστήματος. Οι κατάλληλες καλωδιώσεις και ηλεκτρικές συνδέσεις είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική μετάδοση ισχύος και την ασφάλεια του συστήματος.

Κατανοώντας τη λειτουργικότητα αυτών των στοιχείων, οι λιμενικές αρχές μπορούν να σχεδιάσουν, να εφαρμόσουν και να διαχειριστούν αποτελεσματικά τα φωτοβολταϊκά συστήματα εντός των αντίστοιχων λιμένων τους.

### 3.1.3 Οφέλη από Φ/Β Πάνελ σε Λιμενικά Περιβάλλοντα

Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε περιβάλλοντα λιμένων προσφέρει πολυάριθμα οφέλη, τόσο από περιβαλλοντική όσο και από λειτουργική άποψη.

1. **Μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου:** Χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια ως καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά πάνελ συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα λιμάνια μπορούν να μειώσουν σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα και να υποστηρίξουν τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης υιοθετώντας την τεχνολογία φωτοβολταϊκών.
2. **Ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια:** Τα φωτοβολταϊκά πάνελ παρέχουν στα λιμάνια μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις εγκαταστάσεις τους. Αυτό μειώνει την εξάρτησή τους από εξωτερικές πηγές ενέργειας και ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια. Παράγοντας τη δική τους καθαρή



ενέργεια, τα λιμάνια γίνονται πιο ανθεκτικά στις διακοπές του ενεργειακού εφοδιασμού και στις διακυμάνσεις των τιμών στις παραδοσιακές αγορές ενέργειας.

3. **Δυνατότητα εξοικονόμησης κόστους:** Αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, τα λιμάνια έχουν την ευκαιρία να μειώσουν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ μπορεί να αντισταθμίσει ένα μέρος ή ακόμα και το σύνολο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του λιμανιού, με αποτέλεσμα πιθανή εξοικονόμηση κόστους. Επιπλέον, η παραγωγή πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής του ηλιακού φωτός επιτρέπει στα λιμάνια να εξερευνήσουν ευκαιρίες δημιουργίας εσόδων, όπως η πώληση υπερβολικής ενέργειας πίσω στο δίκτυο ή η ενασχόληση με δραστηριότητες εμπορίας ενέργειας.
4. **Περιβαλλοντική διαχείριση και αιεφορία:** Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών πάνελ ευθυγραμμίζει τα λιμάνια με βιώσιμες πρακτικές, ενισχύοντας τη δέσμευσή τους για περιβαλλοντική διαχείριση. Μειώνοντας την εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα, τα λιμάνια μπορούν να επιδείξουν την αφοσίωσή τους στην υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να συμβάλλουν σε ένα πιο πράσινο και πιο βιώσιμο μέλλον.

## 3.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ στα ελληνικά λιμάνια

Το παρόν υποκεφάλαιο αποσκοπεί στην αξιολόγηση του ηλιακού δυναμικού των ελληνικών λιμένων της παρούσας εργασίας και της βιωσιμότητας της χρήσης φωτοβολταϊκών πάνελ ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Δεδομένης της γεωγραφικής θέσης και των 14 λιμένων της έρευνας, μπορούμε να υποθέσουμε ευνοϊκές ηλιακές συνθήκες. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα συζητήσουμε τις παραδοχές που έγιναν σχετικά με τις ετήσιες μέσες ώρες φωτός και τις ηλιόλουστες ημέρες. Επιπλέον, θα εμβαθύνουμε στην αποδοτικότητα και την εξασθένηση της ισχύος των φωτοβολταϊκών πάνελ, μαζί με την ισχύ που μετράται σε Megawatt peak (MWp).

### 3.2.1 Ηλιακό δυναμικό στα ελληνικά λιμάνια

Με τη θέση της σε μια περιοχή πλούσια σε ήλιο, η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό ηλιακής ενέργειας. Η χώρα επωφελείται κατά μέσο όρο από 3.000 ώρες φωτός το χρόνο και περίπου 250 ηλιόλουστες ημέρες ετησίως. Με βάση αυτά τα στοιχεία, η μέση ημερήσια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία φτάνει περίπου τις 12 ώρες. Αυτή η υψηλή ηλιακή διαθεσιμότητα καθιστά τα ελληνικά λιμάνια ένα ελκυστικό περιβάλλον για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

### 3.2.2 Αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι μια εξαιρετικά αποδοτική τεχνολογία για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας, γίνεται η υπόθεση ότι η απόδοση των πάνελ είναι 75%, υποδεικνύοντας ότι το 75% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται αποτελεσματικά σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Για να ληφθεί υπόψη η σταδιακή μείωση της απόδοσης των πάνελ με την πάροδο του χρόνου, θεωρείται συντελεστής μείωσης 20%, κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 25 ετών, εξασφαλίζοντας ρεαλιστικές εκτιμήσεις ισχύος για τη μακροπρόθεσμη απόδοση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

### 3.2.3 Megawatt Peak (MWp)

Το Megawatt Peak (MWp) χρησιμεύει ως τυπικό μέτρο για την έκφραση της ονομαστικής ισχύος ή της χωρητικότητας των φωτοβολταϊκών πάνελ ή των ηλιακών εγκαταστάσεων. Αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ισχύ εξόδου που μπορεί να επιτευχθεί υπό βέλτιστες συνθήκες. Σε αυτό το υποκεφάλαιο, παρέχεται μια επισκόπηση της δυναμικότητας MWp για κάθε ένα από τα 14 ελληνικά λιμάνια. Με την κατανόηση της δυναμικότητας MWp, μπορεί να μετρηθεί η δυναμική ικανότητα παραγωγής ενέργειας και να αξιολογηθεί το δυναμικό ηλιακής ενέργειας κάθε λιμένα.

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα στοιχεία σχετικά με τα εγκατεστημένα MWp και τη παραγόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ στα 14 λιμάνια της εργασίας.

	Εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β	Παραγόμενη ενέργεια
Λιμάνια	[MWp]	[MWh]
Λιμάνι 1	2,00	4.500,0
Λιμάνι 2	3,00	6.750,0
Λιμάνι 3	3,00	6.750,0
Λιμάνι 4	1,50	3.375,0
Λιμάνι 5	1,00	2.250,0
Λιμάνι 6	1,00	2.250,0
Λιμάνι 7	0,50	1.125,0
Λιμάνι 8	1,50	3.375,0
Λιμάνι 9	1,00	2.250,0
Λιμάνι 10	1,00	2.250,0
Λιμάνι 11	1,00	2.250,0
Λιμάνι 12	1,50	3.375,0
Λιμάνι 13	2,00	4.500,0
Λιμάνι 14	1,50	3.375,0

Πίνακας 3.2.3.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία εξαζόμενων λιμένων ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των Φ/Β και της παραγόμενης ενέργειας

### **3.3 Το Net Metering και ο ρόλος του στην εμπορία ενέργειας**

Το Net metering είναι ένας κρίσιμος μηχανισμός που διευκολύνει την εμπορία ενέργειας και ενθαρρύνει την υιοθέτηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ, σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών περιβαλλόντων. Αυτό το υποκεφάλαιο διερευνά την έννοια του net metering, τη λειτουργία του και τις πολιτικές και ρυθμιστικές εκτιμήσεις που αφορούν την εφαρμογή του.

#### **3.3.1 Ορισμός και έννοια του Net Metering**

Το Net metering αναφέρεται σε μια ρύθμιση τιμολόγησης που επιτρέπει στους καταναλωτές ενέργειας, όπως οι λιμενικές εγκαταστάσεις, να αντισταθμίζουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παράγοντας ανανεώσιμη ενέργεια και τροφοδοτώντας την περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο. Σύμφωνα με αυτή τη ρύθμιση, ο μετρητής ενέργειας μετρά τόσο την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο όσο και την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Η καθαρή κατανάλωση ή παραγωγή καταγράφεται και οι καταναλωτές χρεώνονται ή πιστώνονται ανάλογα.

Η έννοια του Net metering ενθαρρύνει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ παρέχοντας ένα κίνητρο στους καταναλωτές να παράγουν τη δική τους καθαρή ενέργεια. Επιτρέπει την ενεργειακή αυτόρκεια, τη μειωμένη εξάρτηση από παραδοσιακές πηγές ενέργειας και τη δυνατότητα εξοικονόμησης κόστους μέσω του συμψηφισμού των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας.

#### **3.3.2 Λειτουργία Συστημάτων Net Metering**

Τα συστήματα Net metering λειτουργούν μέσω αμφίδρομων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας που παρακολουθούν τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ του δικτύου και του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του καταναλωτή. Όταν τα φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από αυτή που απαιτεί ο καταναλωτής, η πλεονάζουσα ενέργεια εξάγεται στο δίκτυο και ο μετρητής καταγράφει αυτή την πλεονάζουσα παραγωγή. Αντίθετα, όταν η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του καταναλωτή υπερβαίνει την έξοδο του φωτοβολταϊκού πίνακα, η ηλεκτρική ενέργεια αντλείται από το δίκτυο και ο μετρητής μετρά την καθαρή κατανάλωση.

Η μέτρηση καθαρής ενέργειας επιτρέπει τον προσδιορισμό του ενεργειακού ισοζυγίου σε μια περίοδο χρέωσης. Ανάλογα με τους συγκεκριμένους κανονισμούς και πολιτικές του Net metering, η πλεονάζουσα ενέργεια που εξάγεται στο δίκτυο μπορεί να πιστωθεί με το επιτόκιο λιανικής, αντισταθμίζοντας ουσιαστικά τη μελλοντική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ή δυναμικά καταλήγοντας σε αποζημίωση για τον καταναλωτή.

#### **3.3.3 Πολιτικές και ρυθμιστικές εκτιμήσεις**

Η εφαρμογή του net metering απαιτεί σαφή πολιτική και ρυθμιστικά πλαίσια που να διέπουν τα δικαιώματα, τις υποχρεώσεις και τους μηχανισμούς αποζημίωσης για τους παραγωγούς και τους καταναλωτές ενέργειας. Οι βασικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν:

- **Κριτήρια επιλεξιμότητας:** Καθορισμός των κριτηρίων επιλεξιμότητας για συμμετοχή σε προγράμματα net metering, όπως όρια μεγέθους συστήματος, απαιτήσεις τεχνολογίας και κατηγορίες καταναλωτών (κατοικίες, εμπορικές, βιομηχανικές κ.λπ.).
- **Μηχανισμοί αντιστάθμισης:** Καθιέρωση δίκαιων μηχανισμών αντιστάθμισης για την πλεονάζουσα ενέργεια που εξάγεται στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των τιμολογίων τροφοδοσίας, της καθαρής χρέωσης ενέργειας ή των πιστώσεων που ισχύουν για μελλοντικούς λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Διασύνδεση δικτύου:** Θέσπιση τεχνικών απαιτήσεων και προτύπων για τη διασύνδεση με το δίκτυο για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής ενσωμάτωσης των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην υπάρχουσα υποδομή δικτύου.
- **Μέτρηση και διαχείριση δεδομένων:** Περιγράφει τις απαιτήσεις μέτρησης, τις υποχρεώσεις αναφοράς δεδομένων και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των καταναλωτών, των παρόχων ενέργειας και των ρυθμιστικών φορέων για τη διασφάλιση της ακριβούς μέτρησης και τιμολόγησης.
- **Κίνητρα πολιτικής:** Εφαρμογή υποστηρικτικών κινήτρων πολιτικής, όπως εκπτώσεις φόρου, επιχορηγήσεις ή επιδοτήσεις, για την ενθάρρυνση της υιοθέτησης συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την προώθηση της συμμετοχής στο Net metering.
- **Ρυθμιστική εποπτεία:** Ορισμός ρυθμιστικών φορέων που είναι αρμόδιοι για την επίβλεψη της εφαρμογής, την παρακολούθηση της συμμόρφωσης και την αντιμετώπιση τυχόν διαφορών ή προκλήσεων που σχετίζονται με προγράμματα net metering.

Αντιμετωπίζοντας αυτές τις πολιτικές και ρυθμιστικές εκτιμήσεις, οι κυβερνήσεις μπορούν να δημιουργήσουν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για το Net metering, την προώθηση της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ενθάρρυνση του εμπορίου ενέργειας και την υποστήριξη της βιώσιμης ανάπτυξης των λιμενικών περιβαλλόντων.

## 4. Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας (ΣΑΕ)

### 4.1 Σημασία της Αποθήκευσης Ενέργειας σε Λιμενικά Περιβάλλοντα

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ σε περιβάλλοντα λιμένων. Αυτά τα συστήματα παρέχουν ένα μέσο αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ κατά τις περιόδους αιχμής παραγωγής και την αξιοποίησή της σε περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή υψηλής ζήτησης ενέργειας. Η σημασία της αποθήκευσης ενέργειας σε περιβάλλοντα λιμένων περιλαμβάνει:

- **Εξισορρόπηση Προσφοράς και Ζήτησης Ενέργειας:** Η αποθήκευση ενέργειας επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση των ενεργειακών διακυμάνσεων, εξασφαλίζοντας συνεχή και σταθερή παροχή ρεύματος στις λιμενικές εγκαταστάσεις και επιτρέποντάς τους να καλύπτουν αξιόπιστα τις ενεργειακές τους ανάγκες.
- **Ανεξαρτησία δικτύου:** Αποθηκεύοντας ενέργεια σε τοπικό επίπεδο, οι θύρες μπορούν να μειώσουν την εξάρτησή τους από το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο σε περιόδους συμφόρησης του δικτύου, διακοπής ρεύματος ή υψηλών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας:** Η αποθήκευση ενέργειας επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια, μετριάζοντας τη διαλείπουσα φύση της παραγωγής φωτοβολταϊκών και μεγιστοποιώντας τη χρήση καθαρής ενέργειας στο λιμενικό περιβάλλον.

### 4.2 Τύποι μπαταριών για αποθήκευση ενέργειας

Στο πεδίο των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας για ενσωμάτωση Φ/Β σε περιβάλλοντα λιμένων, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (Battery Energy Storage Systems/BESS) προσφέρουν μια ευέλικτη και αποτελεσματική λύση. Οι παρακάτω είναι οι τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται συνήθως:

- **Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion):** Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται ευρέως για αποθήκευση ενέργειας φωτοβολταϊκών λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητάς τους, της μεγάλης διάρκειας κύκλου ζωής τους και του γρήγορου χρόνου απόκρισης. Είναι κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές λιμένων, που κυμαίνονται από εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας έως έργα αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας.
- **Μπαταρίες μολύβδου-οξέος:** Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι η παλαιότερη και πιο ώριμη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας. Είναι οικονομικά αποδοτικά, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι κατάλληλα για ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μικρού κύκλου. Ωστόσο, έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής, έχουν κακή απόδοση σε ακραίες θερμοκρασίες και έχουν περιβαλλοντικές ανησυχίες λόγω της περιεκτικότητας σε μόλυβδο και οξύ.
- **Μπαταρίες νικελίου καδμίου (NiCd):** Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες και χαμηλή

συντήρηση σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Είναι στιβαρά και αξιόπιστα, καθιστώντας τα κατάλληλα για αντίξοες συνθήκες. Ωστόσο, είναι μεγάλα, περιέχουν τοξικά βαρέα μέταλλα, υποφέρουν από αυτοεκφόρτιση και απαιτούν σωστή απόρριψη.

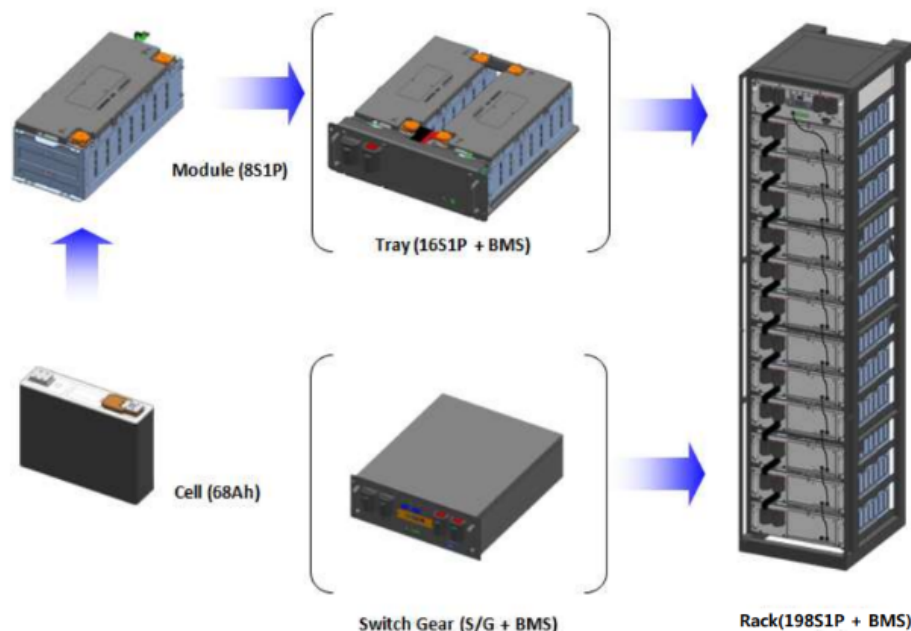
- **Μπαταρίες υδριδίου μετάλλου νικελίου (NiMH):** Οι μπαταρίες υδριδίου μετάλλου νικελίου είναι φιλικές προς το περιβάλλον και έχουν καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος και NiCd. Δεν έχουν τοξικές ουσίες και προσφέρουν μια εφικτή εναλλακτική λύση. Ωστόσο, έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου και υποφέρουν από αυτοεκφόρτιση, καθιστώντας τις λιγότερο κατάλληλες για μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας.

### 4.3 Εξαρτήματα ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών

Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (BESS) περιλαμβάνει πολλά βασικά εξαρτήματα που συνεργάζονται για την αποθήκευση και την απελευθέρωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεσματικά. Η κατανόηση των βασικών στοιχείων ενός BESS είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της συνολικής λειτουργίας και ενσωμάτωσής του με τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα κύρια συστατικά ενός τυπικού BESS περιλαμβάνουν:

#### 4.3.1 Μπαταρίες

Η μπαταρία είναι το βασικό δομικό στοιχείο ενός συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η σύνθεση της μπαταρίας μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικές μονάδες όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.3.1.1 Σύνθεση των μπαταριών

Στο πιο βασικό επίπεδο, ένα μεμονωμένο στοιχείο μπαταρίας είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που μετατρέπει την αποθηκευμένη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Κάθε στοιχείο περιέχει μια κάθοδο, ή θετικό τερματικό, και μια άνοδο, ή αρνητικό τερματικό. Ένας

ηλεκτρολύτης προωθεί τα ιόντα να κινούνται μεταξύ των ηλεκτροδίων και των ακροδεκτών, γεγονός που επιτρέπει στο ρεύμα να ρέει έξω από την μπαταρία για να εκτελέσει εργασία. Ένα στοιχείο είναι ουσιαστικά η μικρότερη, συσκευασμένη μορφή που μπορεί να πάρει μια μπαταρία. Αυτά τα στοιχεία μπαταρίας συνδυάζονται σε ένα πλαίσιο για να σχηματίσουν μια μονάδα. Αυτό γίνεται γενικά με τη συναρμολόγηση ενός σταθερού αριθμού κυψελών μεταξύ τους, συνδεδεμένων είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Στη συνέχεια, ένα σύμπλεγμα μονάδων μπαταρίας συνδυάζεται για να σχηματίσει έναν δίσκο, ο οποίος, όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα, μπορεί να συσκευαστεί με το δικό του Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (ΣΔΜ). Οι δίσκοι στοιβάζονται στη συνέχεια μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα ράφι μπαταρίας.

### **4.3.2 Σύστημα Διαχείρισης Μπαταριών (ΣΔΜ)**

Το Σύστημα Διαχείρισης Μπαταριών (ΣΔΜ) είναι βασικό συστατικό οποιουδήποτε Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας που βασίζεται σε Li-ion και εκτελεί πολλές κρίσιμες λειτουργίες. Η πρωταρχική δουλειά του ΣΔΜ είναι να προστατεύει την μπαταρία από ζημιές σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας. Αυτό το κάνει διασφαλίζοντας ότι οι κυψέλες της μπαταρίας λειτουργούν εντός των προβλεπόμενων ορίων λειτουργίας για την κατάσταση φόρτισης, τάσης, ρεύματος και θερμοκρασίας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μπαταρίες ιόντων λιθίου υψηλής πυκνότητας ισχύος για την πρόληψη πυρκαγιών ή εκρήξεων που προκαλούνται από θερμική διαφυγή και καύση. Αυτό το λογισμικό είναι γενικά σχεδιασμένο ειδικά από κάθε κατασκευαστή και είναι απομονωμένο στον ιστότοπο. Ένα ΣΔΜ συνήθως δεν επικοινωνεί εγγενώς με εξωτερικές συσκευές ούτε μιλάει μια τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού.

Το ΣΔΜ παρακολουθεί συνεχώς κρίσιμες πληροφορίες της τράπεζας μπαταριών από μεμονωμένες κυψέλες, μονάδες μπαταριών και βάσεις. Αυτό περιλαμβάνει την καταγραφή των ζωτικών ηλεκτρικών παραμέτρων λειτουργίας καθώς και των επιπέδων ηλεκτρολυτών, της εσωτερικής θερμοκρασίας κυψέλης και της θερμοκρασίας περιβλήματος της μπαταρίας περιβάλλοντος. Μπορεί επίσης να συντονίζει τυχόν απαραίτητα μηχανικά μέτρα HVAC. Όλες αυτές οι πληροφορίες συλλέγονται και χρησιμοποιούνται για σωστή συντήρηση και εκτιμήσεις χρόνου εκτέλεσης του στοιχείου μπαταρίας. Το ΣΔΜ διασφαλίζει επίσης ότι οι κυψέλες της μπαταρίας παραμένουν ισορροπημένες στην ίδια κατάσταση φόρτισης. Οποιαδήποτε ανισορροπία στους ακροδέκτες της τράπεζας μπαταρίας μπορεί να προκαλέσει πίεση στις κυψέλες και να οδηγήσει σε μείωση της συνολικής διάρκειας ζωής της μπαταρίας.

### **4.3.3 Σύστημα Μετατροπής Ισχύος (ΣΜΙ) ή Υβριδικός Μετατροπέας**

Όπως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, μια συστοιχία μπαταριών Li-ion απαιτεί έναν μετατροπέα για την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Οι συσκευές αυτές είναι πιο δυναμικές από έναν τυπικό φωτοβολταϊκό μετατροπέα, επειδή μπορούν να λειτουργούν αμφίδρομα. Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς μπορεί να ρέει από συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή αντίστροφα, γεγονός που επιτρέπει αποτελεσματικά στο Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας να φορτίζει και να εκφορτίζει. Κατευθύνοντας τους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης της μπαταρίας, το ΣΜΙ ελέγχει τη ροή ενέργειας. Για να γίνει αυτό, ο υβριδικός μετατροπέας πρέπει να είναι καλά ενημερωμένος για τη διαθέσιμη χωρητικότητα της μπαταρίας, ώστε να ξέρει να διακόπτει τη φόρτιση όταν η μπαταρία είναι γεμάτη. Με αυτόν τον τρόπο, το

Σύστημα Μετατροπής Ισχύος είναι υπεύθυνο για τις ηλεκτρικές λειτουργίες χαμηλού επιπέδου επί τόπου. Αυτές οι αντιδράσεις μπορούν να οδηγηθούν από μετρημένες πληροφορίες επί τόπου ή μέσω εξωτερικών σημάτων σχετικά με το πότε πρέπει να φορτιστεί και να αποφορτιστεί το σύστημα για μέγιστο αποτέλεσμα.

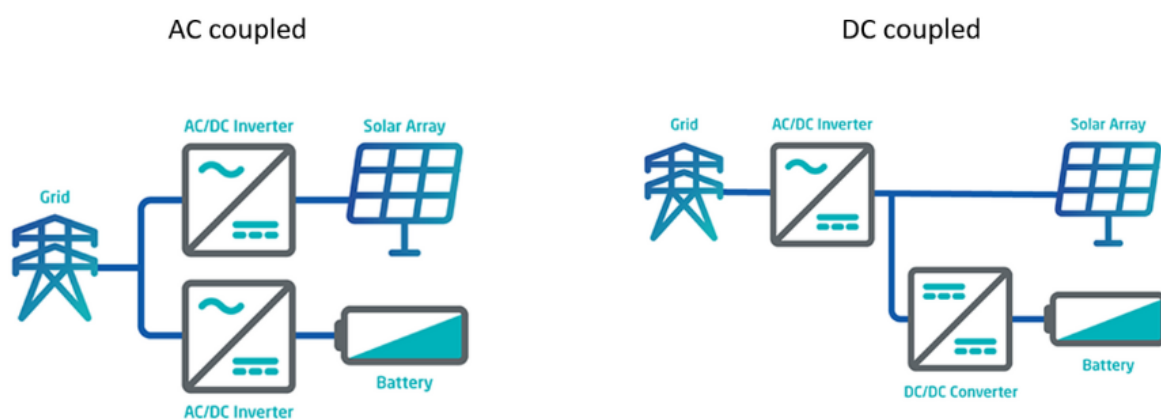
Είναι σημαντικό να γίνεται διάκριση μεταξύ συζευγμένων με εναλλασσόμενο ρεύμα και συζευγμένων συστημάτων συνεχούς ρεύματος κατά τη συζήτηση των ΣΜΙ. Υπάρχουν δύο επιλογές για τη σύνδεση της μπαταρίας σε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών με σύστημα αποθήκευσης:

- Διαμόρφωση με σύζευξη DC:

Σε μια διαμόρφωση με σύζευξη DC, η μπαταρία συνδέεται απευθείας με το δίαυλο DC του συστήματος μετατροπής ισχύος. Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς συνεχούς ρεύματος από την μπαταρία συνδυάζεται με την ισχύ συνεχούς ρεύματος από άλλες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακούς συλλέκτες ή ανεμογεννήτριες, πριν μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα για ενοποίηση στο δίκτυο ή τοπική κατανάλωση. Η διαμόρφωση με σύζευξη DC επιτρέπει την αποτελεσματική μεταφορά και χρήση ενέργειας, καθώς η ενέργεια ρέει απευθείας από την μπαταρία στον δίαυλο DC χωρίς πρόσθετα βήματα μετατροπής. Αυτή η ρύθμιση είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές όπου η κύρια πηγή ενέργειας βασίζεται σε συνεχές ρεύμα, όπως φωτοβολταϊκά συστήματα.

- Διαμόρφωση με σύζευξη AC:

Σε μια διαμόρφωση με σύζευξη εναλλασσόμενου ρεύματος, η μπαταρία είναι συνδεδεμένη στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος του συστήματος μετατροπής ισχύος. Εδώ, η ισχύς συνεχούς ρεύματος από την μπαταρία μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα, ο οποίος στη συνέχεια συγχρονίζεται με το δίκτυο. Η ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος από την μπαταρία συνδυάζεται με την ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται από άλλες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακή ή αιολική, και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο ηλεκτρικό δίκτυο ή σε τοπικά φορτία. Η διαμόρφωση με σύζευξη AC παρέχει ευελιξία όσον αφορά το σχεδιασμό του συστήματος και επιτρέπει την ενσωμάτωση διαφορετικών πηγών ενέργειας με διαφορετικά επίπεδα τάσης ή χαρακτηριστικά συχνότητας. Επιτρέπει επίσης στην μπαταρία να παρέχει λειτουργίες υποστήριξης δικτύου, όπως ρύθμιση συχνότητας και peak shaving, με έγχυση ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο όπως απαιτείται.



Εικόνα 5.3.3.1 Σύζευξη AC και σύζευξη DC



#### **4.3.4 Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (ΣΔΕ)**

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (ΣΔΕ) είναι ένα κρίσιμο στοιχείο σε ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ΣΑΕ) που χειρίζεται τους ελέγχους και τον συντονισμό της δραστηριότητας αποστολής ΣΑΕ.

Λειτουργεί ως κεντρικό κέντρο εντολών, επικοινωνώντας με το σύστημα μετατροπής ισχύος (ΣΜΙ) και το σύστημα διαχείρισης μπαταριών (ΣΔΜ) και λαμβάνει αποφάσεις για το πότε και τον τρόπο αποστολής ενέργειας με βάση οικονομικούς παράγοντες όπως η διαχείριση ζήτησης-φόρτισης, ο χρόνος χρήσης arbitrage, ή ηλιακή ιδιοκατανάλωση. Το ΣΔΕ βελτιστοποιεί την απόδοση του ΣΑΕ λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η μακροχρόνια φόρτιση-εκφόρτιση, η υποβάθμιση της χωρητικότητας και η απόδοση της επένδυσης. Εξασφαλίζει την αποδοτική και αποτελεσματική χρήση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας κατανοώντας τους περιορισμούς του ΣΔΜ και του ΣΜΙ και αναπτύσσοντας το ΣΔΕ όταν μπορεί να έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο.

Η πολυπλοκότητα του ΣΔΕ μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή, που κυμαίνεται από απλή συντονισμένη εκφόρτιση κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών παραθύρων έως προηγμένους αλγόριθμους μηχανικής εκμάθησης που συν-βελτιστοποιούν πολλαπλές ροές τιμών. Επιπλέον, το ΣΔΕ χρησιμεύει ως κεντρικό σημείο συλλογής δεδομένων, συλλέγοντας και αναλύοντας δεδομένα απόδοσης από το ΣΑΕ, επιτρέποντας τη συντήρηση του συστήματος, την επίλυση προβλημάτων και την τακτική αναφορά για τους τελικούς χρήστες και τα υπεύθυνα μέρη.

Συνολικά, το ΣΔΕ διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση και τη μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, διασφαλίζοντας παράλληλα τη μακροπρόθεσμη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και τη λειτουργική απόδοση.

### **4.4 Λειτουργία Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας στα Εξεταζόμενα Λιμάνια**

Το παρόν υποκεφάλαιο επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της αποθήκευσης ενέργειας σε Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας για τους 14 λιμένες που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Στόχος είναι η αξιολόγηση της αποδοτικότητας της αποθήκευσης ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη την αποθηκευτική ικανότητα των μπαταριών και τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ώρες της ημέρας. Επιπλέον, εισάγεται ένας τύπος για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας σε ηλιόλουστες ημέρες και εξηγείται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της εκμεταλλεόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και της παραγόμενης πλεονάζουσας ενέργειας.

#### **Εκτίμηση της αποθήκευσης ενέργειας:**

Η διαδικασία εκτίμησης περιλαμβάνει την ανάλυση της συνδυασμένης αποθηκευτικής ικανότητας των μπαταριών και των ενεργειακών απαιτήσεων κατά τις ώρες της ημέρας για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας της αποθήκευσης ενέργειας σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Συγκρίνοντας αυτή τη συνδυασμένη χωρητικότητα με την παραγωγή ενέργειας

των φωτοβολταϊκών πάνελ, είναι δυνατόν να διαπιστωθεί αν οι μπαταρίες είναι πλήρως φορτισμένες ή αν υπάρχει πλεονάζων αποθηκευτικός χώρος διαθέσιμος για αποθήκευση ενέργειας. Επιπλέον, η αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη την υποβάθμιση της χωρητικότητας των μπαταριών με την πάροδο του χρόνου, θεωρώντας ότι η χωρητικότητα μειώνεται κατά 20% κάθε 25 χρόνια. Λαμβάνοντας υπόψη την υποβάθμιση της χωρητικότητας αποθήκευσης μπαταριών με την πάροδο του χρόνου, εφαρμόζεται πρόγραμμα αντικατάστασης κάθε 15 χρόνια για την αποκατάσταση της χωρητικότητας αποθήκευσης. Αυτό εξασφαλίζει ότι το ΣΑΕ διατηρεί τη βέλτιστη απόδοσή του και συνεχίζει να αποθηκεύει αποτελεσματικά ενέργεια καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.

### **Υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες:**

Για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών κατά τη διάρκεια της νύχτας σε ηλιόλουστες ημέρες, γίνεται η παραδοχή της σταθερής κατανάλωσης ενέργειας καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας κατά τις συγκεκριμένες περιόδους, χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$\text{Κατανάλωση ενέργειας τη νύχτα} = \frac{\text{EKE}}{2} \times \frac{250}{365}$$

όπου:

- EKE = ετήσια κατανάλωση ενέργειας
- ο όρος "EKE/2" αντιπροσωπεύει τη ετήσια κατανάλωση κατά τις νυχτερινές ώρες
- ο όρος "250/365" λαμβάνει υπόψη τις 250 ηλιόλουστες ημέρες από τις 365

### **Υπολογισμός της εκμεταλλεύμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ:**

Η εκμεταλλεύμενη ενέργεια από τα Φ/Β πάνελ προσδιορίζεται συγκρίνοντας τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις νυχτερινές ώρες σε ηλιόλουστες ημέρες (που υπολογίζονται στο προηγούμενο υποκεφάλαιο) με την αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες. Εάν οι ενεργειακές ανάγκες υπερβαίνουν την αποθηκευμένη ενέργεια, η εκμεταλλεύμενη ενέργεια από τα Φ/Β πάνελ υπολογίζεται ως το άθροισμα των ενεργειακών αναγκών κατά τις ώρες της ημέρας συν την αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες. Αντίστροφα, εάν η αποθηκευμένη ενέργεια υπερβαίνει τις ενεργειακές ανάγκες, η εκμεταλλεύμενη ενέργεια υπολογίζεται ως το άθροισμα των ενεργειακών αναγκών κατά τις ώρες της ημέρας συν τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις νυχτερινές ώρες.

### **Υπολογισμός της πλεονάζουσας ενέργειας:**

Η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ υπολογίζεται συγκρίνοντας τη συνολική ενέργεια που παράγεται από τα πάνελ με την εκμεταλλεύμενη ενέργεια. Εάν η εκμεταλλεύμενη ενέργεια είναι μικρότερη από τη συνολική παραγόμενη ενέργεια, η πλεονάζουσα ενέργεια προκύπτει από την αφαίρεση της εκμεταλλεύμενης ενέργειας από την παραγόμενη ενέργεια. Ωστόσο, εάν η εκμεταλλεύμενη ενέργεια είναι ίση ή μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια, η πλεονάζουσα ενέργεια θεωρείται μηδενική.

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία των ΣΑΕ των 14 εξεταζόμενων λιμένων.

	Χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας	Παραγόμενη ενέργεια Φ/Β	Κατανάλωση ενέργειας την ημέρα (ετήσια)*	Αποθηκευμένη ενέργεια (ετήσια)	Νυχτερινή κατανάλωση ενέργειας (ετήσια)*	Εκμεταλλεούμενη ενέργεια από Φ/Β πάνελ (ετήσια)	Πλεονάζουσα ενέργεια (ετήσια)
Λιμάνια	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
Λιμάνι 1	4,00	4.500,0	2.300,1	1.000,0	2.300,1	3.298,5	1.201,5
Λιμάνι 2	8,00	6.750,0	6.200,8	553,4	6.200,8	6.750,0	0
Λιμάνι 3	8,00	6.750,0	10.727,4	0	10.727,4	6.750,0	0
Λιμάνι 4	3,50	3.375,0	409,1	875,0	409,1	817,9	2.557,1
Λιμάνι 5	2,50	2.250,0	2.598,0	0	2.598,0	2.250,0	0
Λιμάνι 6	3,50	2.250,0	229,8	875,0	229,8	459,5	1.790,5
Λιμάνι 7	2,00	1.125,0	235,2	500,0	235,2	470,3	654,7
Λιμάνι 8	2,50	3.375,0	299,8	625,0	299,8	599,5	2.775,5
Λιμάνι 9	8,00	2.250,0	4.289,5	0	4.289,5	2.250,0	0
Λιμάνι 10	2,50	2.250,0	117,6	625,0	117,6	235,2	2.014,8
Λιμάνι 11	2,50	2.250,0	2.598,0	0	2.598,0	2.250,0	0
Λιμάνι 12	3,00	3.375,0	2.720,8	654,2	2.720,8	3.375,0	0
Λιμάνι 13	3,50	4.500,0	911,7	875,0	911,7	1.786,7	2.713,3
Λιμάνι 14	4,00	3.375,0	760,0	1.000,0	760,0	1.520,0	1.855,0

**Πίνακας 4.4.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία των ΣΑΕ των εξεταζόμενων λιμένων**

\* Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, αναφέρεται μόνο για τις ηλιόλουστες μέρες.

Εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία αξιολόγησης που περιγράφεται ανωτέρω στους 14 εξεταζόμενους λιμένες, είναι δυνατή η αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας της αποθήκευσης ενέργειας σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Η αξιολόγηση αυτή παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση και τη βελτιστοποίηση της αποθήκευσης ενέργειας, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι υπολογισμοί χρησιμεύουν ως βάση για την κατανόηση των δυνατοτήτων των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τη βελτιστοποίηση της ενσωμάτωσής τους με την αποθήκευση ενέργειας για βιώσιμες ενεργειακές πρακτικές στους εξεταζόμενους λιμένες.

## 5. Εμπόριο Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Λιμάνια

Το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας στους λιμένες διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της αποτελεσματικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των ποικίλων ενεργειακών αναγκών των λιμενικών δραστηριοτήτων. Κατέχει σημαντική σημασία για την προώθηση της βιωσιμότητας, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την επίτευξη της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Το παρόν κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση των βασικών πτυχών του εμπορίου ηλεκτρικής ενέργειας στους λιμένες, συμπεριλαμβανομένων των ρόλων της αγοράς, των μοντέλων λειτουργίας και των συμβατικών ρυθμίσεων. Με την κατανόηση αυτών των στοιχείων, οι ενδιαφερόμενοι φορείς των λιμένων μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας και να συμβάλλουν σε ένα πιο πράσινο και βιώσιμο μέλλον. Οι αποτελεσματικές λειτουργίες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν ωφελούν μόνο μεμονωμένους λιμένες, αλλά έχουν επίσης ευρύτερο αντίκτυπο στις παγκόσμιες προσπάθειες για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης.

### 5.1 Οι ρόλοι στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

#### 5.1.1 Aggregator

Ο aggregator είναι ένα άτομο ή οργανισμός που συγκεντρώνει τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας πολλών πελατών ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση, αγορά ή δημοπρασία σε οποιαδήποτε αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ο aggregator λειτουργεί ως μεσάζων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, διαπραγματεύοντας τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας χύμα για λογαριασμό των πελατών του. Για παράδειγμα, μια ομάδα πελατών μπορεί να σχηματίσει έναν aggregator για να διαπραγματευτεί για χαμηλή τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ μια ομάδα παραγωγών ενέργειας μπορεί να σχηματίσει έναν άλλο aggregator για να διαπραγματευτεί για υψηλή τιμή πώλησης.

#### 5.1.2 Closed Distribution Network Operator

Ο Διαχειριστής Κλειστού Δικτύου Διανομής (CDNO) είναι ένας διαχειριστής συστήματος που διατηρεί και διαχειρίζεται ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό δίκτυο σε μια περιοχή ή μια βιομηχανική μονάδα. Αυτό το σύστημα μπορεί να καθιερωθεί ως «κλειστό δίκτυο διανομής» για να διασφαλίσει τη βέλτιστη απόδοση μιας ολοκληρωμένης παροχής που απαιτεί συγκεκριμένα λειτουργικά πρότυπα. Ο CDNO λειτουργεί και διατηρεί το σύστημα διανομής κυρίως μόνος του, χωρίς περιπτό διοικητικό φόρτο μεταξύ του Κύριου Διαχειριστή του Συστήματος Διανομής και των χρηστών του συστήματος. Οι CDNO βρίσκονται συνήθως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εμπορικές εγκαταστάσεις, αεροδρόμια, νοσοκομεία και άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις.

#### 5.1.3 Ενεργός Πελάτης

Ο όρος αυτός αναφέρεται σε έναν ή περισσότερους τελικούς πελάτες, οι οποίοι εκτός από την κατανάλωση μπορούν να παράγουν και να αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια. Με αυτόν

τον τρόπο, είναι πιθανό να συμμετέχουν σε προγράμματα ευελιξίας ή ενεργειακής απόδοσης.

#### **5.1.4 Ενεργειακή Κοινότητα**

Η ενεργειακή κοινότητα είναι μια νομική οντότητα που αποτελείται από φυσικά πρόσωπα, τοπικές αρχές, δήμους ή μικρές επιχειρήσεις με πρωταρχικό στόχο την παροχή περιβαλλοντικών, οικονομικών ή κοινωνικών οφελών στα μέλη ή τους μετόχους της ή στις τοπικές περιοχές όπου δραστηριοποιείται. Σε αντίθεση με άλλες επιχειρηματικές οντότητες, οι ενεργειακές κοινότητες στοχεύουν να παρέχουν οφέλη αντί να παράγουν οικονομικά κέρδη. Μπορούν να συμμετάσχουν σε όλες τις σχετικές με την ηλεκτρική δραστηριότητα, όπως παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, διανομή ενέργειας, προμήθεια, κατανάλωση, αποθήκευση ενέργειας, υπηρεσίες ενεργειακής απόδοσης, υπηρεσίες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και να παρέχουν άλλες ενεργειακές υπηρεσίες στα μέλη ή τους μετόχους τους.

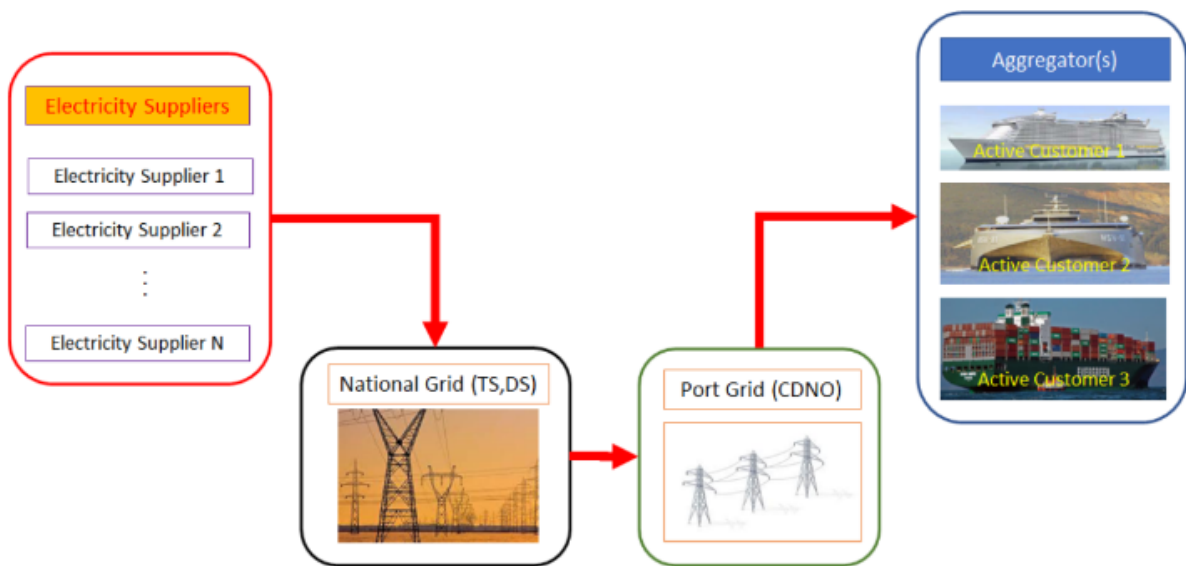
### **5.2 Λειτουργικά Μοντέλα της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Λιμάνια**

Αυτή η ενότητα περιγράφει και περιγράφει τις διάφορες μεθόδους λειτουργίας για λιμάνια και πλοία που έχουν καθοριστεί από την Οδηγία 2019/944/ΕΕ.

#### **1ο εναλλακτικό μοντέλο λειτουργίας**

Σε αυτό το μοντέλο, το λιμάνι λειτουργεί ως Διαχειριστής Κλειστού Δικτύου Διανομής/Closed Distribution Network Operator (CDNO), που σημαίνει ότι είναι πλήρως υπεύθυνο για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο σε όλη την περιοχή υπό τον έλεγχό του, αλλά απαγορεύεται να ασκεί οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα. Ως εκ τούτου, το λιμάνι δεν είναι σε θέση να παράγει ή να παρέχει ενέργεια (άρα δεν μπορεί να κατέχει ή να διαχειρίζεται καμία πηγή ενέργειας). Ωστόσο, όλοι οι προμηθευτές ή οι πάροχοι ενέργειας εγχέουν την ενέργειά τους στο σημείο κοινής ζεύξης/Point of Common Coupling (PCC) του λιμένα, το οποίο στη συνέχεια τη διανέμει στα πλοία και σε άλλους πελάτες που προμηθεύονται από τους ενεργειακούς τερματικούς σταθμούς του λιμένα.

Επιπλέον, τα πλοία πρέπει να θεωρούνται ως ενεργοί καταναλωτές που συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είτε άμεσα είτε ως μέλη ενός ή περισσότερων εταιρειών συγκέντρωσης. Η τελευταία ρύθμιση, στην οποία τα πλοία είναι μέλη μιας οντότητας aggregator, μπορεί να αποδειχθεί ακόμη πιο συμφέρουσα γι' αυτά όσον αφορά την τιμολόγηση, επειδή ο aggregator έχει τη δύναμη να διαπραγματεύεται μεγάλες ποσότητες ενέργειας.



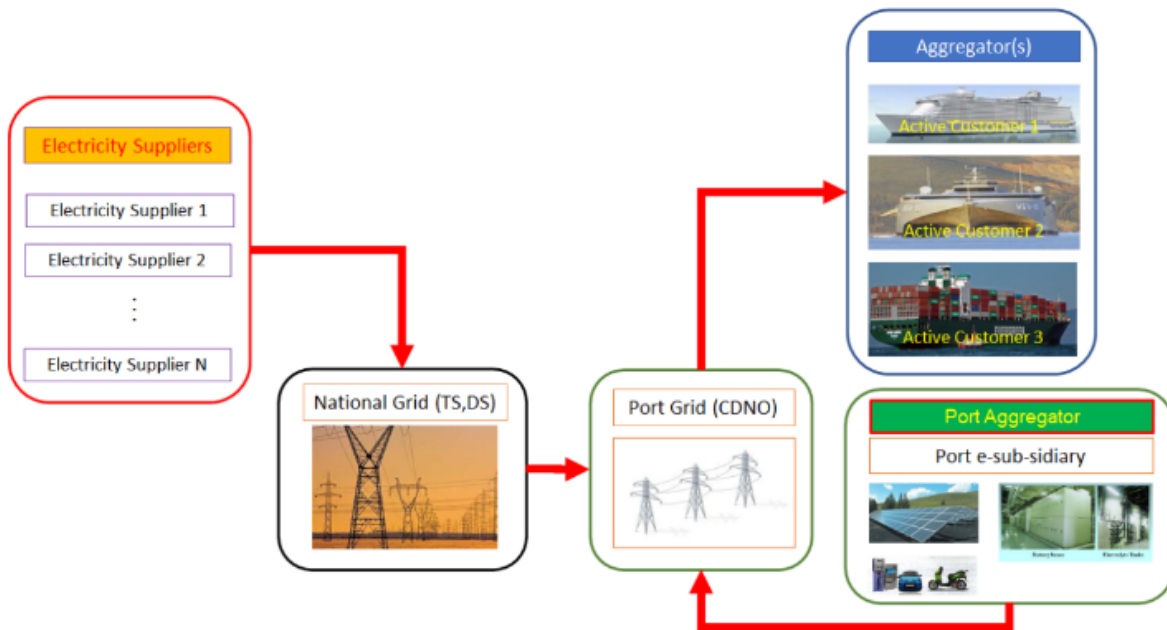
**Εικόνα 5.2.1 Το 1ο εναλλακτικό μοντέλο λειτουργίας λιμένων και πλοίων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας**

## 2ο εναλλακτικό μοντέλο λειτουργίας

Το δεύτερο μοντέλο είναι παρόμοιο με το πρώτο μοντέλο, δηλαδή το λιμάνι λειτουργεί και πάλι ως CDNO και συνεπώς δεν μπορεί να είναι πάροχος ή παραγωγός ενέργειας (δηλαδή δεν μπορεί να διαχειριστεί οποιοσδήποτε πηγές ενέργειας συμπεριλαμβανομένων των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) ή/και μονάδων αποθήκευσης ενέργειας), τουλάχιστον άμεσα, αλλά επιτρέπει σε άλλη οντότητα που σχετίζεται με το λιμάνι (π.χ. θυγατρική) να είναι ένας από τους παρόχους ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι τα μέλη του διοικητικού συμβουλίου αυτής της ηλεκτρικής εταιρείας δεν είναι τα ίδια στελέχη με αυτά του Λιμεναρχείου.

Τα πλοία πρέπει να θεωρούνται ως ενεργοί πελάτες που μπορούν να συμμετάσχουν σε διαπραγματεύσεις με οποιονδήποτε πάροχο ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου αυτού που είναι συνδεδεμένος με τη Λιμενική Αρχή, και που συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είτε άμεσα είτε ως μέλη μιας εταιρείας συγκέντρωσης.

Παρόμοια με το πρώτο μοντέλο, αυτό είναι το πλέον κατάλληλο για μεγάλα λιμάνια όπου η Λιμενική Αρχή επιθυμεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αγορά ενέργειας. Από πλευράς πλοίου, η ηλεκτρική εταιρεία του λιμένα θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η τελευταία λύση που προτιμάται, για παράδειγμα, από πλοία που επισκέπτονται το λιμάνι σπάνια και ως εκ τούτου δεν ενδιαφέρονται να επιτύχουν την καλύτερη διαθέσιμη τιμή της αγοράς.

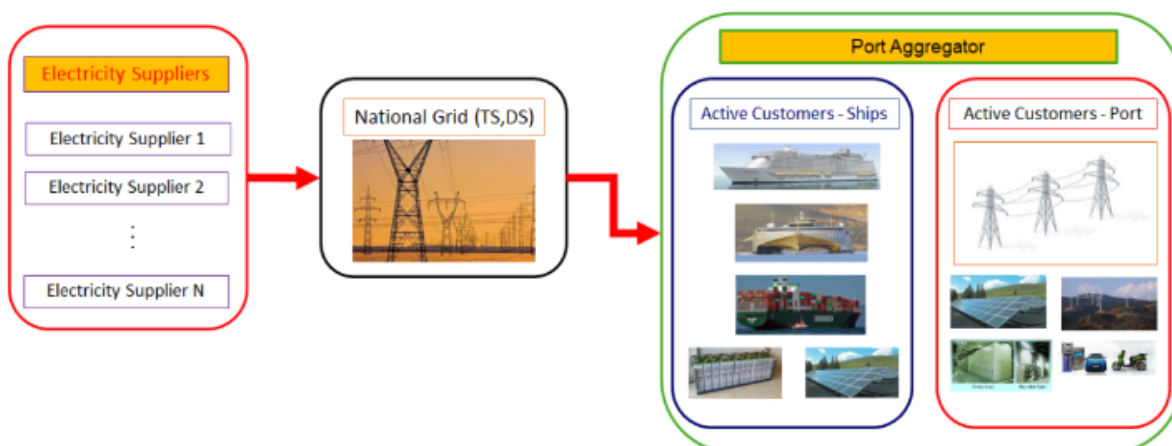


**Εικόνα 5.2.2 Το 2ο εναλλακτικό μοντέλο λειτουργίας λιμένων και πλοίων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας**

### 3ο εναλλακτικό μοντέλο λειτουργίας

Το τρίτο εναλλακτικό μοντέλο για τις αγορές ενέργειας στα λιμάνια είναι διαφορετικό από τα δύο προηγούμενα. Σε αυτό το μοντέλο, το λιμάνι και τα πλοία μπορούν να σχηματίσουν μια ενεργειακή κοινότητα όπου και τα δύο είναι ενεργοί πελάτες. Η οντότητα της ενεργειακής κοινότητας μπορεί να συμμετάσχει σε όλες τις δραστηριότητες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και να κατέχει Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή/και μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Η κοινότητα μπορεί να εξυπηρετήσει άλλα μέλη της ίδιας κοινότητας, συμπεριλαμβανομένων των πλοίων που βρίσκονται σε ελλιμενισμό.

Αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο είναι κατάλληλο για λιμένες μικρού μεγέθους με μικρό αριθμό επισκεπτών πλοίων. Οι πλοιοκτήτριες εταιρείες και οι Λιμενικές Αρχές μπορεί να είναι μικρομεσαίες επιχειρήσεις με συγκλίνοντα ή κοινά οφέλη ως εταίροι στην ίδια ενεργειακή κοινότητα.



### Εικόνα 5.2.3 Το 3ο εναλλακτικό μοντέλο λειτουργίας λιμένων και πλοίων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

## 5.3 Power Purchase Agreements (PPAs)

Το Power Purchase Agreement (PPA) είναι μια μακροπρόθεσμη σύμβαση μεταξύ ενός αγοραστή (δηλ. του πλοιοκτήτη) και ενός πωλητή, ο οποίος μπορεί να είναι προγραμματιστής, ανεξάρτητος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας ή επενδυτής, για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας από έναν παραγωγό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ο αγοραστής συμφωνεί να αγοράσει ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές σε προσυμφωνημένη τιμή για καθορισμένο χρονικό διάστημα, αντί να αγοράσει από παραδοσιακούς προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμφωνία περιλαμβάνει λεπτομέρειες όπως το σημείο παράδοσης, τον όγκο, την ημερομηνία/ώρα παράδοσης και την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα συμβαλλόμενα μέρη είναι ο πωλητής ενέργειας και ο αγοραστής ενέργειας, ενώ μερικές φορές εμπλέκεται και ένας πάροχος ενέργειας. Ο πωλητής είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία και τη λειτουργία της μονάδας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία μπορεί να βρίσκεται εντός ή εκτός των εγκαταστάσεων του αγοραστή. Ο αγοραστής λαμβάνει την ενέργεια μέσω του δικτύου και συμφωνεί να την αγοράσει σε σταθερή τιμή.

Οι συμβάσεις αυτές συνήθως είναι μακροπρόθεσμες, τουλάχιστον πενταετίας, που για τα ναυτιλιακά δεδομένα αποτελεί εξαιρετικά μεγάλο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά, τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία που ως επί το πλείστον έχουν σταθεροποιημένα δρομολόγια και πλόες, έχουν τη δυνατότητα να υπογράψουν μακροπρόθεσμα PPAs. Τα κρουαζιερόπλοια αποτελούν μια διαφορετική κατηγορία πλοίων, τα οποία μπορούν να γνωρίζουν το πρόγραμμά τους για ένα εξάμηνο ή και ένα χρόνο με ικανοποιητική ακρίβεια, οπότε θα μπορούσαν να υπογράψουν μεσοπρόθεσμα PPAs. Τέλος, υπάρχει και η άλλη κατηγορία πλοίων (π.χ. Containerships) τα οποία δεν έχουν καθορισμένα δρομολόγια και γνωρίζουν μόνο τη προβλεπόμενη ώρα άφιξής τους, όπου θα κλείνουν στιγμιαία συμβόλαια και θα λαμβάνουν spot τιμή ηλεκτρικής ενέργειας.

### 5.3.1 Τύποι PPAs

Υπάρχουν τρεις τύποι Power Purchase Agreement που μπορούν οι διαχειρίστριες εταιρείες των πλοίων να υπογράψουν με τους πωλητές. Ο τύπος του συμβολαίου που θα επιλεγεί, καθορίζεται από την κατηγορία που ανήκει το πλοίο και το μοντέλο λειτουργίας του λιμανιού.

#### 5.3.1.1 Physical PPAs

Η Συμφωνία Αγοράς Φυσικής Ενέργειας (PPA) είναι μια σύμβαση μεταξύ δύο μερών όπου το ένα μέρος πουλάει ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές και Πιστοποιητικά Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (RECs) σε άλλο μέρος. Η ονομασία αυτού του συμβολαίου οφείλεται στο γεγονός ότι η μονάδα παραγωγής πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή του δικτύου (π.χ. στο λιμάνι).



Αυτός ο τύπος σύμβασης, σε περίπτωση που το λιμάνι διαθέτει εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της μελέτης, όπου σε αυτή τη περίπτωση ο πωλητής θα είναι το λιμάνι και ο αγοραστής το πλοίο ή η ναυτιλιακή εταιρεία. Ωστόσο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του λιμανιού είναι εξαιρετικά δύσκολο να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων.

### **5.3.1.2 Sleeved PPAs (SPPAs)**

Το Sleeved PPA είναι ένας τύπος συμφωνίας αγοράς ενέργειας που χρησιμοποιείται συνήθως σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Περιλαμβάνει μια ενδιάμεση εταιρεία κοινής ωφέλειας που διαχειρίζεται τη μεταφορά ενέργειας και χρημάτων μεταξύ του έργου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του αγοραστή. Ο πωλητής, ο οποίος είναι συνήθως ένα εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής, πουλά όλη την παραγόμενη ενέργεια στον αγοραστή μέσω μιας πρώτης σύμβασης και ο αγοραστής μεταπωλεί αμέσως αυτήν την ισχύ σε έναν αδειοδοτημένο προμηθευτή στο πλαίσιο μιας δεύτερης σύμβασης. Στη συνέχεια, ο αδειοδοτημένος προμηθευτής «παρασύρει» την ισχύ μέσω του δικτύου και την πουλάει στον αγοραστή στο χώρο του, λαμβάνοντας τέλη για την παροχή της υπηρεσίας.

Στη παρούσα μελέτη, σε αυτού του τύπου συμφωνίες, ο αδειοδοτημένος προμηθευτής θα είναι το λιμάνι και ο αγοραστής το πλοίο/ναυτιλιακή εταιρεία. Το λιμάνι εκτελεί επίσης μια υπηρεσία εξισορρόπησης στο πλαίσιο της δεύτερης σύμβασης, συμπληρώνοντας την ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές με επιπλέον ισχύ εάν χρειαστεί.

Η παρουσία του λιμανιού ως αδειοδοτημένου προμηθευτή επιτρέπει πλοίο να χρησιμοποιήσει την ενέργεια από απομακρυσμένο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής και το λιμάνι είναι απαραίτητο για τη διαχείριση της χρέωσης και άλλων εργασιών.

### **5.3.1.3 Virtual PPAs (VPPAs)**

Το Virtual Power Purchase Agreement (VPPA) είναι ένας τύπος μακροπρόθεσμης σύμβασης που επιτρέπει στις εταιρείες να αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας «εικονικά», χωρίς δηλαδή να προμηθεύονται την ενέργεια που ο παραγωγός πραγματικά παράγει.

Στη παρούσα μελέτη, στο πλαίσιο ενός VPPA, το πλοίο και ο παραγωγός συμφωνούν σε μια σταθερή τιμή για την ανανεώσιμη ενέργεια που παράγεται από το έργο. Στη συνέχεια, ο παραγωγός πουλάει την ανανεώσιμη ενέργεια στη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και το πλοίο λαμβάνει χρηματοοικονομικά μέσα που αντικατοπτρίζουν τη διαφορά μεταξύ της σταθερής τιμής και της πραγματικής αγοραίας τιμής της ανανεώσιμης ενέργειας. Ο προμηθευτής (δηλ. το λιμάνι) δεν εμπλέκεται στη χρηματοοικονομική σύμβαση μεταξύ του αγοραστή και του πωλητή, αλλά ενεργεί ως ενδιάμεσος στη φυσική συναλλαγή ενέργειας από τον ιδιοκτήτη του έργου στη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Το λιμάνι επωφελείται από αυτή τη συναλλαγή παρέχοντας τις απαραίτητες υπηρεσίες για να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ του παραγωγού και του εταιρικού αγοραστή, χρεώνοντας πάγια καθώς παρέχει την απαραίτητη υποδομή για την παράδοση της ηλεκτρικής ενέργειας (cold ironing, shore power). Επιπλέον, το λιμάνι μπορεί επίσης να επωφεληθεί από τη συναλλαγή μέσω της αγοράς και πώλησης πιστοποιητικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (RECs).

Τέλος, το VPPA είναι ένα χρηματοοικονομικό παράγωγο και είναι παρόμοιο σε οικονομικό αποτέλεσμα με ένα Physical PPA, αλλά αποφεύγει τα τέλη του Sleeved PPA.

## **5.4 Contracts for Difference (CFDs)/Συμβόλαια Μελλοντικής Εκπλήρωσης (ΣΜΕ)**

Το ΣΜΕ είναι μια σύμβαση μεταξύ ενός αγοραστή και ενός πωλητή που ορίζει ότι ο αγοραστής πρέπει να πληρώσει στον πωλητή τη διαφορά μεταξύ της τρέχουσας αξίας ενός περιουσιακού στοιχείου και της αξίας του κατά τη στιγμή της σύμβασης.

Στη παρούσα μελέτη, το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης θα υπογράφεται ανάμεσα στον πωλητή/παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας και το κράτος, για να προστατευθεί από τον κίνδυνο διακυμάνσεων των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. Αυτό θα επιτευχθεί ορίζοντας ως οριακή τιμή, την τιμή που έχει συμφωνηθεί ανάμεσα στον πωλητή και τον πλοιοκτήτη στο εκάστοτε PPA, ούτως ώστε όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας πέσει και ο πωλητής εμφανίζει κέρδος, το οποίο ισούται με την διαφορά ανάμεσα στην τιμή του PPA και της χονδρικής τιμής του ρεύματος, τότε αυτό το κέρδος θα συλλέγεται σε ένα προσωρινό «κουμπαρά». Σε περίπτωση που η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος αυξηθεί, τότε ο πωλητής θα έχει οικονομικές απώλειες και θα του επιστρέφονται χρήματα ως οικονομική ενίσχυση από τον «κουμπαρά» του ΣΜΕ.

Συνεπώς, η υπογραφή ενός ΣΜΕ παρέχει στον πωλητή έναν βαθμό βεβαιότητας και μετριασμού του κινδύνου, βοηθώντας τον να διαχειριστεί την έκθεσή του σε αλλαγές στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

## 6. Οικονομική Ανάλυση

### 6.1 Μετρήσεις χρηματοοικονομικής αξιολόγησης

#### 6.1.1 Net Present Value | Καθαρή Παρούσα Αξία

Η συνολική αξία μιας επενδυτικής ευκαιρίας επιδιώκεται να αποτυπωθεί με τη χρηματοοικονομική μέτρηση που είναι γνωστή ως καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ). Ο στόχος της ΚΠΑ είναι η πρόβλεψη όλων των πιθανών μελλοντικών ταμειακών εισροών και εκροών που σχετίζονται με μια επένδυση, η προεξόφληση όλων των πιθανών μελλοντικών ταμειακών ροών μέχρι αυτό το σημείο και στη συνέχεια η άθροισή τους. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ), με απλά λόγια, είναι το συνολικό κέρδος (κέρδος) για τον επενδυτή από την υλοποίηση του έργου κατά τη διάρκεια μιας ζωής  $n$ . Η ΚΠΑ ορίζεται από την εξίσωση που παρουσιάζεται παρακάτω:

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1+r)^i} - C$$

όπου:

- $n$  είναι η διάρκεια ζωής του έργου
- $A_i$  είναι η καθαρή ταμειακή ροή στο τέλος του έτους  $i$
- $r$  είναι προεξοφλητικό επιτόκιο
- $C$  είναι η αρχική κεφαλαιουχική δαπάνη

Για να διαπιστωθεί εάν ένα μακροπρόθεσμο έργο θα είναι κερδοφόρο, εφαρμόζονται τεχνικές ανάλυσης του προϋπολογισμού κεφαλαίου, όπως η καθαρή παρούσα αξία. Το θεμελιώδες βήμα σύγκρισης του τύπου της ΚΠΑ είναι μεταξύ μιας αρχικής επένδυσης και των προβλεπόμενων μελλοντικών ταμειακών ροών ενός έργου. Η ιδέα ότι 1 τώρα δεν αξίζει το ίδιο με 1 αύριο είναι ένα κρίσιμο στοιχείο του τύπου της ΚΠΑ. Ένα χρηματικό ποσό σήμερα αξίζει περισσότερο από ένα ίσο χρηματικό ποσό αύριο (εάν αναμένονται θετικές αποδόσεις), επειδή τα χρήματα σήμερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν αποδόσεις στο μέλλον.

Γενικά, ο τύπος της ΚΠΑ επιδιώκει να ενσωματώσει όλες τις προβλεπόμενες τιμές των ταμειακών ροών στην παρούσα αξία κάθε ταμειακής ροής. Η αξία αυτών των ταμειακών εισροών συγκρίνεται στη συνέχεια με την αρχική επένδυση ή τις ταμειακές εκροές με τη μέθοδο της ΚΠΑ. Ένα έργο αναμένεται να είναι κερδοφόρο εάν η ΚΠΑ είναι θετική (οι προεξοφλημένες μελλοντικές ταμειακές ροές υπερβαίνουν την αρχική δαπάνη). Η αρχική επένδυση είναι μεγαλύτερη από τις προβλεπόμενες ταμειακές ροές εάν η ΚΠΑ είναι αρνητική.

ΚΠΑ = (Η σημερινή αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών) - (Η σημερινή αξία των επενδυμένων μετρητών)

Η μεθοδολογία προσδιορίζει την τρέχουσα αξία κάθε ταμειακής ροής, συμπεριλαμβανομένου του κόστους, προεξοφλημένη στο κόστος κεφαλαίου του έργου, και το άθροισμα αυτών των προεξοφλημένων ταμειακών ροών είναι γνωστό ως καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) του έργου. Οι επενδύσεις με θετική ΚΠΑ γίνονται δεκτές- από την άλλη πλευρά, μια επένδυση με αρνητική ΚΠΑ πρέπει να απορριφθεί. Δεδομένου ότι η ΚΠΑ σχετίζεται με τη μεγιστοποίηση του οφέλους, ο οικονομικός στόχος των διαχειριστών είναι η μεγιστοποίησή της.

## 6.1.2 Internal Rate of Return (IRR) | Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) είναι μια μετρική που χρησιμοποιείται στη χρηματοοικονομική ανάλυση για την εκτίμηση της αποδοτικότητας πιθανών επενδύσεων. Το IRR είναι ένα προεξοφλητικό επιτόκιο που καθιστά την καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) όλων των ταμειακών ροών ίση με το μηδέν σε μια ανάλυση προεξοφλημένων ταμειακών ροών.

Ο τύπος για τον προσδιορισμό αυτού του αριθμού έχει ως εξής:

$$0 = \text{ΚΠΑ} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1+\text{IRR})^i} - C$$

όπου:

- $n$  είναι η διάρκεια ζωής του έργου
- $A_i$  είναι η καθαρή ταμειακή ροή στο τέλος του έτους  $i$
- IRR είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης
- $C$  είναι η αρχική κεφαλαιουχική δαπάνη

Σε γενικές γραμμές, όσο υψηλότερος είναι ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης, τόσο πιο επιθυμητή είναι η πραγματοποίηση μιας επένδυσης. Ο IRR είναι ομοιόμορφος για επενδύσεις διαφορετικών τύπων και, ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη πολλαπλών μελλοντικών επενδύσεων ή έργων σε σχετικά ομοιόμορφη βάση. Σε γενικές γραμμές, κατά τη σύγκριση επενδυτικών επιλογών με άλλα παρόμοια χαρακτηριστικά, η επένδυση με τον υψηλότερο εσωτερικό συντελεστή απόδοσης πιθανόν να θεωρείται η καλύτερη.

## 6.1.3 Return on Investment | Απόδοση της Επένδυσης

Η απόδοση της επένδυσης (ROI) είναι μια θεμελιώδης μέτρηση που χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της απόδοσης των επενδύσεων. Χρησιμεύει ως κρίσιμο μέτρο για τη λήψη αποφάσεων, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις οικονομικές αποδόσεις που παράγονται σε σχέση με το κόστος της επένδυσης. Η απόδοση επένδυσης χρησιμοποιείται εκτενώς σε διάφορα πλαίσια, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης χαρτοφυλακίου μετοχών, των επιχειρηματικών επενδύσεων και των αξιολογήσεων έργων.

Στη σφαίρα της επιχειρηματικής ανάλυσης, το ROI, μαζί με άλλες χρηματοοικονομικές μετρήσεις, όπως ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ),

διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση της σκοπιμότητας των διαφόρων εναλλακτικών επενδύσεων. Αυτοί οι δείκτες βοηθούν στην αξιολόγηση και κατάταξη των επενδυτικών επιλογών με βάση τις πιθανές αποδόσεις, τις ταμειακές ροές και τα προφίλ κινδύνου τους.

Ο ROI μπορεί να υπολογιστεί με μία από τις δύο μεθόδους:

1η μέθοδος:

$$ROI = \frac{\text{Καθαρό κέρδος}}{\text{Κόστος επένδυσης}} \times 100\%$$

2η μέθοδος:

$$ROI = \frac{TAE - AAE}{\text{Κόστος επένδυσης}} \times 100\%$$

όπου:

- TAE = Τελική αξία της επένδυσης
- AAE = Αρχική αξία της επένδυσης

Η απόδοση της επένδυσης εκφράζεται ως λόγος που συγκρίνει το κέρδος ή τη ζημία από μια επένδυση με το αρχικό της κόστος. Ο λόγος αυτός παρέχει μια ουσιαστική προοπτική για την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα μιας επένδυσης. Ωστόσο, στις πρακτικές εφαρμογές, η απόδοση επένδυσης παρουσιάζεται συνήθως ως ποσοστό και όχι ως λόγος για να βελτιωθεί η ερμηνευσιμότητα και η συγκρισιμότητά της.

## 6.2 Εξωτερικό κόστος στο πλαίσιο της εφαρμογής του Cold Ironing στους λιμένες

Η εξέταση του εξωτερικού κόστους καθίσταται όλο και πιο σημαντική, καθώς οι λιμένες προσπαθούν να εφαρμόσουν βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές. Το εξωτερικό κόστος είναι το κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος που δεν επιβαρύνει άμεσα τα μέρη που εμπλέκονται σε μια συγκεκριμένη δραστηριότητα, αλλά επηρεάζει την κοινωνία στο σύνολό της ή τρίτους. Κατά την εξέταση της εφαρμογής των εγκαταστάσεων Cold Ironing στους 14 εξεταζόμενους λιμένες, η κατανόηση και η αντιμετώπιση αυτών των εξωτερικών δαπανών είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της συνολικής βιωσιμότητας και του κοινωνικού αντίκτυπου αυτής της επένδυσης.

Η εκτίμηση του εξωτερικού κόστους διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην αξιολόγηση του πραγματικού κόστους των λιμενικών λειτουργιών και στον προσδιορισμό των πιθανών οφελών από τη μετάβαση στο Cold Ironing. Ενώ το άμεσο κόστος και τα οφέλη συνήθως υπολογίζονται από τις λιμενικές αρχές, το εξωτερικό κόστος ρίχνει φως στις ευρύτερες επιπτώσεις που εκτείνονται πέρα από τους άμεσα ενδιαφερόμενους. Λαμβάνοντας υπόψη

αυτά τα κόστη, τα λιμάνια μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να αναπτύσσουν στρατηγικές που προωθούν βιώσιμες και υπεύθυνες πρακτικές.

## 6.2.1 Αξιολόγηση του εξωτερικού κόστους και των οικονομικών κινήτρων για το Cold Ironing

Στο πλαίσιο της εξέτασης του εξωτερικού κόστους, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη συγκεκριμένες παράμετροι και συντελεστές που ποσοτικοποιούν τις οικονομικές επιπτώσεις των εκπομπών ρύπων. Για να διευκολυνθεί αυτή η αξιολόγηση, ο Πίνακας 6.2.1.1 παρουσιάζει τους συντελεστές εξωτερικού κόστους ανά τόνο ρύπων, μετρημένοι σε ευρώ. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι αξίες αντιστοιχούν στο έτος 2016 και θα πρέπει να προσαρμοστούν για τον πληθωρισμό κατά τη διεξαγωγή υπολογισμών με βάση τις τρέχουσες αγοραίες αξίες του Ευρώ. Με μέσο ποσοστό πληθωρισμού 1,75% ετησίως μεταξύ 2016 και 2023, 1 ευρώ το 2016 ισοδυναμεί με 1,46 ευρώ το 2023. Για την παροχή ενημερωμένων στοιχείων, ο Πίνακας 6.2.1.2 εμφανίζει τους προσαρμοσμένους συντελεστές εξωτερικού κόστους για το έτος 2023.

Ρύπος	Εξωτερικό Κόστος (€/τόνο)
CO2	238,00
SO2	9.200,00
NOx	3.000,00
PM	24.600,00

Πίνακας 6.2.1.1 : Συντελεστές εξωτερικού κόστους (σε ευρώ, έτος 2016) ανά τόνο ρύπων

Ρύπος	Εξωτερικό Κόστος (€/τόνο)
CO2	268,73
SO2	10.387,92
NOx	3.387,37
PM	27.776,41

Πίνακας 6.2.1.2 : Συντελεστές εξωτερικού κόστους (σε ευρώ, έτος 2023) ανά τόνο ρύπων

Επιπλέον, για να καταδειχθεί το μέγεθος του εξωτερικού κόστους που σχετίζεται με τις εκπομπές λιμένων, ο Πίνακας 6.2.1.3 απεικονίζει το μέγιστο μέγεθος ρύπων ανά έτος που πρόκειται να εξοικονομηθούν και ο Πίνακας 6.2.1.4 παρουσιάζει το μέγιστο εξωτερικό κόστος για το έτος 2023 κάθε λιμανιού. Αυτές οι τιμές προέρχονται από ολοκληρωμένη περιβαλλοντική έρευνα, που ενσωματώνει τον υπολογισμό των τόνων εκπομπών.

	CO2	NOx	SOx	PM
--	-----	-----	-----	----

Λιμάνια	τόνοι/έτος	τόνοι/έτος	τόνοι/έτος	τόνοι/έτος
Λιμάνι 1	5174,74	104,25	8,25	2,25
Λιμάνι 2	13954,71	281,11	22,24	6,06
Λιμάνι 3	24222,71	487,96	38,63	10,54
Λιμάνι 4	963,41	19,41	13,91	0,43
Λιμάνι 5	5842,63	117,70	9,31	2,55
Λιμάνι 6	527,84	11,14	0,89	0,24
Λιμάνι 7	540,24	11,40	0,91	0,24
Λιμάνι 8	688,49	14,53	1,16	0,31
Λιμάνι 9	9649,55	194,39	15,39	4,20
Λιμάνι 10	264,58	5,33	0,42	0,12
Λιμάνι 11	5842,63	117,70	9,31	2,55
Λιμάνι 12	6121,06	123,31	9,86	2,68
Λιμάνι 13	2563,03	51,63	4,09	1,12
Λιμάνι 14	2137,31	43,06	3,44	0,93

Πίνακας 6.2.1.3 : Μέγιστοι τόνοι ρύπων λιμένων ανά έτος που πρόκειται να εξοικονομηθούν

Λιμάνια	CO2	NOx	SOx	PM
Λιμάνι 1	1.243.845 €	315.864 €	76.656 €	55.901 €
Λιμάνι 2	3.354.276 €	851.735 €	206.622 €	150.622 €
Λιμάνι 3	5.822.382 €	1.478.464 €	358.969 €	261.804 €
Λιμάνι 4	231.574 €	58.817 €	129.269 €	10.559 €
Λιμάνι 5	1.404.384 €	356.616 €	86.528 €	63.355 €
Λιμάνι 6	126.876 €	33.745 €	8.246 €	5.901 €
Λιμάνι 7	129.856 €	34.538 €	8.440 €	6.039 €
Λιμάνι 8	165.492 €	44.016 €	10.756 €	7.697 €
Λιμάνι 9	2.319.450 €	588.969 €	142.974 €	104.349 €
Λιμάνι 10	63.598 €	16.149 €	3.920 €	2.861 €
Λιμάνι 11	1.404.384 €	356.616 €	86.528 €	63.355 €

<b>Λιμάνι 12</b>	1.471.312 €	373.621 €	91.638 €	66.460 €
<b>Λιμάνι 13</b>	616.072 €	156.439 €	37.958 €	27.792 €
<b>Λιμάνι 14</b>	513.743 €	130.459 €	31.998 €	23.206 €

**Πίνακας 6.2.1.4 : Μέγιστο εξωτερικό κόστος εκπομπών λιμένων για το 2023**

Αξίζει να σημειωθεί πως για τα επόμενα 25 χρόνια, που αποτελούν μέρος της παρούσας οικονομικής μελέτης, θεωρήθηκε ως μέσο ποσοστό πληθωρισμού το 1,75% για τον υπολογισμό των συντελεστών του εξωτερικού κόστους των ρύπων και αύξηση της ποσότητας των ρύπων κατά 1,66% σύμφωνα με την αύξηση ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωρίσουμε ότι η μείωση των εκπομπών ρύπων δεν χρησιμεύει μόνο για την προστασία της δημόσιας και περιβαλλοντικής υγείας, αλλά αποτελεί επίσης ένα επιτακτικό οικονομικό κίνητρο. Στον σημερινό κλάδο της βιομηχανίας και της ναυτιλίας, τα οικονομικά ζητήματα έχουν γίνει βασικός μοχλός για την επιδίωξη στρατηγικών μείωσης των εκπομπών.

## **6.3 Μοντέλο Καθαρής Παρούσας Αξίας**

Στη παρούσα παράγραφο, το μοντέλο Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ελάχιστου πάγιου που απαιτείται από ένα λιμάνι να επιβάλει σε ένα πλοίο που είναι ελλιμενισμένο που χρησιμοποιεί τεχνολογία Cold Ironing, ανεξάρτητα από την χονδρική τιμή του ρεύματος. Επιπλέον, το μοντέλο NPV χρησιμοποιήθηκε για να εξακριβωθεί το κόστος παράδοσης που απαιτείται για την επίτευξη στόχου 50% επιστροφής επί της επένδυσης (Return on Investment - ROI), διασφαλίζοντας έτσι ότι η επένδυση θα είναι κερδοφόρα.

### **6.3.1 Μηχανισμός χρέωσης για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους λιμένες**

Μια από τις βασικές πτυχές της εφαρμογής εγκαταστάσεων Cold Ironing στα λιμάνια είναι η καθιέρωση ενός δίκαιου και διαφανούς μηχανισμού χρέωσης για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο μηχανισμός αυτός διασφαλίζει ότι το κόστος που συνδέεται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία και τη διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάνελ υπολογίζεται δεόντως. Στην παρούσα ενότητα, διερευνάται η στρατηγική χρέωσης που υιοθετείται από τα λιμάνια, η οποία περιλαμβάνει σταθερές χρεώσεις, τιμολόγηση της ενέργειας βάσει συμφωνιών αγοράς ενέργειας (PPA) και τη χρήση του net metering για τη διαχείριση της πλεονάζουσας παραγωγής ενέργειας.

#### **Σταθερές χρεώσεις για παραδοτέα ηλεκτρική ενέργεια:**

Για την κάλυψη του κόστους των υποδομών, της συντήρησης και των λειτουργικών εξόδων, οι λιμένες θα χρεώνουν ένα σταθερό ποσό ανά μεγαβατώρα (MWh) ηλεκτρικής ενέργειας που παραδίδεται στα πλοία. Αυτή η σταθερή χρέωση παρέχει μια σταθερή ροή εσόδων που



συμβάλλει στην οικονομική βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων Cold Ironing. Εξασφαλίζει ότι οι λιμένες μπορούν να ανακτήσουν το κόστος που συνδέεται με την εγκατάσταση και τη συντήρηση της απαραίτητης υποδομής για την παροχή αξιόπιστης ενέργειας.

### **Τιμολόγηση ενέργειας βάσει συμφωνιών αγοράς ενέργειας (PPA):**

Εκτός από τις πάγιες χρεώσεις, τα λιμάνια θα καθορίζουν την τιμολόγηση της ενέργειας που αξιοποιείται από τα φωτοβολταϊκά τους πάνελ με βάση τους όρους που συμφωνούνται στις συμφωνίες αγοράς ενέργειας (PPA). Το PPA περιγράφει την τιμή ανά MWh της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Αυτό το μοντέλο τιμολόγησης εξασφαλίζει δίκαιη αποζημίωση για την παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια και δίνει κίνητρα στους λιμένες να βελτιστοποιήσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών τους συστημάτων. Επιτρέπει επίσης στα λιμάνια να ανακτήσουν τις επενδύσεις τους σε υποδομές ηλιακής ενέργειας και ενθαρρύνει την υιοθέτηση βιώσιμων ενεργειακών πρακτικών.

### **Net metering και πίστωση για την πλεονάζουσα ενέργεια:**

Οι λιμένες θα αξιοποιήσουν την έννοια του Net metering για την αποτελεσματική διαχείριση της τυχόν πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες. Το Net metering επιτρέπει στους λιμένες να εξάγουν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο, ουσιαστικά "γυρίζοντας τον μετρητή προς τα πίσω". Όταν τα φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν περισσότερη ενέργεια από τη συνδυασμένη ενεργειακή ζήτηση του λιμανιού και των πλοίων, η πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται πίσω στο δίκτυο. Τα λιμάνια θα πιστωθούν για αυτή την εξαγόμενη ενέργεια, η οποία αντισταθμίζει το κόστος που προκύπτει για εισαγωγές ενέργειας σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

Για παράδειγμα, εάν η συνολική παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι 3000 MWh, η συνδυασμένη ενεργειακή ζήτηση του λιμανιού και των πλοίων είναι 2000 MWh και προκύπτει ότι η εκμεταλλεμένη ισχύς των Φ/Β πάνελ είναι 1500 MWh (σύμφωνα με τη παράγραφο 4.4) τότε οι υπόλοιπες 500 MWh, που αντιπροσωπεύουν την υπόλοιπη απαιτούμενη ενέργεια, θα επιστρέφονται στο δίκτυο. Ωστόσο, τα λιμάνια δεν θα λάβουν καμία χρηματική αποζημίωση για την πλεονάζουσα ενέργεια των 1000 MWh. Αντίθετα, τα λιμάνια επωφελούνται από την πιστωμένη ενέργεια όταν η ζήτηση ενέργειας υπερβαίνει την παραγωγή των φωτοβολταϊκών πάνελ.

## **6.3.2 Υποθέσεις και Σενάρια Εγκατάστασης Cold Ironing**

Για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο NPV, έπρεπε να γίνουν οι παρακάτω υποθέσεις :

- 1) Χρονική περίοδος επένδυσων :
  - Χρονιά έναρξης : 2023
  - Χρονική Περίοδος Επένδυσης : 25 χρόνια
  - Όλα τα εξαρτήματα έχουν την ίδια διάρκεια ζωής
- 2) Οικονομικές εκτιμήσεις :
  - Δεν έχει ληφθεί υπόψη το ποσοστό πληθωρισμού του ευρώ
  - Επιτόκιο προεξόφλησης : 4%

- 3) Ετήσιο κόστος :
  - Κόστος συντήρησης : Διαφορετικό για κάθε λιμάνι
  - Κόστος λειτουργίας : 152,000.00 € με ετήσια αύξηση 1.66% (θεωρήθηκε ίδιο για κάθε λιμάνι)
- 4) Αύξηση της ετήσιας ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας κατα 1.66%
- 5) Έξοδα αντικατάστασης εξοπλισμού : Αντικατάσταση μπαταριών ανά 15 χρόνια
- 6) Στην παρούσα μελέτη δεν ελήφθησαν υπόψη δάνεια για τις αρχικές επενδύσεις
- 7) Μηδενική υπολειπόμενη αξία των εγκαταστάσεων

### Διαφορετικά Σενάρια

Έχουν εξεταστεί τρία διαφορετικά σενάρια χρηματοδότησης των επενδύσεων:

- 1) Η συνολική αρχική επένδυση καλύπτεται από το εκάστοτε λιμάνι
- 2) Το 50% της αρχικής επένδυσης καλύπτεται από το εκάστοτε λιμάνι και το 50% από τη χρηματοδότηση της Ε.Ε μέσω του προγράμματος CEF
- 3) Το 20% της αρχικής επένδυσης καλύπτεται από το εκάστοτε λιμάνι και το 80% από τη χρηματοδότηση της Ε.Ε (CEF)

### 6.3.3 Αποτελέσματα της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας

Ελάχιστο Πάγιο						
Ποσοστό επιδότησης	Κόστος επένδυσης (€)			Πάγιο (€/MWh)		
	0%	50%	80%	0%	50%	80%
Λιμάνι 1	35.916.532	17.958.266	7.183.306	343,375	197,971	110,729
Λιμάνι 2	54.879.032	27.439.516	10.975.806	193,696	111,284	61,837
Λιμάνι 3	72.791.532	36.395.766	14.558.306	162,635	99,449	61,538
Λιμάνι 4	37.629.032	18.814.516	7.525.806	2558,539	1.702,028	1.188,122
Λιμάνι 5	39.979.032	19.989.516	7.995.806	413,687	270,392	184,415
Λιμάνι 6	21.944.758	10.972.379	4.388.952	2783,908	1.894,751	1.361,257

Λιμάνι 7	22.460.142	11.230.071	4.492.028	2719,428	1.830,274	1.296,782
Λιμάνι 8	12.532.258	6.266.129	2.506.452	1125,287	735,993	502,417
Λιμάνι 9	52.504.032	26.252.016	10.500.806	336,333	222,354	153,967
Λιμάνι 10	18.969.758	9.484.879	3.793.952	4950,775	3.448,876	2.547,736
Λιμάνι 11	39.979.032	19.989.516	7.995.806	413,687	270,392	184,415
Λιμάνι 12	37.129.032	18.564.516	7.425.806	333,998	206,926	130,682
Λιμάνι 13	13.044.355	6.522.177	2.608.871	207,027	73,802	11,966
Λιμάνι 14	42.729.032	21.364.516	8.545.806	1462,892	939,376	625,266

**Πίνακας 6.3.3.1 : Ελάχιστα πάγια παράδοσης ηλεκτρικής ενέργειας**

Ο παραπάνω πίνακας μας παρουσιάζει ποιό είναι το ελάχιστο πάγιο που θα χρεώνει το κάθε λιμάνι στα πλοία που θα χρησιμοποιούν CI, σε κάθε πιθανό ποσό χρηματοδότησης. Όπως είναι λογικό, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της επιδότησης, τόσο μικρότερο θα προκύπτει και το ελάχιστο πάγιο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πάγιο για 50% ROI									
	ΚΠΑ (€)			Πάγιο (€/MWh)			IRR		
Ποσοστό επιδότησης	0%	50%	80%	0%	50%	80%	0%	50%	80%
Λιμάνι 1	17.958.266	8.979.151	3.591.653	488,779	270,674	139,810	8,3%	8,5%	9,5%
Λιμάνι 2	27.439.516	13.719.758	5.487.914	276,109	152,491	78,320	8,3%	8,6%	9,6%
Λιμάνι 3	36.395.839	18.197.883	7.279.153	225,821	131,042	74,175	8,2%	8,4%	9,1%
Λιμάνι 4	18.814.516	9.407.258	3.762.911	3415,050	2.130,284	1.359,425	8,1%	8,1%	8,2%
Λιμάνι 5	19.989.516	9.994.758	3.997.911	556,982	342,040	213,075	8,1%	8,2%	8,6%
Λιμάνι 6	10.972.401	5.486.190	2.194.480	3673,067	2.339,329	1.539,088	8,1%	8,2%	8,5%
Λιμάνι 7	11.230.093	5.615.035	2.246.014	3608,583	2.274,851	1.474,613	8,1%	8,1%	8,3%
Λιμάνι 8	6.266.129	3.133.071	1.253.226	1514,581	930,641	580,275	8,1%	8,2%	8,6%
Λιμάνι 9	26.252.016	13.126.008	5.250.414	450,311	279,343	176,763	8,2%	8,3%	8,8%
Λιμάνι 10	9.484.879	4.742.440	1.896.980	6452,674	4.199,825	2.848,116	8,1%	8,2%	8,4%
Λιμάνι 11	19.989.516	9.994.758	3.997.911	556,982	342,040	213,075	8,1%	8,2%	8,6%
Λιμάνι 12	18.564.516	9.282.258	3.712.911	461,071	270,462	156,096	8,2%	8,4%	9,0%
Λιμάνι 13	6.522.177	3.261.095	1.304.438	340,252	140,415	20,512	8,2%	8,4%	9,1%
Λιμάνι 14	21.364.559	10.682.279	4.272.903	1986,409	1.201,134	729,969	8,1%	8,2%	8,4%

**Πίνακας 6.3.3.2 : Πάγια παράδοσης ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη 50% ROI**

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, τα πάγια τέλη παράδοσης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντική πρόκληση για τους περισσότερους λιμένες, με πολλές περιπτώσεις όπου τα τέλη αυτά υπερβαίνουν την πραγματική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατάσταση αυτή εγείρει ανησυχίες σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα της εφαρμογής εγκαταστάσεων cold ironing σε αυτούς τους λιμένες. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι το λιμάνι 13, με επιδότηση 80% από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα CEF, κατάφερε να καθιερώσει ένα οικονομικά εφικτό τέλος παράδοσης.

Για να αντιμετωπιστεί το ζήτημα των υψηλών τελών παράδοσης και να καταστεί η εφαρμογή των εγκαταστάσεων cold ironing οικονομικά πιο βιώσιμη, μπορούν να εξεταστούν διάφορα μέτρα όπως να μειωθεί το αρχικό κόστος της εγκατάστασης Cold Ironing και το κόστος συντήρησής της ή και να αυξηθεί η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας από τα πλοία.

## **6.4 Συγκριτική Ανάλυση Μηχανισμού Τιμολόγησης Ηλεκτρικής Ενέργειας και Contract for Difference (CFD) στο Cold Ironing**

Αυτό το κεφάλαιο διερευνά τη συγκριτική ανάλυση της τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας και του μηχανισμού Contract for Difference (CFD) στο πλαίσιο του Cold Ironing. Για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας της υιοθέτησης του Cold Ironing, η μελέτη συγκέντρωσε τις μέσες πραγματικές τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για κάθε μήνα του έτους 2022. Η συνολική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίστηκε συνδυάζοντας τη χονδρική τιμή με το τέλος παράδοσης που χρεώνει το κάθε λιμάνι. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση μεταξύ της συνολικής τιμής και της τιμής που καθορίστηκε στο Power Purchase Agreement (PPA). Η τιμή του PPA είναι ανάλογη με το κόστος κατανάλωσης πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επί του πλοίου, εξασφαλίζοντας στους πλοιοκτήτες μια σταθερή εναλλακτική λύση για τον μετριασμό των διακυμάνσεων της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας.

### **6.4.1 Προσδιορισμός Απόκλισης της Συνολικής Τιμής από το PPA**

Σε αυτό το υποκεφάλαιο, πρωταρχικός στόχος είναι η ποσοτική αξιολόγηση της απόκλισης μεταξύ της συνολικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, που περιλαμβάνει τόσο τη χονδρική τιμή και το τέλος παράδοσης, και την τιμή που ορίζεται στο PPA. Η τιμή του PPA είναι ένα κρίσιμο στοιχείο του συστήματος CI, καθώς έχει υπολογιστεί ώστε να είναι ανάλογη με το κόστος κατανάλωσης πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις γεννήτριες. Καθιερώνοντας έναν συνεπή μηχανισμό τιμολόγησης, παρέχεται στους πλοιοκτήτες μια ελκυστική εναλλακτική λύση αντί της κατανάλωσης πετρελαίου, προστατεύοντας τους από την εγγενή αστάθεια και τις διακυμάνσεις των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας.

Για τη διεξαγωγή αυτής της ανάλυσης, συλλέχθηκαν εκτεταμένα στοιχεία από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) που περιελάμβαναν τις μέσες πραγματικές τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μήνα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους 2022. Αυτές οι τιμές χονδρικής συνδυάστηκαν με τα αντίστοιχα τέλη παράδοσης που χρεώνει το κάθε λιμάνι, με

αποτέλεσμα να καθοριστεί η συνολική τιμή για κάθε μήνα. Συγκρίνοντας αυτή τη συνολική τιμή με την τιμή που ορίζεται στο PPA, μπορεί να εξακριβωθεί η έκταση της απόκλισης μεταξύ του πραγματικού κόστους και της συμφωνηθείσας τιμής.

Μήνας	Μέση τιμή χονδρικής [€/MWh]
Ιανουάριος	227,3
Φεβρουάριος	211,71
Μάρτιος	272,59
Απρίλιος	246,6
Μάιος	225,07
Ιούνιος	240,49
Ιούλιος	338,14
Αύγουστος	436,53
Σεπτέμβριος	416,67
Οκτώβριος	232,77
Νοέμβριος	227,75
Δεκέμβριος	276,89
<b>Μέσος όρος [€/MWh]</b>	<b>279,38</b>

**Πίνακας 6.4.1.1 : Μέσες πραγματικές τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2022**

Όταν η συνολική τιμή υπερβαίνει την τιμή του PPA, προκύπτει έλλειμμα, που απαιτεί την παροχή οικονομικής αποζημίωσης στους προμηθευτές μέσω του μηχανισμού Contract for Difference (CFD). Το CFD χρησιμεύει ως συμβατική συμφωνία μεταξύ των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας και της κυβέρνησης/κράτους, που έχει σχεδιαστεί για να μετριάσει τους οικονομικούς κινδύνους που σχετίζονται με τις διακυμάνσεις των τιμών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το πλαίσιο CFD διασφαλίζει ότι οι προμηθευτές αποζημιώνονται για τη διαφορά μεταξύ της συνολικής τιμής και της τιμής του PPA.

Αντίθετα, όταν η συνολική τιμή πέφτει κάτω από την τιμή του PPA, οι προμηθευτές δημιουργούν υπερβολικό κέρδος λόγω των ευνοϊκών συνθηκών της αγοράς. Για να διατηρηθεί η ισορροπία και να υποστηριχθεί η μακροπρόθεσμη σταθερότητα του μηχανισμού CFD, οι προμηθευτές υποχρεούνται να επιστρέψουν το πλεονάζον κέρδος στο CFD, συμβάλλοντας έτσι σε ένα μελλοντικό αποθεματικό ταμείο. Αυτό το αποθεματικό ταμείο στοχεύει να ενισχύσει την οικονομική ανθεκτικότητα των προμηθευτών όταν αναπόφευκτα αυξάνονται οι τιμές χονδρικής, παρέχοντας έτσι ένα δίκτυο ασφαλείας για την αντιστάθμιση πιθανών απωλειών σε περιόδους υψηλότερου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.

## 6.4.2 Υπολογισμός Τέλους Παράδοσης και Ζημιών/Οφελών Προμηθευτών

Αυτό το υποκεφάλαιο εστιάζει στην αποσαφήνιση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του τέλους παράδοσης, το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο του συνολικού προσδιορισμού της τιμής στο σύστημα Cold Ironing. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το μοντέλο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) χρησιμοποιήθηκε για να εξαχθεί το κατάλληλο τέλος παράδοσης που ελαχιστοποιεί την επιβάρυνση του μηχανισμού Contract for Difference (CFD). Το μοντέλο ΚΠΑ διασφαλίζει μια οικονομικά βιώσιμη και ισορροπημένη προσέγγιση, βελτιστοποιώντας την απόδοση της επένδυσης (ROI) ενώ αποφεύγεται η υπερβολική εξάρτηση από το CFD για αποζημίωση.

Για τον υπολογισμό του τέλους παράδοσης, εξετάζονται δύο διαφορετικά σενάρια με βάση τη σχέση μεταξύ της τιμής χονδρικής και της συμφωνημένης τιμής που ορίζεται στο Power Purchase Agreement (PPA). Πρώτον, όταν η τιμή χονδρικής ξεπερνά την τιμή του PPA, το τέλος παράδοσης καθορίζεται ως το ελάχιστο ποσό που απαιτείται για να μηδενιστεί η NPV. Αυτό διασφαλίζει ότι δεν θα επιβαρύνεται περεταίρω το CFD (δηλ. το αποταμιευτικό ταμείο) σε περιόδους αύξησης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντίθετα, όταν η τιμή χονδρικής πέφτει κάτω από την τιμή του PPA, υιοθετείται διαφορετική προσέγγιση. Σε αυτό το σενάριο, η χρέωση παράδοσης καθορίζεται με βάση την επίτευξη στόχου 50% απόδοσης επένδυσης (ROI). Αυτή η προσέγγιση ευθυγραμμίζεται με τον στόχο της διατήρησης ενός ισορροπημένου και βιώσιμου μηχανισμού τιμολόγησης για τις εργασίες Cold Ironing.

## 6.4.3 Συγκεντρωτικά τέλη παράδοσης, διαφορές CFD και απώλειες/οφέλη των προμηθευτών

Αυτό το υποκεφάλαιο εστιάζει στη συγκέντρωση μηνιαίων δεδομένων για να εξαγάγει μια ολοκληρωμένη ανάλυση των οικονομικών πτυχών που σχετίζονται με τα τέλη παράδοσης, τις διαφορές στα Contracts for Difference (CFD) και τις απώλειες και τα οφέλη που αντιμετωπίζουν οι προμηθευτές στο σύστημα Cold Ironing. Με την εξέταση των συγκεντρωτικών δεδομένων για το έτος 2022, μπορεί να επιτευχθεί μια ολιστική κατανόηση των οικονομικών επιπτώσεων και τάσεων, επιτρέποντας τη λήψη πιο ενημερωμένων αποφάσεων για τους ενδιαφερόμενους.

Για τη διεξαγωγή αυτής της ανάλυσης, υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές για το τέλος παράδοσης, οι διαφορές CFD και οι απώλειες/οφέλη του προμηθευτή. Το τέλος παράδοσης, που προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμεύει ως βασικό οικονομικό στοιχείο που επηρεάζει τη συνολική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπολογίζοντας τους μηνιαίους μέσους όρους, μπορούν να εντοπιστούν οι συνολικές τάσεις και τα πρότυπα τιμολόγησης, ρίχνοντας φως στη σταθερότητα και τη συνέπεια του τέλους παράδοσης σε διαφορετικούς μήνες.

Ομοίως, οι διαφορές CFD, που αντιπροσωπεύουν τις οικονομικές αποζημιώσεις που γίνονται στους προμηθευτές όταν η συνολική τιμή υπερβαίνει τη συμφωνημένη τιμή που ορίζεται στο Power Purchase Agreement (PPA), συγκεντρώνονται σε μηνιαία βάση.

Συνοψίζοντας τις διαφορές CFD για κάθε μήνα, μπορεί να προκύψει μια συνολική εκτίμηση του δημοσιονομικού αντικτύπου, παρέχοντας πληροφορίες για τα μέτρα διαχείρισης κινδύνου και τη χρηματοοικονομική σταθερότητα του μηχανισμού CFD.

Επίσης, υπολογίζονται και συγκεντρώνονται σε μηνιαία βάση οι απώλειες και τα οφέλη που υφίστανται οι προμηθευτές λόγω αποκλίσεων στη συνολική τιμή από την τιμή του PPA. Όταν η συνολική τιμή πέσει κάτω από την τιμή του PPA, οι προμηθευτές δημιουργούν υπερβολικό κέρδος, το οποίο επιστρέφεται στον μηχανισμό CFD για να διασφαλιστεί μακροπρόθεσμη οικονομική ανθεκτικότητα. Αντίθετα, όταν η συνολική τιμή υπερβαίνει την τιμή του PPA, οι προμηθευτές αντιμετωπίζουν οικονομικές ζημίες, οι οποίες αντισταθμίζονται μέσω του CFD. Εξετάζοντας τους μηνιαίους μέσους όρους αυτών των απωλειών και οφελών, μπορεί να αποκτηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα της οικονομικής δυναμικής και των πιθανών τομέων βελτίωσης.

Για να εκτιμηθεί ο συνολικός αντίκτυπος των προαναφερθέντων παραγόντων, οι μηνιαίοι μέσοι όροι πολλαπλασιάζονται στη συνέχεια με την εγκατεστημένη ισχύ σε μεγαβάτ (MW) και τις ώρες λειτουργίας για να προκύψουν τα συνολικά στοιχεία για το έτος 2022. Αυτό επιτρέπει μια συνολική αξιολόγηση των σωρευτικών επιπτώσεων, παρέχοντας βαθύτερη κατανόηση των οικονομικών επιπτώσεων που σχετίζονται με το τέλος παράδοσης, τις διαφορές CFD και τις απώλειες και τα οφέλη που βιώνουν οι προμηθευτές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Παρουσιάζοντας τα συγκεντρωτικά δεδομένα για το έτος 2022, αυτό το υποκεφάλαιο προσφέρει μια ολοκληρωμένη ανάλυση των οικονομικών πτυχών του συστήματος Cold Ironing. Τα ετήσια μεγέθη των τελών παράδοσης, οι διαφορές CFD και οι απώλειες/οφέλη των προμηθευτών παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την οικονομική σκοπιμότητα, τις στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των εργασιών Cold Ironing. Αυτές οι πληροφορίες είναι καθοριστικές για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τις τιμολογιακές πολιτικές, τον οικονομικό προγραμματισμό και τη βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος Cold Ironing.

<b>Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα 2022</b>				
<b>Λιμάνια</b>	<b>Έσοδα Λιμανιού</b>	<b>Διαφορά CFD</b>	<b>Απώλειες προμηθευτών</b>	<b>Οφέλη προμηθευτών</b>
<b>Λιμάνι 1</b>	3.529.197,33 €	-2.375.919,06 €	- €	1.209.053,92 €
<b>Λιμάνι 2</b>	5.322.891,37 €	-3.695.010,01 €	- €	2.317.521,15 €
<b>Λιμάνι 3</b>	6.910.135,68 €	-5.419.398,12 €	- €	4.251.572,95 €
<b>Λιμάνι 4</b>	3.381.555,66 €	-3.068.707,19 €	- €	967.572,27 €
<b>Λιμάνι 5</b>	3.743.515,55 €	-3.216.977,52 €	- €	2.262.836,14 €
<b>Λιμάνι 6</b>	2.050.910,21 €	-1.875.159,88 €	- €	591.243,35 €
<b>Λιμάνι 7</b>	2.054.798,63 €	-1.874.919,93 €	- €	591.167,69 €

Λιμάνι 8	1.223.309,43 €	-994.068,94 €	- €	313.199,80 €
Λιμάνι 9	4.817.892,42 €	-4.342.602,08 €	- €	3.562.508,03 €
Λιμάνι 10	1.793.742,66 €	-1.703.801,02 €	- €	536.814,02 €
Λιμάνι 11	3.743.515,55 €	-3.216.977,52 €	- €	2.262.836,14 €
Λιμάνι 12	3.561.386,13 €	-2.735.943,89 €	- €	1.573.681,64 €
Λιμάνι 13	1.276.399,80 €	-578.786,45 €	- €	190.344,40 €
Λιμάνι 14	3.850.774,15 €	-3.269.564,83 €	- €	1.030.136,86 €

Πίνακας 6.4.3.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το έτος 2022 με 0% επιδότηση

Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα 2022				
Λιμάνια	Έσοδα Λιμανιού	Διαφορά CFD	Απώλειες προμηθευτών	Οφέλη προμηθευτών
Λιμάνι 1	2.552.612,66 €	-1.399.334,40 €	- €	712.091,06 €
Λιμάνι 2	3.830.708,87 €	-2.202.827,50 €	- €	1.381.619,89 €
Λιμάνι 3	4.930.905,24 €	-3.440.167,68 €	- €	2.698.846,54 €
Λιμάνι 4	2.358.407,45 €	-2.045.558,98 €	- €	644.970,67 €
Λιμάνι 5	2.656.469,91 €	-2.129.931,88 €	- €	1.498.203,45 €
Λιμάνι 6	1.454.223,60 €	-1.278.473,26 €	- €	403.106,33 €
Λιμάνι 7	1.444.098,53 €	-1.264.219,83 €	- €	398.612,18 €
Λιμάνι 8	882.552,40 €	-653.311,91 €	- €	205.838,00 €
Λιμάνι 9	3.390.287,10 €	-2.914.996,76 €	- €	2.391.354,12 €
Λιμάνι 10	1.277.947,47 €	-1.188.005,83 €	- €	374.303,21 €
Λιμάνι 11	2.656.469,91 €	-2.129.931,88 €	- €	1.498.203,45 €
Λιμάνι 12	2.551.833,12 €	-1.726.390,87 €	- €	992.999,03 €
Λιμάνι 13	921.718,66 €	-224.105,31 €	- €	73.701,09 €
Λιμάνι 14	2.688.954,93 €	-2.107.745,61 €	- €	664.084,23 €

Πίνακας 6.4.3.2 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το έτος 2022 με 50% επιδότηση

Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα 2022				
Λιμάνια	Έσοδα Λιμανιού	Διαφορά CFD	Απώλειες προμηθευτών	Οφέλη προμηθευτών



Λιμάνι 1	1.966.661,87 €	-813.383,60 €	- €	413.913,35 €
Λιμάνι 2	2.935.399,36 €	-1.307.518,00 €	- €	820.079,14 €
Λιμάνι 3	3.743.366,98 €	-2.252.629,42 €	- €	1.767.210,69 €
Λιμάνι 4	1.744.518,53 €	-1.431.670,05 €	- €	451.409,72 €
Λιμάνι 5	2.004.242,53 €	-1.477.704,50 €	- €	1.039.423,84 €
Λιμάνι 6	1.096.212,11 €	-920.461,78 €	- €	290.224,27 €
Λιμάνι 7	1.077.678,46 €	-897.799,77 €	- €	283.078,87 €
Λιμάνι 8	678.098,18 €	-448.857,69 €	- €	141.420,91 €
Λιμάνι 9	2.533.723,90 €	-2.058.433,57 €	- €	1.688.661,77 €
Λιμάνι 10	968.470,35 €	-878.528,71 €	- €	276.796,72 €
Λιμάνι 11	2.004.242,53 €	-1.477.704,50 €	- €	1.039.423,84 €
Λιμάνι 12	1.946.101,31 €	-1.120.659,07 €	- €	644.589,46 €
Λιμάνι 13	757.092,32 €	-59.478,97 €	-9.318,88 €	28.879,61 €
Λιμάνι 14	1.991.863,40 €	-1.410.654,07 €	- €	444.452,65 €

Πίνακας 6.4.3.3 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το έτος 2022 με 80% επιδότηση

## 6.5 Αξιολόγηση των καθαρών οικονομικών επιπτώσεων για κάθε επιλογή επιδότησης

Στο παρόν υποκεφάλαιο, θα αξιολογηθεί ο καθαρός οικονομικός αντίκτυπος για κάθε επιλογή επιδότησης ώστε να βοηθηθεί η κυβέρνηση στη λήψη τεκμηριωμένης απόφασης. Η διαδικασία αξιολόγησης θα εξετάσει το συνολικό εξωτερικό κόστος που μπορεί να κερδηθεί έμμεσα μέσω της εφαρμογής των εγκαταστάσεων Cold Ironing, καθώς και τις συνολικές διαφορές στα Contracts for Difference (CFD) που μπορεί να χρειαστεί να καταβληθούν στους προμηθευτές κατά τη διάρκεια της επενδυτικής περιόδου. Με την ανάλυση αυτών των παραγόντων, η κυβέρνηση μπορεί να καθορίσει την πιο συμφέρουσα επιλογή επιδότησης που ευθυγραμμίζεται με τους οικονομικούς της στόχους.

### 6.5.1 Ενσωμάτωση της συνολικής εξοικονόμησης εξωτερικού κόστους και των διαφορών CFD

Η ενσωμάτωση της συνολικής εξοικονόμησης εξωτερικού κόστους που προκύπτει από την εφαρμογή των εγκαταστάσεων Cold Ironing είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση του χρηματοοικονομικού αντικτύπου κάθε επιλογής επιδότησης. Αυτά τα εξωτερικά κόστη, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ηχορύπανση και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, έχουν

σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις για την κοινωνία. Με την ποσοτικοποίηση της δυνητικής εξοικονόμησης κόστους και τον συνυπολογισμό της στην οικονομική ανάλυση, η κυβέρνηση μπορεί να αποκτήσει μια ολοκληρωμένη κατανόηση του καθαρού οικονομικού αντίκτυπου που συνδέεται με κάθε επιλογή επιδότησης.

Επιπλέον, η διαδικασία αξιολόγησης θα λάβει υπόψη τις διαφορές στα Contracts for Difference (CFD) που μπορεί να προκύψουν σε διαφορετικά επίπεδα επιδότησης. Το CFD αντιπροσωπεύει την οικονομική δέσμευση της κυβέρνησης να εξασφαλίσει μια δίκαιη τιμή αγοράς για την παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Με την ανάλυση των διακυμάνσεων στις πληρωμές CFD στο πλαίσιο διαφορετικών επιλογών επιδότησης, η κυβέρνηση μπορεί να αξιολογήσει τις οικονομικές επιπτώσεις και να καθορίσει το ευνοϊκότερο επίπεδο επιδότησης.

<b>Λιμάνια</b>	<b>Εξωτερικά Κόστος που εξοικονομούνται</b>
Λιμάνι 1	42.475.854,00 €
Λιμάνι 2	114.537.656,00 €
Λιμάνι 3	198.832.536,00 €
Λιμάνι 4	10.798.518,00 €
Λιμάνι 5	47.963.134,00 €
Λιμάνι 6	4.386.669,00 €
Λιμάνι 7	4.489.712,00 €
Λιμάνι 8	5.721.829,00 €
Λιμάνι 9	79.209.094,00 €
Λιμάνι 10	2.171.857,00 €
Λιμάνι 11	47.963.134,00 €
Λιμάνι 12	50.276.068,00 €
Λιμάνι 13	21.040.355,00 €
Λιμάνι 14	17.555.072,00 €
<b>Σύνολο</b>	<b>647.421.488,00 €</b>

**Πίνακας 6.5.1.1 : Εξωτερικά κόστος που εξοικονομούνται στα λιμάνια**

Στον παραπάνω πίνακα, παρουσιάζονται τα εξωτερικά κόστος κάθε λιμανιού που πρόκειται να εξοικονομηθούν στο βάθος των 25 χρόνων, τα οποία υπολογίστηκαν με βάση το μοντέλο Καθαρής Παρούσας Αξίας σύμφωνα με τις παραδοχές που έγιναν στις προηγούμενες παραγράφους.

## 6.5.2 Σύγκριση ΚΠΑ, IRR και ROI για διαφορετικά επίπεδα επιδότησης

Για να διευκολυνθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων, θα διεξαχθεί σύγκριση βασικών χρηματοοικονομικών μεγεθών, συμπεριλαμβανομένης της καθαρής παρούσας αξίας (NPV), του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) και της απόδοσης της επένδυσης (ROI), για κάθε επίπεδο επιδότησης.

Αναλύοντας αυτές τις χρηματοοικονομικές μετρήσεις για διαφορετικά επίπεδα επιδότησης, η κυβέρνηση μπορεί να αποκτήσει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της οικονομικής βιωσιμότητας και ελκυστικότητας κάθε επιλογής. Η σύγκριση της ΚΠΑ, του IRR και της ROI θα επιτρέψει στην κυβέρνηση να αξιολογήσει τη δυνητική απόδοση της επένδυσης και να λάβει μια τεκμηριωμένη απόφαση που μεγιστοποιεί τα οικονομικά οφέλη, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη το συνολικό εξωτερικό κόστος και τις διαφορές CFD που συνδέονται με κάθε επίπεδο επιδότησης.

Για τον σκοπό αυτό, λήφθηκαν οι διαφορές CFD του έτους 2022 που υπολογίστηκαν προηγουμένως για κάθε λιμάνι, και λόγω της τυχαιότητας τους, θεωρήθηκαν σταθερές για τα επόμενα 25 χρόνια ώστε να γίνει η οικονομική ανάλυση.

<b>External Costs</b>	647.421.488,00 €
<b>CEF's contribution</b>	- €
<b>Λιμάνια</b>	<b>Διαφορές CFD</b>
Λιμάνι 1	- 36.225.550,33 €
Λιμάνι 2	- 56.337.681,42 €
Λιμάνι 3	- 82.629.363,44 €
Λιμάνι 4	- 46.788.465,42 €
Λιμάνι 5	- 49.049.137,71 €
Λιμάνι 6	- 28.590.493,59 €
Λιμάνι 7	- 28.586.835,13 €
Λιμάνι 8	- 15.156.532,50 €
Λιμάνι 9	- 66.211.493,87 €
Λιμάνι 10	- 25.977.791,41 €
Λιμάνι 11	- 49.049.137,71 €
Λιμάνι 12	- 41.714.835,63 €
Λιμάνι 13	- 8.824.735,72 €
Λιμάνι 14	- 49.850.934,42 €

Χρηματοοικονομικά μεγέθη	
NPV	62.428.499,71 €
IRR	3%
ROI	10,67%

Πίνακας 6.5.2.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για 0% επιδότηση

External Costs	647.421.488,00 €
CEF's contribution	- 251.243.780,57 €
Λιμάνια	Διαφορές CFD
Λιμάνι 1	- 21.335.599,98 €
Λιμάνι 2	- 33.586.429,73 €
Λιμάνι 3	- 52.452.109,88 €
Λιμάνι 4	- 31.188.562,35 €
Λιμάνι 5	- 32.474.992,94 €
Λιμάνι 6	- 19.492.834,73 €
Λιμάνι 7	- 19.275.513,16 €
Λιμάνι 8	- 9.961.022,56 €
Λιμάνι 9	- 44.444.848,14 €
Λιμάνι 10	- 18.113.481,08 €
Λιμάνι 11	- 32.474.992,94 €
Λιμάνι 12	- 26.322.218,02 €
Λιμάνι 13	- 3.416.925,34 €
Λιμάνι 14	- 32.136.719,59 €
Χρηματοοικονομικά μεγέθη	
NPV	19.501.456,99 €
IRR	4%
ROI	3,11%

Πίνακας 6.5.2.2 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για 50% επιδότηση

External Costs	647.421.488,00 €
----------------	------------------

<b>CEF's contribution</b>	- 401.990.048,91 €
<b>Λιμάνια</b>	<b>Διαφορές CFD</b>
Λιμάνι 1	- 12.401.629,77 €
Λιμάνι 2	- 19.935.678,71 €
Λιμάνι 3	- 34.345.757,74 €
Λιμάνι 4	- 21.828.620,50 €
Λιμάνι 5	- 22.530.506,08 €
Λιμάνι 6	- 14.034.246,88 €
Λιμάνι 7	- 13.688.719,97 €
Λιμάνι 8	- 6.843.716,60 €
Λιμάνι 9	- 31.384.860,71 €
Λιμάνι 10	- 13.394.894,89 €
Λιμάνι 11	- 22.530.506,08 €
Λιμάνι 12	- 17.086.647,46 €
Λιμάνι 13	- 906.873,59 €
Λιμάνι 14	- 21.508.190,68 €
<b>Χρηματοοικονομικά μεγέθη</b>	
<b>NPV</b>	<b>- 6.989.410,59 €</b>
<b>IRR</b>	<b>4%</b>
<b>ROI</b>	<b>-1,07%</b>

**Πίνακας 6.5.2.3 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για 80% επιδότηση**

Με βάση την ανάλυση που παρουσιάζεται στους παραπάνω πίνακες, τα ευρήματα δείχνουν ότι η πιο ευνοϊκή επιλογή επιδότησης για την κυβέρνηση είναι αυτή με 0% επιδότηση. Η επιλογή αυτή παρουσιάζει την υψηλότερη καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) και απόδοση της επένδυσης (ROI) σε σύγκριση με τα άλλα επίπεδα επιδότησης.

Η επιλογή επιδότησης 80% θεωρείται μη βιώσιμη, καθώς οδηγεί σε αρνητικές τιμές ΚΠΑ και ROI, υποδεικνύοντας πιθανή οικονομική ζημία για την κυβέρνηση. Παρά τον υψηλότερο εσωτερικό συντελεστή απόδοσης (IRR) που συνδέεται με την επιλογή επιδότησης 50%, η επιλογή επιδότησης 0% παραμένει η ανώτερη επιλογή από άποψη οικονομικής βιωσιμότητας και αποδοτικότητας, επιτυγχάνοντας ελαχιστοποίηση των κυβερνητικών δαπανών. Τέλος, Η επιλογή αυτή διασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη επιτυχία των πρωτοβουλιών Cold ironing στους εξεταζόμενους λιμένες.

## 7. Συμπεράσματα

### 7.1 Σύνοψη των ευρημάτων

Στην παρούσα διατριβή, διερευνήθηκε διεξοδικά η σκοπιμότητα εφαρμογής του Cold ironing, μαζί με φωτοβολταϊκά συστήματα και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ΣΑΕ), σε 14 λιμάνια στην Ελλάδα. Ο πρωταρχικός στόχος ήταν να επινοηθεί μια μέθοδος για τη χρέωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων με ταυτόχρονη άμβλυση των επιπτώσεων των διακυμάνσεων της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιώντας συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (PPA), οι πλοιοκτήτριες εταιρείες μπορούν να εξασφαλίσουν σταθερό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, ισοδύναμο με αυτό που θα πλήρωναν αν χρησιμοποιούσαν συμβατικά καύσιμα.

Η μελέτη αποκάλυψε ότι οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζονται άμεσα από τις διακυμάνσεις των τιμών, με αποτέλεσμα πιθανές οικονομικές επιβαρύνσεις ή υπερκέρδη βάσει των συμφωνηθέντων τιμών των PPA. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, εφαρμόστηκαν Συμβάσεις Διαφοράς (CFD) ως μηχανισμός εξισορρόπησης των ζημιών και των κερδών του παραγωγού. Τα CFD λειτουργούν ως ταμείο, αποθηκεύοντας υπερκέρδη όταν οι τιμές είναι χαμηλότερες από το ποσοστό του PPA και αντισταθμίζοντας τις απώλειες όταν οι τιμές υπερβαίνουν την προσυμφωνημένη τιμή.

Επιπλέον, τα τέλη διανομής που επιβάλλουν τα λιμάνια για την παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούσαν σημαντικές προκλήσεις. Πολλοί λιμένες αντιμετώπιζαν απαγορευτικά τέλη παράδοσης που ξεπερνούσαν τη χονδρική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, εξετάστηκαν τα εξωτερικά κόστη που εξοικονομήθηκαν από τη μείωση των ρύπων για να προσδιοριστεί η πιθανή εξοικονόμηση για το κράτος.

Η ανάλυση έδειξε ότι ενώ το κράτος επιδοτεί την εγκατάσταση Cold Ironing και καλύπτει τις διαφορές CFD, η συνολική οικονομική βιωσιμότητα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές CFD και το κόστος που εξοικονομείται από τη μείωση του εξωτερικού κόστους των ρύπων, διαπιστώθηκε ότι η πιο ευνοϊκή επιλογή, όσον αφορά την καθαρή παρούσα αξία (NPV) και την απόδοση της επένδυσης (ROI), είναι η επιλογή της μη χορήγησης αρχικής επιδότησης. Η προσέγγιση αυτή αποφέρει μεγαλύτερο οικονομικό όφελος.

### 7.2 Επιπτώσεις και συστάσεις

Για να εξασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων Cold Ironing, πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για τη μείωση του αρχικού κόστους επένδυσης και των δαπανών συντήρησης. Η περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στη διερεύνηση στρατηγικών για την ελαχιστοποίηση αυτών των δαπανών χωρίς να διακυβεύεται η αποδοτικότητα και η απόδοση του συστήματος.

Επιπλέον, η συνεχής παρακολούθηση και ανάλυση των διακυμάνσεων της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας και της δυναμικής της αγοράς είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας και ελκυστικότητας του προγράμματος Cold Ironing. Η

τακτική επαναξιολόγηση των επιλογών επιδότησης, λαμβάνοντας υπόψη τις εξελισσόμενες συνθήκες της αγοράς, μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση του οικονομικού αντίκτυπου και της συνολικής επιτυχίας της πρωτοβουλίας.

### 7.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Ακολουθούν ορισμένες ιδέες που αξίζει να διερευνηθούν περαιτέρω σε μελλοντικές εργασίες:

- Η διαφοροποίηση ανά κατηγορία πλοίων και ο αντίστοιχος τύπος PPA που θα υπογραφεί (βραχυπρόθεσμες, μακροπρόθεσμες ή μεσοπρόθεσμες συμβάσεις) θα πρέπει να διερευνηθεί για να προσαρμοστεί το μοντέλο τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας στις ανάγκες των διαφόρων πλοίων και να βελτιστοποιηθούν τα οικονομικά οφέλη.
- Επιπλέον, η ανάλυση σεναρίων με βάση την ημερήσια πρόβλεψη ή την ωριαία πρόβλεψη για αφίξεις πλοίων θα επιτρέψει την ακριβέστερη εκτίμηση της ζήτησης ενέργειας και θα διευκολύνει τη βέλτιστη διαστασιολόγηση και χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στα λιμάνια. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας στις συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας.

### 7.4 Συμπέρασμα

Συμπερασματικά, η παρούσα διπλωματική εργασία έριξε φως στη σκοπιμότητα εφαρμογής cold ironing, φωτοβολταϊκών συστημάτων και ΣΑΕ στα ελληνικά λιμάνια. Τα ευρήματα της έρευνας αναδεικνύουν τη σημασία της σταθερής και προβλέψιμης τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τα πλοία, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις οικονομικές πιυχές για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας και το κράτος. Με τη στρατηγική χρήση των PPA, των CFD και την προσεκτική εξέταση των τελών παράδοσης, μπορεί να επιτευχθεί ένα βιώσιμο και οικονομικά βιώσιμο μοντέλο.

Προχωρώντας προς τα εμπρός, είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί προτεραιότητα στη συνεχή έρευνα και καινοτομία στις τεχνολογίες Cold Ironing και στα συναφή οικονομικά μοντέλα. Η συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών αρχών, των πλοιοκτητριών εταιρειών, των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας και των κυβερνητικών φορέων, είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή και τη συνεχή βελτίωση των πρωτοβουλιών cold ironing.

Τελικά, η ενσωμάτωση του Cold Ironing, των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ΣΑΕ στους λιμένες προσφέρει τεράστιες δυνατότητες για τη μείωση των εκπομπών, την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης και την προώθηση της μετάβασης προς μια πιο πράσινη και βιώσιμη ναυτιλιακή βιομηχανία.

## 8. Βιβλιογραφία

- [1] Zis, T. P. V. (2019). *Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82–95. doi:10.1016/j.tra.2018.11.003
- [2] «International Organization for Standardization», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.iso.org](http://www.iso.org).
- [3] European Commission Directorate General Environment, «Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments», Entec UK, 2005
- [4] [https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/557-NR\\_2010-01.pdf](https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/557-NR_2010-01.pdf)
- [5] «Marine in Sight», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com).
- [6] «Port of Seattle», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.portseattle.org](http://www.portseattle.org).
- [7] «IMESA SPA», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.imesaspa.com](http://www.imesaspa.com).
- [8] «Port of Los Angeles», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.portoflosangeles.org](http://www.portoflosangeles.org).
- [9] «California Air Resources Board», [Ηλεκτρονικό]. Available: [ww2.arb.ca.gov](http://ww2.arb.ca.gov).
- [10] «Port of Gothenburg», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.portofgothenburg.com](http://www.portofgothenburg.com).
- [11] «Port of Antwerp Bruges», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.portofantwerpbruges.com](http://www.portofantwerpbruges.com).
- [12] «Independent Container Line», [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.icl-ltd.com](http://www.icl-ltd.com).
- [13] M. Anastasios, D. Lyridis, J. Prousalidis, et al. “The Maritime Sector in the Electric Energy Markets.” *2023 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*, IEEE, 2023, pp. 1–6. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC57127.2023.10114842>.
- [14] Mendicino, L., Menniti, D., Pinnarelli, A., & Sorrentino, N. (2019). Corporate power purchase agreement: Formulation of the related levelized cost of energy and its application to a real life case study. *Applied Energy*, 253, 113577. doi:10.1016/j.apenergy.2019.113577
- [15] Das, P., & Malakar, T. (2021). A day-ahead sleeved power purchase agreement model for estimating the profit of wind farms in the Indian energy market. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(4). doi:10.1002/2050-7038.12821
- [16] [www.investopedia.com](http://www.investopedia.com)
- [17] Jürgen Helmut Eckstein, «Detailed modelling of photovoltaic system components», University of Wisconsin - Madison, 1990
- [18] «Solar Labs» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://thesolarlabs.com/>



[19] Poulikkas, Andreas, Kourtis, George, and Hadjipaschalis, Ioannis. A review of net metering mechanism for electricity renewable energy sources. Iraq: N. p., 2013. Web.

[20] Nair, N.-K. C., & Garimella, N. (2010). Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration. *Energy and Buildings*, 42(11), 2124–2130. doi:10.1016/j.enbuild.2010.07.002

[21] «energy toolbase» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energytoolbase.com/>

[22] «Fluence Energy» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://fluenceenergy.com/>

[23] «Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.rae.gr/>