



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟ
ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΛΙΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΙΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Χ. ΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων : Γεώργιος Κ. Ματσόπουλος
Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟ
ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΛΙΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΙΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Χ. ΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων : Γεώργιος Κ. Ματσόπουλος

Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η Οκτωβρίου 2023.

.....
Γεώργιος Κ. Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



.....
Γεώργιος Χ. Πούλος

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Χ. Πούλος, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας Εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της Εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξέταση, σε επίπεδο προμελέτης, των ωφελειών της ηλεκτρικής διασύνδεσης ελλιμενιζόντων πλοίων στους Λιμενικούς Σταθμούς του Επιβατικού και Εμπορικού Λιμένα Πειραιά και η επιλογή της βέλτιστης τοπολογίας της εγκατάστασης στον κάθε Λιμενικό Σταθμό. Για το σκοπό αυτό, αρχικά θα εκτιμηθεί η υφιστάμενη κατάσταση στους Σταθμούς Ακτοπλοΐας και Κρουαζιέρας (Επιβατικός Λιμένας) και στους Σταθμούς Διακίνησης Οχημάτων και Εμπορευματοκιβωτίων (Εμπορικός Λιμένας). Η εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των πλοίων που επισκέπτονται το Λιμένα Πειραιά (τύπος και μέγεθος), τα δρομολόγια και τη διάρκεια ελλιμενισμού τους, τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων, των καταναλώσεων καυσίμων και των εκπομπών αέριων ρύπων. Η παραπάνω κατάσταση θα παρουσιαστεί ανά Σταθμό, οριοθετώντας έτσι το πρόβλημα προς επίλυση. Προκειμένου να υπολογιστούν τα ανωτέρω, θα χρησιμοποιηθούν σχετικές πληροφορίες και δεδομένα από την Ο.Λ.Π. Α.Ε., τις ακτοπλοϊκές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο Λιμένα Πειραιά και από το Διαδίκτυο. Οι απαιτήσεις των πλοίων σε ισχύ κατά τον ελλιμενισμό τους καθώς και οι μέθοδοι που θα εφαρμοστούν για τους υπολογισμούς αντλήθηκαν κατά κύριο λόγο από την 4^η IMO GHG Μελέτη του 2020, αλλά και από συναφή βιβλιογραφία. Μετά την εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης, θα γίνει εισαγωγή στη μέθοδο της από στεριάς ηλεκτροδότησης πλοίων (Cold Ironing) και θα παρουσιαστούν οι προδιαγραφές και οι κανονισμοί που εφαρμόζονται, οι πιθανές τοπολογίες του συστήματος και το σύνολο του απαιτούμενου εξοπλισμού. Ακολούθως, θα εξεταστεί η εφαρμογή του Cold Ironing στους Σταθμούς του Επιβατικού και Εμπορικού Λιμένα Πειραιά, θα επιλεγεί και κοστολογηθεί ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την εγκατάσταση σε κάθε Σταθμό, θα παρουσιαστεί το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού και οι ωφέλειες που προκύπτουν από την ηλεκτρική διασύνδεση, τόσο από τη μεριά ενός τυπικού πλοίου όσο και από τη μεριά της ακτής. Θα ακολουθήσει η αξιολόγηση της επένδυσης και θα εξεταστεί υπό ποιες προϋποθέσεις αυτή μπορεί να καταστεί επιθυμητή. Τέλος, θα εξεταστεί η διαχρονική εξέλιξη του ενεργειακού μείγματος στην Ελλάδα, καθώς αυτή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα ενός συστήματος CI. Στο τελευταίο Κεφάλαιο θα δοθούν τα συμπεράσματα καθώς και προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις των εγκαταστάσεων που παρουσιάστηκαν.

Λέξεις κλειδιά: Ψυχρή εκκίνηση, Ηλεκτρική σύνδεση με ακτή, Εναλλακτική ναυτική τροφοδότηση ισχύος, Ηλεκτρική τροφοδότηση από την ακτή, Ηλεκτρική διασύνδεση πλοίων.

Abstract

The subject of this thesis is the examination, at the level of a preliminary study, of the benefits of the electrical interconnection of berthing ships at the Port Stations of the Passenger and Commercial Port of Piraeus and the selection of the optimal topology of the installation at each Port Station. For this purpose, initially the current situation at the Coasting and Cruise Stations (Passenger Port) and at the Vehicles Carrier and Containers Handling Stations (Commercial Port) will be assessed. The assessment of the current situation includes the determination of the ships visiting the Port of Piraeus (type and size), their itineraries and the duration of their docking, the calculation of energy requirements, fuel consumption and gas emissions. The above situation will be presented per Station, thus delimiting the problem to be solved. In order to calculate the above, relevant information and data will be used from PPA SA, the ferry companies operating in the Port of Piraeus and from the Internet. The requirements of the ships in power during their berthing, as well as the methods to be applied for the calculations were mainly drawn from the 4th IMO GHG Study of 2020, but also from related literature. After assessing the current situation, an introduction to the method of ships electrification from the shore (Cold Ironing) will be made and the applied specifications and regulations, the possible system topologies and all the required equipment will be presented. Subsequently, the application of Cold Ironing at the Stations of the Passenger and Commercial Port of Piraeus will be examined, the required equipment for the installation at each Station will be selected and costed, the operating and maintenance costs of the equipment and the benefits resulting from the electrical interconnection will be presented, both from the side of a typical ship and from the shore side. This will be followed by the evaluation of the investment and it will be examined under which conditions it may become desirable. Finally, the evolution of the energy mix in Greece over time will be examined, as it plays an important role in the effectiveness of a CI system. In the last chapter, the conclusions will be given, as well as proposals for future expansions of the presented facilities.

Keywords: Cold Ironing, Shore Connection, Alternative Maritime Power, Onshore Power Supply, Electrical interconnection of ships.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή της Σχολής ΗΜΜΥ ΕΜΠ κ. Γεώργιο Ματσόπουλο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής, καθώς και για την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Αυγέρο της Ο.Λ.Π. Α.Ε. για τη βοήθειά του στη συλλογή πληροφοριών, σχετικών με τα δρομολόγια πλοίων και τους κ. Ιάκωβο Καλαϊτζόγλου και κ. Σπύρο Προβολισιάνο της Extra Mile Σύμβουλοι Μηχανικοί για τις σχετικές με το θέμα της εργασίας συζητήσεις που κάναμε και τις πληροφορίες που μου παρείχαν.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Χαραλάμπη και Βασιλική και την αδερφή μου Αθηνά για την έμπρακτη στήριξή τους κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ, για την καθοριστική βοήθεια και υπομονή της, θα ήθελα να δώσω στη γυναίκα μου Ντιάνα, συνοδοιπόρο σε αυτό το ταξίδι.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες	8
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	12
1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας	12
2. Ναυτιλία – Αέριοι ρύποι ναυτικών κινητήρων – Σχετική νομοθεσία.....	13
2.1 Βασικοί τύποι πλοίων	13
2.1.1 Επιβατικά πλοία (Passenger ferries).....	13
2.1.2 Κρουαζιερόπλοια (Cruise ships).....	13
2.1.3 Οχηματαγωγά πλοία (Vehicle carriers)	14
2.1.4 Πλοία Roll On - Roll Off (Ro-Ro) και Roll On - Roll Off / Passengers (Ro-Pax).....	14
2.1.5 Πλοία μεταφοράς ευπαθών προϊόντων (Reefers).....	14
2.1.6 Πλοία μεταφοράς ξηρών χύδην προϊόντων (Dry bulk carriers)	14
2.1.7 Πλοία μεταφοράς γενικών φορτίων (General cargo ships).....	14
2.1.8 Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container ships).....	15
2.1.9 Δεξαμενόπλοια (Tankers).....	15
2.2 Παγκόσμιος στόλος	15
2.3 Συστήματα πρόωσης και βοηθητικά συστήματα πλοίων.....	17
2.3.1 Τύποι ναυτικών κινητήρων	17
2.3.2 Συστήματα πρόωσης πλοίων	17
2.3.3 Βοηθητικά συστήματα παραγωγής ισχύος πλοίων	19
2.3.4 Βασικές λειτουργίες πλοίου	20
2.4 Επίπεδο τάσης και συχνότητα	22
2.5 Αέριοι ρύποι ναυτικών κινητήρων.....	22
2.6 Κανονισμοί και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	24
2.6.1 IMO, MARPOL, MEPC	24
2.6.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τον περιορισμό των εκπομπών αέριων ρύπων στη ναυσιπλοΐα	27
2.6.3 Προβλέψεις για την εξέλιξη των εκπομπών αέριων ρύπων	28
2.6.4 Μελέτες για την εξέλιξη των εκπομπών αέριων ρύπων για το Λιμένα Πειραιώς.	31
2.7 Fit for 55	32
3. Λιμένας Πειραιώς – Παρουσίαση.....	33
3.1 Γενικά στοιχεία.....	33
3.2 Εμπορικός και Επιβατικός Λιμένας - Παρουσίαση βασικών λιμενικών σταθμών Πειραιά	35
3.2.1 Σταθμός Ακτοπλοΐας	35
3.2.2 Σταθμός Κρουαζιέρας.....	35

3.2.3	Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων	36
3.2.4	Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων	37
4.	Εκτίμηση υφιστάμενης κατάστασης στους Λιμενικούς Σταθμούς Πειραιά	38
4.1	Απαιτήσεις σε ισχύ, καταναλώσεις καυσίμου και εκπομπές αέριων ρύπων.....	38
4.1.1	Εκτίμηση απαιτήσεων σε ισχύ ανά τύπο πλοίου	38
4.1.2	Εκτίμηση καταναλώσεων καυσίμων ανά τύπο μηχανής και καυσίμου	44
4.1.3	Εκτίμηση εκπομπών αέριων ρύπων ανά τύπο μηχανής και καυσίμου.....	46
4.2	Σταθμός Ακτοπλοΐας.....	52
4.2.1	Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Ακτοπλοΐας, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια	52
4.2.2	Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας	53
4.2.3	Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας	53
4.2.4	Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας	56
4.3	Σταθμός Κρουαζιέρας.....	59
4.3.1	Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Κρουαζιέρας, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια	59
4.3.2	Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Κρουαζιέρας	59
4.3.3	Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Κρουαζιέρας	61
4.3.4	Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Κρουαζιέρας.....	62
4.4	Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων.....	63
4.4.1	Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια.....	63
4.4.2	Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων	63
4.4.3	Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων	63
4.4.4	Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων	64
4.5	Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων.....	65
4.5.1	Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια.....	65
4.5.2	Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων	66
4.5.3	Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων	66
4.5.4	Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων.....	68
5.	Cold Ironing	70
5.1	Εισαγωγή.....	70
5.2	Ανάλυση SWOT.....	70
5.3	Διεθνή Πρότυπα για την εφαρμογή του Cold Ironing.....	73
5.3.1	Πρόταση 2006/339/EC	73
5.3.2	Πρότυπα ISO/IEC/IEEE 80005	74
5.4	Τοπολογίες συστήματος	75
5.5	Εξοπλισμός συστήματος	80
5.5.1	Εξοπλισμός ακτής	80
5.5.2	Εξοπλισμός πλοίου	84
6.	Cold Ironing - Εφαρμογή στους Λιμενικούς Σταθμούς Πειραιά	86

6.1	Περιγραφή τεχνικής σχεδίασης της εγκατάστασης	86
6.2	Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας.....	89
6.3	Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Κρουαζιέρας.....	100
6.4	Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων.....	107
6.5	Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων.....	112
6.6	Κοστολόγηση (εγκατάσταση - λειτουργία - συντήρηση) - Μεριά ακτής.....	121
6.7	Κοστολόγηση (εγκατάσταση-λειτουργία-συντήρηση) - Μεριά πλοίου.....	125
6.8	Εκτίμηση ωφελειών για την ακτή	127
6.9	Εκτίμηση ωφελειών για το πλοίο	130
6.10	Αξιολόγηση της επένδυσης	131
7.	Ενεργειακό μείγμα και δυνατότητες μείωσης εκπομπών αέριων ρύπων μέσω της ηλεκτροπαραγωγής.....	135
8.	Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις.....	138
	Βιβλιογραφία.....	140

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Οι θαλάσσιες μεταφορές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της οικονομίας των περισσότερων χωρών και ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ελλάδα, όπου λόγω της σημαντικής γεωπολιτικής θέσης που κατέχει, αυτές πραγματοποιούνται με αυξημένη συχνότητα. Τα οφέλη όμως που πηγάζουν από τη συνεχή και ευρεία θαλάσσια κυκλοφορία συνοδεύονται από αρνητικές επιπτώσεις, οι οποίες σε επίπεδο λιμένων προκαλούνται κυρίως από τα πλοία που ελλιμενίζονται σε αυτούς.

Οι παραπάνω αρνητικές συνέπειες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: α) στις περιβαλλοντικές, που σχετίζονται με την αλλοίωση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής στην ευρύτερη περιοχή του λιμένος και β) στις οικονομοτεχνικές που σχετίζονται με την κατανάλωση συγκεκριμένων και πεπερασμένων ενεργειακών πόρων (π.χ. καύσιμα ΗFO, ΜDΟ) αντί χρήσης άλλης εναλλακτικής μορφής ενέργειας, όπως για παράδειγμα χρήση ΑΠΕ. Οι δύο αυτές κατηγορίες αρνητικών συνεπειών οφείλονται στην ανάγκη των ελλιμενιζόντων πλοίων να συνεχίσουν να λειτουργούν τις μηχανές τους εντός λιμένος (και άρα εντός αστικού ιστού) προκειμένου να εξυπηρετούν βασικές και απαραίτητες λειτουργίες τους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εξέταση της λύσης της ηλεκτρικής τροφοδότησης από την ακτή (Cold Ironing ή Onshore Power Supply ή Shore-Side Electricity) ως τρόπου αντιμετώπισης των αρνητικών επιπτώσεων που αναφέρθηκαν. Στο πλαίσιο αυτής θα διερευνηθεί η βέλτιστη τοπολογία εγκατάστασης του εξοπλισμού και οι ωφέλειες που προκύπτουν για τον κάθε Λιμενικό Σταθμό και συνολικά για την ακτή, αλλά και για το αντίστοιχο τυπικό πλοίο. Η παραπάνω λύση θα εξεταστεί για την περίπτωση του Επιβατικού Λιμένα (Σταθμός Ακτοπλοΐας, Σταθμός Κρουαζιέρας) και του Εμπορικού Λιμένα (Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων, Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων) Πειραιά.

1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Το 1^ο Κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται ο σκοπός και η διάρθρωση αυτής. Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι πλοίων, τα βασικά και βοηθητικά συστήματά τους και γίνεται αναφορά στους κανονισμούς και στην Ευρωπαϊκή Νομοθεσία που σχετίζεται με τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι Λιμενικοί Σταθμοί του Επιβατικού και Εμπορικού Λιμένα Πειραιά και δίνονται βασικές πληροφορίες για αυτούς. Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στους εξεταζόμενους Λιμενικούς Σταθμούς ως προς την απαίτηση σε ενέργεια και κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές

αέριων ρύπων. Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο Cold Ironing, παρουσιάζονται οι σχετικές προδιαγραφές και κανονισμοί, καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε μια τυπική εγκατάσταση. Στο 6^ο Κεφάλαιο επιλέγεται η τοπολογία και αποτυπώνεται η προτεινόμενη εγκατάσταση σε κάθε Λιμενικό Σταθμό. Στη συνέχεια ακολουθεί η κοστολόγηση της εγκατάστασης και η εκτίμηση των ωφελειών τόσο για τη μεριά της ακτής όσο και για τη μεριά του αντίστοιχου τυπικού πλοίου και η αξιολόγηση της επένδυσης συνολικά από τη μεριά της ακτής. Στο 7^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η διαχρονική εξέλιξη του ενεργειακού μείγματος στην Ελλάδα. Τέλος, στο 8^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις των συστημάτων που αναλύθηκαν.

2. Ναυτιλία – Αέριοι ρύποι ναυτικών κινητήρων – Σχετική νομοθεσία

2.1 Βασικοί τύποι πλοίων

2.1.1 Επιβατικά πλοία (Passenger ferries)

Τα επιβατικά πλοία είναι τα συνήθη πλοία των ακτοπλοϊκών γραμμών, με δυνατότητα μεταφοράς μόνο επιβατών (Ferry Pax only) ή και οχημάτων/φορτηγών (E/Γ-O/Γ, Ro-Pax). Το πλήθος επιβατών και πληρώματος είναι μικρότερο από αυτό των κρουαζιερόπλοιων. Τα παλαιότερα επιβατικά πλοία διαθέτουν συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης (direct-drive) ή μετάδοσης κίνησης (geared-drive) ή ατμού (steam powered), ενώ τα πιο σύγχρονα διαθέτουν συστήματα πρόωσης υβριδικής τεχνολογίας (diesel/electric). Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 17-20 knots.

2.1.2 Κρουαζιερόπλοια (Cruise ships)

Τα κρουαζιερόπλοια (όπως γίνεται εμφανές από την ονομασία τους) χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για κρουαζιέρες και επομένως διαθέτουν πολυτελείς υποδομές (καμπίνες, χώροι συγκέντρωσης κοινού, εστιατόρια, κτλ) οι οποίες οδηγούν κατ' επέκταση σε μεγαλύτερες απαιτήσεις παροχής ισχύος. Το μέγεθος τους ποικίλει, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις πρόκειται για ογκώδη πλοία με δυνατότητες μεταφοράς που μπορεί να ξεπεράσουν τους 3.500 επιβάτες και τα 1.300 μέλη πληρώματος. Τα παλαιότερα κρουαζιερόπλοια διαθέτουν συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης (direct-drive) ή μετάδοσης κίνησης (geared-drive) ή ατμού (steam powered), ενώ τα πιο σύγχρονα διαθέτουν συστήματα πρόωσης υβριδικής τεχνολογίας (diesel/electric). Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 18-21 knots.

2.1.3 Οχηματαγωγά πλοία (Vehicle carriers)

Τα οχηματαγωγά πλοία είναι εξειδικευμένα πλοία τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αποκλειστικά ελαφρού και μεσαίου τύπου οχημάτων. Συνεπώς διαθέτουν όλα τα απαραίτητα συστήματα για τη διαχείριση του φορτίου που μεταφέρουν, όπως μηχανοκίνητες ράμπες και συστήματα εξαερισμού. Τα οχηματαγωγά πλοία χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης. Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 17-20 knots.

2.1.4 Πλοία Roll On - Roll Off (Ro-Ro) και Roll On - Roll Off / Passengers (Ro-Pax)

Τα πλοία Roll-on/roll-off (Ro-Ro) είναι φορτηγά πλοία που έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν τροχοφόρα φορτία, όπως αυτοκίνητα, μοτοσικλές, φορτηγά, ημιρυμουλκούμενα φορτηγά, λεωφορεία, ρυμουλκούμενα και σιδηροδρομικά βαγόνια, που κινούνται προς και από το πλοίο με τους δικούς τους τροχούς ή χρησιμοποιώντας όχημα πλατφόρμας, όπως αυτοκινούμενο αρθρωτό μεταφορέα. Τα πλοία Ro-Ro διαθέτουν ράμπες που επιτρέπουν την αποτελεσματική κύλιση του φορτίου μέσα και έξω από το σκάφος, όταν βρίσκεται στο λιμάνι. Τα πλοία τύπου Ro-Ro είναι παρόμοια με τα οχηματαγωγά πλοία, με τη διαφορά ότι μπορούν να μεταφέρουν ογκωδέστερο και βαρύτερο εξοπλισμό. Σημειώνεται ότι τα Ro-Ro που διαθέτουν και εγκαταστάσεις φιλοξενίας επιβατών αναφέρονται ως Ro-Pax. Τα Ro-Ro χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης. Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 16-19 knots.

2.1.5 Πλοία μεταφοράς ευπαθών προϊόντων (Reefers)

Τα πλοία μεταφοράς ευπαθών προϊόντων απαιτούν ισχύ για τη ψύξη του φορτίου που μεταφέρουν το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο σε παλέτες κάτω από το κατάστρωμα ή εντός κλιματιζόμενων εμπορευματοκιβωτίων. Τα reefers (refrigerated vessels) χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης. Οι τυπικές ταχύτητες κυμαίνονται στο διάστημα 16-21 knots.

2.1.6 Πλοία μεταφοράς ξηρών χύδην προϊόντων (Dry bulk carriers)

Τα πλοία μεταφοράς ξηρών χύδην προϊόντων διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα (που διατηρούνται κλειστά κατά τη διάρκεια του ταξιδιού) μέσω των οποίων φορτώνεται/ξεφορτώνεται το φορτίο που μεταφέρουν (κάρβουνο, αλάτι, ζάχαρη, γύψος, κ.α.). Το φορτίο μπορεί να διακινηθεί μέσω των εγκατεστημένων ταινιοδρόμων και χροανών που διαθέτουν. Τα dry bulk carriers χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης. Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 13-15 knots.

2.1.7 Πλοία μεταφοράς γενικών φορτίων (General cargo ships)

Τα πλοία μεταφοράς γενικών φορτίων είναι παρόμοια με αυτά της μεταφοράς ξηρών χύδην προϊόντων, αφού και αυτά διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα για τη φόρτωση/ξεφόρτωση του φορτίου τους. Τα περισσότερα πλοία αυτού του τύπου χρησιμοποιούν γερανούς για την διαχείριση του

φορτίου που μεταφέρουν. Τα general cargo ships χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης. Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 13-16 knots.

2.1.8 Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container ships)

Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι ειδικά σχεδιασμένα πλοία για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων μήκους 20 και 40 ποδιών. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες αναλόγως των περιοχών που εξυπηρετούν: α) τα feeders, τα οποία δραστηριοποιούνται μόνο εντός της ίδιας ηπείρου, με μήκος περίπου μέχρι 140 m και β) τα deep sea container vessels, τα οποία δραστηριοποιούνται συνήθως μεταξύ διαφορετικών ηπείρων, με μήκος που συνήθως ξεπερνά τα 140 m. Αυτά τα πλοία ταξινομούνται αναλόγως του πλήθους TEUs (Twenty-foot equivalent unit) που μεταφέρουν, με την αντίστοιχη χωρητικότητα να κυμαίνεται από 1.000 TEUs μέχρι 13.000 TEUs. Εξαιτίας του αποδοτικού τρόπου μεταφοράς αγαθών μέσω πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, αναμένεται η κίνηση των συγκεκριμένων πλοίων να αυξηθεί στα έτη που θα ακολουθήσουν. Τα container ships χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης. Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 18-26 knots.

2.1.9 Δεξαμενόπλοια (Tankers)

Τα δεξαμενόπλοια χρησιμοποιούν δεξαμενές για την αποθήκευση του φορτίου που μεταφέρουν. Αυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες αναλόγως του φορτίου που μεταφέρουν: α) δεξαμενόπλοια χημικών (chemical tankers), β) δεξαμενόπλοια υγροποιημένων αερίων (liquefied gas tanker), γ) δεξαμενόπλοια πετρελαιοειδών (oil tanker). Επίσης ταξινομούνται αναλόγως του νεκρού βάρους που μεταφέρουν (DWT – deadweight tonnage), το οποίο ισούται με το συνολικό βάρος όλων των μεταφερόμενων υλικών, συμπεριλαμβανομένων καυσίμων, προμηθειών, κτλ. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 10.000 DWTs μέχρι 300.000 DWTs. Για την εκτίμηση των εκπομπών αέριων ρύπων των δεξαμενόπλοιων, αυτά κατατάσσονται ως προς το φορτίο που μεταφέρουν (χημικά, πετρελαιοειδή, κ.α.). Τα tankers χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης. Οι τυπικές ταχύτητες αυτών των πλοίων κυμαίνονται στο διάστημα 12-15 knots.

2.2 Παγκόσμιος στόλος

Σύμφωνα με το Equasis (πληροφοριακό σύστημα που ιδρύθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τη Γαλλική Ναυτιλιακή Διοίκηση και συλλέγει πληροφορίες σχετικά με την ασφάλεια πλοίων από δημόσιες και ιδιωτικές πηγές), ο παγκόσμιος στόλος το 2021 αριθμούσε 118.928 σκάφη, με 63.545 από αυτά να έχουν μέγεθος μεγαλύτερο των 500 GT. Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται το συνολικό πλήθος και η ολική χωρητικότητα σε GT (Gross Tonnage) των σκαφών του παγκόσμιου στόλου ταξινομημένο ανά τύπο και μέγεθος.

Τύπος σκάφους	Μέγεθος σκάφους								Συνολικά	
	GT<500		500≤GT<25.000		25.000≤GT<60.000		GT≥60.000			
General Cargo Ships	4.089	7,38%	11.814	27,00%	264	2,06%	-	-	16.167	13,59%
Specialized Cargo Ships	8	0,01%	266	0,61%	64	0,50%	7	0,10%	345	0,29%
Container Ships	19	0,03%	2.315	5,29%	1.629	12,73%	1.554	22,21%	5.517	4,64%
Ro-Ro Cargo Ships	39	0,07%	601	1,37%	549	4,29%	268	3,83%	1.457	1,23%
Bulk Carriers	286	0,52%	3.847	8,79%	6.842	53,46%	1.899	27,14%	12.874	10,83%
Oil and Chemical Tankers	1.979	3,57%	7.372	16,85%	2.773	21,67%	2.185	31,23%	14.309	12,03%
Gas Tankers	36	0,07%	1.145	2,62%	433	3,38%	591	8,45%	2.205	1,85%
Other Tankers	437	0,79%	741	1,69%	16	0,13%	-	-	1.194	1,00%
Passenger Ships	3.435	6,20%	825	1,89%	71	0,55%	187	2,67%	4.518	3,80%
Offshore Vessels	2.812	5,08%	5.135	11,74%	119	0,93%	298	4,26%	8.364	7,03%
Service Ships	3.197	5,77%	2.994	6,84%	35	0,27%	7	0,10%	6.233	5,24%
Tugs	18.860	34,05%	933	2,13%	-	-	-	-	19.793	16,64%
Fishing Vessels	20.186	36,45%	5.762	13,17%	4	0,03%	-	-	25.952	21,82%
Συνολικά	55.383	100%	43.750	100%	12.799	100%	6.996	100%	118.928	100%

Πίνακας 1. Παγκόσμιος στόλος: Συνολικό πλήθος σκαφών ανά τύπο και μέγεθος GT [28].

Τύπος σκάφους	Μέγεθος σκάφους								Συνολικά	
	GT<500		500≤GT<25.000		25.000≤GT<60.000		GT≥60.000			
General Cargo Ships	1.429	10,40%	52.877	22,38%	8.897	1,85%	-	-	63.203	4,27%
Specialized Cargo Ships	3	0,02%	2.119	0,90%	2.519	0,52%	510	0,07%	5.151	0,35%
Container Ships	8	0,06%	27.671	11,71%	60.771	12,62%	177.442	23,72%	265.892	17,97%
Ro-Ro Cargo Ships	12	0,09%	6.089	2,58%	26.117	5,42%	18.042	2,41%	50.260	3,40%
Bulk Carriers	116	0,84%	56.626	23,96%	256.861	53,35%	195.576	26,14%	509.179	34,41%
Oil and Chemical Tankers	637	4,63%	45.008	19,05%	97.244	20,20%	232.331	31,05%	375.220	25,36%
Gas Tankers	14	0,10%	7.265	3,07%	18.905	3,93%	66.514	8,89%	92.698	6,26%

Other Tankers	131	0,95%	2.110	0,89%	465	0,10%	-	-	2.706	0,18%
Passenger Ships	851	6,19%	2.688	1,14%	2.877	0,60%	21.395	2,86%	27.811	1,88%
Offshore Vessels	789	5,74%	15.469	6,55%	5.456	1,13%	35.458	4,74%	57.172	3,86%
Service Ships	774	5,63%	9.683	4,10%	1.255	0,26%	952	0,13%	12.664	0,86%
Tugs	4.583	33,34%	812	0,34%	-	-	-	-	5.395	0,36%
Fishing Vessels	4.398	32,00%	7.892	3,34%	142	0,03%	-	-	12.432	0,84%
Συνολικά	13.745	100%	236.309	100%	481.509	100%	748.220	100%	1.479.783	100%

Πίνακας 2. Παγκόσμιος στόλος: Συνολικό Gross Tonnage σκαφών (σε 1000 GT) ανά τύπο και μέγεθος [28].

Κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού τους, τα παραπάνω σκάφη απαιτούν ηλεκτρική ισχύ για την κάλυψη βασικών λειτουργιών τους (παρ. 2.3.4), η οποία μπορεί να κυμαίνεται από λίγα kW για τα μικρότερα σκάφη, μέχρι και αρκετά MW για τα μεγαλύτερα κρουαζιερόπλοια). Η παραπάνω απαιτούμενη ισχύς κατά τον ελλιμενισμό παρέχεται από βοηθητικές γεννήτριες, οι οποίες συνεχίζουν να λειτουργούν κατά τη διάρκεια ελλιμενισμού των σκαφών για την κάλυψη των αναγκών.

2.3 Συστήματα πρόωσης και βοηθητικά συστήματα πλοίων

2.3.1 Τύποι ναυτικών κινητήρων

Οι ναυτικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας με σκοπό την πρόωση του πλοίου και την εξυπηρέτηση των βοηθητικών λειτουργιών. Οι βασικοί τύποι ναυτικών κινητήρων δίνονται παρακάτω:

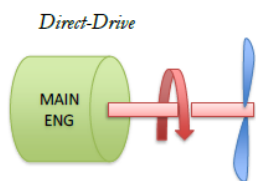
- Κινητήρες Πετρελαίου. Αυτοί χρησιμοποιούν καύσιμο (Diesel Oil, Heavy Fuel Oil, Marine Gas Oil, κ.α.) για τη λειτουργία τους και χωρίζονται σε κινητήρες χαμηλών στροφών (80 – 140 RPM), μεσαίων στροφών (140 – 900 RPM) και υψηλών στροφών (άνω των 900 RPM).
- Κινητήρες αμοστροβίλου. Σε αυτό τον τύπο κινητήρων η κίνηση μεταδίδεται μέσω περιστροφής αμοστροβίλου ο οποίος τροφοδοτείται με ατμό από τον λέβητα. Δεν συναντώνται συχνά πλέον, αφού έχουν σχεδόν αντικατασταθεί από τους αποδοτικότερους κινητήρες πετρελαίου.
- Κινητήρες αεριοστροβίλου. Σε αυτό τον τύπο κινητήρων η κίνηση μεταδίδεται μέσω περιστροφής αεριοστροβίλου. Συναντάται συνήθως σε πολεμικά πλοία και πολύ σπάνια σε εμπορικά ή επιβατικά.

2.3.2 Συστήματα πρόωσης πλοίων

Το σύστημα πρόωσης παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση του πλοίου μέσω των κινητήρων πρόωσης. Τα 4 συνηθέστερα συστήματα πρόωσης είναι τα εξής: α) Άμεσης κίνησης, β)

Μετάδοσης κίνησης, γ) Υβριδικής τεχνολογίας (Diesel/Electric), δ) Ατμού και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

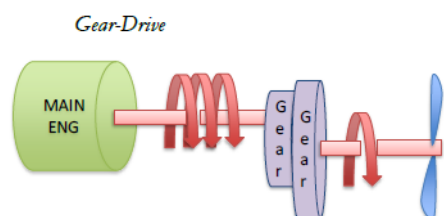
Άμεσης κίνησης



Εικόνα 1. Σύστημα πρόωσης άμεσης κίνησης [69].

Πρόκειται συνήθως για κινητήρα υψηλής απαίτησης ισχύος και χαμηλών στροφών, που συνδέεται απευθείας με τον άξονα της προπέλας. Το συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης συναντάται συνήθως σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, χύδην φορτίου, ψυγείων και σε Ro/Ros.

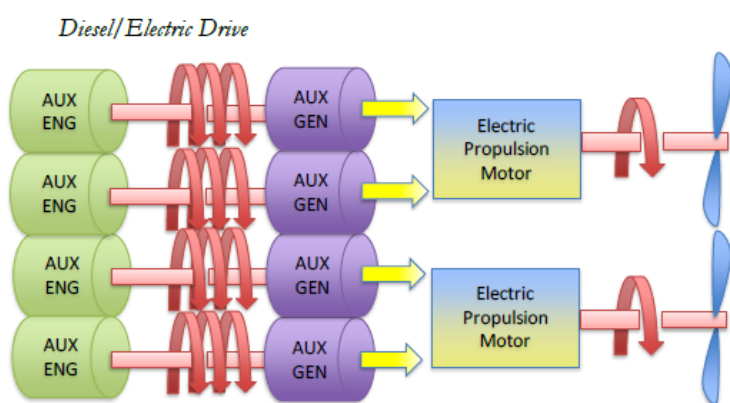
Μετάδοσης κίνησης



Εικόνα 2. Σύστημα πρόωσης μετάδοσης κίνησης [69].

Πρόκειται συνήθως για κινητήρα υψηλής έως μεσαίας απαίτησης ισχύος και μεσαίων στροφών, που συνδέεται μέσω κιβωτίου μείωσης ταχύτητας περιστροφής με τον άξονα της προπέλας, στον οποίο μεταδίδει την κίνηση.

Υβριδικής τεχνολογίας (Diesel/Electric)

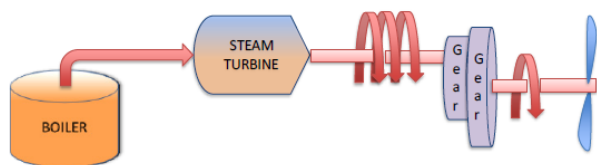


Εικόνα 3. Σύστημα πρόωσης υβριδικής τεχνολογίας (Diesel/Electric) [69].

Σε αυτό το σύστημα υβριδικής τεχνολογίας, ένας ή περισσότεροι κινητήρες καυσίμου (υψηλής έως μεσαίας απαίτησης ισχύος και μεσαίων στροφών) συνδέονται με ισάριθμες γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίες παράγουν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία ηλεκτρικών κινητήρων πρόωσης, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με τους άξονες των προπελών. Το συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης συναντάται συνήθως σε κρουαζιερόπλοια, σε επιβατηγά πλοία, σε δεξαμενόπλοια και σε άλλους τύπους πλοίων.

Ατμού

Steam Gear-Drive

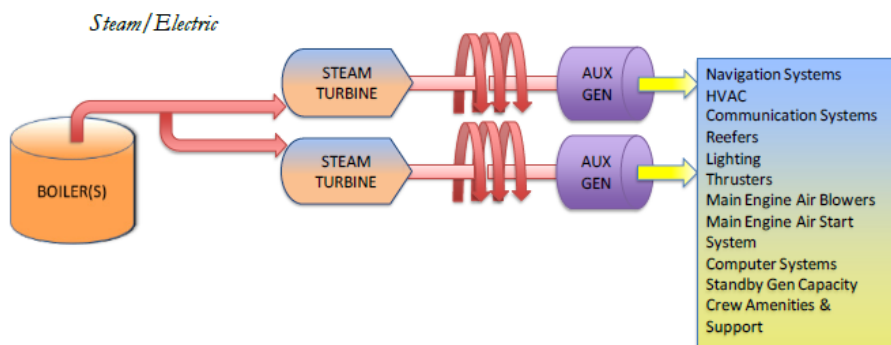


Εικόνα 4. Σύστημα πρόωσης ατμού [69].

Σε αυτό το σύστημα γίνεται χρήση λεβήτων υψηλής έως μεσαίας ισχύος για την παραγωγή ατμού και την περιστροφή ατμοστρόβιλου. Ο ατμοστρόβιλος συνδέεται μέσω κιβωτίου μείωσης ταχύτητας περιστροφής με τον άξονα της προπέλας, στον οποίο μεταδίδει την κίνηση.

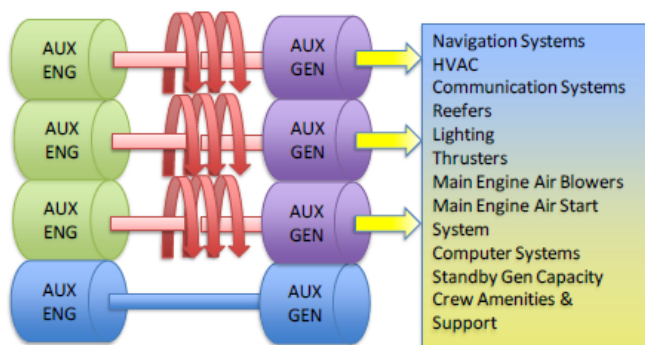
2.3.3 Βοηθητικά συστήματα παραγωγής ισχύος πλοίων

Τα βοηθητικά συστήματα ενός πλοίου παρέχουν την απαραίτητη ισχύ και για την εξυπηρέτηση των αναγκών των συστημάτων του πλοίου (πλην πρόωσης), του προσωπικού του πλοίου και των επιβατών. Σημειώνεται ότι η παραπάνω ισχύς υπολογίζεται υπερδιαστασιοποιημένη, μέσω συντελεστή ασφαλείας, έναντι αστοχίας. Συνήθως πλοία που χρησιμοποιούν για την πρόωσή τους συστήματα άμεσης και μετάδοσης κίνησης, χρησιμοποιούν υβριδικής τεχνολογίας (diesel/electric) βοηθητικά συστήματα, ενώ τα ατμοκίνητα χρησιμοποιούν μικρότερο ατμοστρόβιλο ο οποίος τροφοδοτείται μέσω απομάστευσης ατμού από τον κεντρικό λέβητα. Τα πλοία που χρησιμοποιούν σύστημα πρόωσης υβριδικής τεχνολογίας, χρησιμοποιούν το ίδιο σύστημα για την πρόωση και για την εξυπηρέτηση των επί του πλοίου αναγκών.



Εικόνα 5. Βοηθητικό σύστημα ισχύος ατμού [69].

Diesel/Electric



Εικόνα 6. Βοηθητικό σύστημα ισχύος υβριδικής τεχνολογίας (diesel/electric) [69].

Δεδομένου ότι στην παρούσα εργασία δεν εξετάζουμε πλοία που κινούνται με ατμοστρόβιλο, θα ασχοληθούμε στη συνέχεια μόνο με το βοηθητικό σύστημα ισχύος υβριδικής τεχνολογίας (diesel/electric).

2.3.4 Βασικές λειτουργίες πλοίου

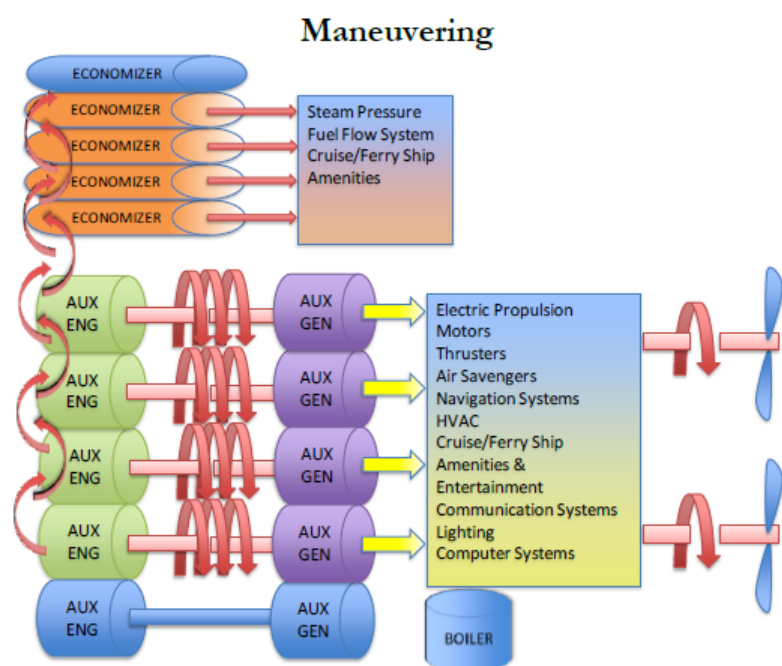
Οι λειτουργίες ενός πλοίου που απαιτούν ενέργεια και σχετίζονται με εκπομπές αέριων ρύπων είναι οι εξής: α) Πλευση, β) Ελιγμοί εντός λιμένος, γ) Ελλιμενισμός. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τις λειτουργίες που συντελούνται εντός λιμένος.

Ελιγμοί εντός λιμένος (Maneuvering)

Κατά τη φάση των ελιγμών το πλοίο βρίσκεται κοντά ή μέσα στο λιμάνι προορισμού/αναχώρησης. Η διάρκεια και το συνολικό μήκος τους εξαρτάται από τη διαμόρφωση και θέση κάθε λιμανιού. Κατά τη διάρκεια της φάσης ελιγμών λαμβάνουν χώρα τα παρακάτω:

- Το πλοίο κινείται στις χαμηλότερες τιμές ταχύτητας.
- Οι κινητήρες πρόωσης λειτουργούν στη χαμηλότερη ισχύ τους
- Οι βοηθητικοί κινητήρες λειτουργούν στη μέγιστη ισχύ τους.
- Οι βοηθητικοί λέβητες λειτουργούν γιατί οι εξοικονομητές (economizers) δεν λειτουργούν λόγω λειτουργίας των κινητήρων πρόωσης σε χαμηλή ισχύ. Εξάιρεση αποτελούν τα μεγάλα πλοία με υβριδικό diesel/electric σύστημα πρόωσης, το οποίο παράγει αρκετή θερμότητα καυσαερίων για την τροφοδοσία των εξοικονομητών κατά τη φάση ελιγμών.
- Η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρή για το σύστημα πρόωσης και τους βοηθητικούς λέβητες και υψηλή για τα βοηθητικά συστήματα.

Η λειτουργία των βοηθητικών συστημάτων παραγωγής ισχύος και οι βοηθητικές λειτουργίες που επιτελούνται κατά τη φάση των ελιγμών δίνονται σχηματικά στην Εικόνα 7:



Εικόνα 7. Βοηθητικές λειτουργίες κατά τη φάση ελιγμών [69].

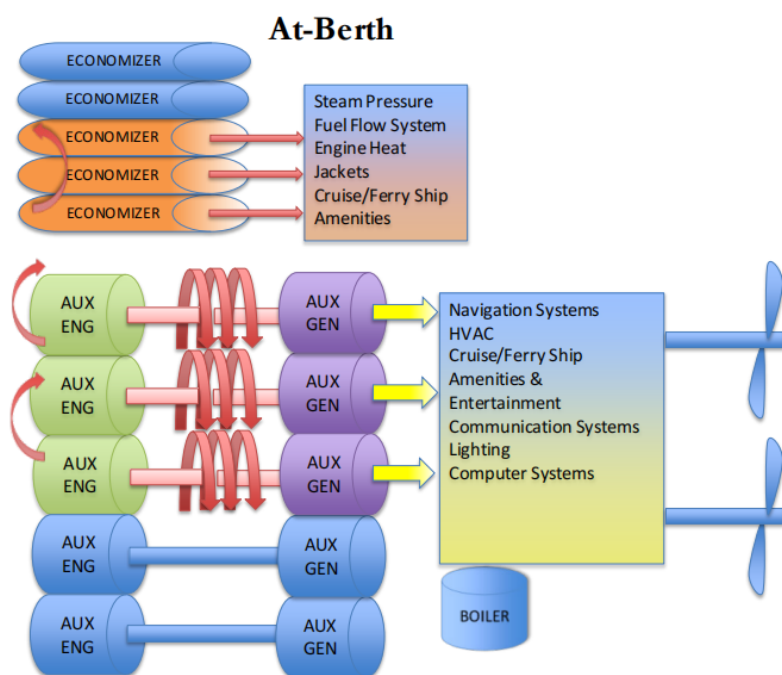
Ελλιμενισμός (Hotelling)

Κατά τη φάση του ελλιμενισμού το πλοίο βρίσκεται προσαραγμένο ή αγκυροβολημένο και δεν κινείται. Κατά τη διάρκεια της φάσης ελλιμενισμού λαμβάνουν χώρα τα παρακάτω:

- Οι βοηθητικοί κινητήρες ακολουθούν συνήθως κάποιο load factor, αλλά ενδέχεται να λειτουργούν και σε μεγάλη ισχύ, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεταφόρτωσης φορτίων.
- Οι βοηθητικοί λέβητες λειτουργούν στην τυπική ισχύ τους προκειμένου να διατηρούν ζεστό το σύστημα πρόωσης και το σύστημα καυσίμου (για την περίπτωση έκτακτου απόπλου), αλλά και τα συστήματα φιλοξενίας (π.χ. παροχή ζεστού νερού).
- Η κατανάλωση καυσίμου είναι μεσαία προς υψηλή για τα βοηθητικά συστήματα και λέβητες.

Η λειτουργία των βοηθητικών συστημάτων παραγωγής ισχύος και οι βοηθητικές λειτουργίες που επιτελούνται κατά τη φάση του ελλιμενισμού δίνονται σχηματικά στην Εικόνα 8. Οι βοηθητικές λειτουργίες που πραγματοποιούνται κατά τον ελλιμενισμό:

- Λειτουργία αντλιών (ballast, καυσίμου, γενικές χρήσεις), συμπιεστών και υδραυλικών συστημάτων.
- Κλιματισμός / εξαερισμός χώρων (δωμάτια, μηχανοστάσιο).
- Αντλίες λέβητα, πόσιμου / θαλασσινού νερού, οικονομητήρες, μηχανισμός διεύθυνσης).
- Λειτουργίες που σχετίζονται με διαχείριση μεταφερόμενων φορτίων κατά την φορτοεκφόρτωση: χρήση γερανών, αντλιών, κτλ.
- Πλοήγηση και εξοπλισμός ασύρματης επικοινωνίας.
- Λειτουργίες έκτακτης ανάγκης και συστημάτων ασφαλείας (π.χ. αντλίες πυρόσβεσης, αυτόματη πυρανίχνευση και πυρόσβεση, συναγερμός, μεγαφωνική εγκατάσταση).
- Φωτισμός και λοιπές υπηρεσίες κατά την παραμονή πληρώματος/επισκεπτών στο σκάφος.



Εικόνα 8. Βοηθητικές λειτουργίες κατά τη φάση ελλιμενισμού [69].

2.4 Επίπεδο τάσης και συχνότητα

Από τον Πίνακα 3 είναι εμφανές ότι οι περισσότεροι τύποι πλοίων απαιτούν χαμηλή τάση (380 V ÷ 460 V), ενώ μόνο τα μεγάλα κρουαζιερόπλοια (>200 m) και ορισμένα μεγάλα container ships (>140 m) απαιτούν υψηλή τάση (6,6 kV, 10 kV, 11 kV). Οι εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης LVSC προδιαγράφονται στο πρότυπο PD IEC/PAS 80005-3, ενώ οι εγκαταστάσεις υψηλής τάσης HVSC στο πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-1, όπως θα αναλυθεί και στο Κεφάλαιο 5.

Τύπος πλοίου	LVSC: Low Voltage Shore Connection					HVSC: High Voltage Shore Connection			Συχνότητα	
	380 V	400 V	440 V	450 V	460 V	6,6 kV	10 kV	11 kV	50 Hz	60 Hz
Cruise ships (<200 m)	14%	18%	59%	9%					36%	64%
Cruise ships (>200 m)			12%			48%	4%	36%		100%
Cruise ships (total)	6%	9%	34%	4%		26%	2%	19%	17%	83%
Ferry-RoPax vessel		30%	20%	43%	7%				30%	70%
RoRo vessel		30%	20%	43%	7%				30%	70%
Vehicle carriers		30%	20%	43%	7%				30%	70%
Container ships (<140 m)	42%	16%	42%						63%	37%
Container ships (>140 m)	6%	79%	3%			12%			6%	94%
Container ships (total)	19%	6%	64%	2%		9%			26%	74%

Πίνακας 3. Επίπεδο τάσης και συχνότητα κατά τον ελλιμενισμό ανά τύπο πλοίου [29].

Είναι επίσης εμφανές ότι η πλειοψηφία των πλοίων (πλην των container ships μήκους <140 m) απαιτεί συχνότητα 60 Hz. Με γνώμονα όμως την εξυπηρέτηση όλων των πλοίων, θα υπολογιστεί εγκατάσταση διάταξης μετατροπής της συχνότητας από 50 Hz σε 60 Hz μέσω στατικών μετατροπέων συχνότητας (αντί περιστρεφόμενων), κυρίως λόγω των παρακάτω λόγων:

- Προτιμώνται σε εφαρμογές Cold Ironing.
- Έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε χώρο.
- Δεν διαθέτουν κινούμενα μέρη και ως εκ τούτου παρουσιάζουν μικρότερες ανάγκες σε συντήρηση και υψηλότερη αξιοπιστία.
- Η ποιότητα της ισχύος μπορεί να παρακολουθείται αρτιότερα (παρακολούθηση αρμονικών, άεργου ισχύος, αντίθετη ροή φορτίου) μέσω των ηλεκτρονικών ισχύος που διαθέτουν (transistors ή thyristors).
- Παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης.
- Παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία στον σχεδιασμό και δυνατότητες προσαρμογής σε μελλοντική τροποποίηση του συστήματος.

2.5 Αέριοι ρύποι ναυτικών κινητήρων

Παρακάτω δίνεται περιγραφή των συνηθέστερων εκπεμπόμενων αέριων ρύπων που παράγονται κατά τη λειτουργία των ναυτικών κινητήρων:

- Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂): Το CO₂ παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων και αποτελεί τον πιο επικίνδυνο και πιο συχνά παραγόμενο αέριο ρύπο (όπως εξάγεται και από τα διαγράμματα του Κεφαλαίου 4), ο οποίος αποτελεί τον κύριο παράγοντα για την εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου, την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και γενικότερα για την κλιματική αλλαγή που βρίσκεται σε εξέλιξη. Μαζί με το μεθάνιο (CH₄) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) αποτελούν τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου (GHGs)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): Το CO είναι ένα άχρωμο, άοσμο, τοξικό αέριο που σχηματίζεται κατά την ατελή καύση των ορυκτών καυσίμων. Το CO από τη στιγμή που εισέλθει στον ανθρώπινο οργανισμό, μπορεί να αντιδράσει με την αιμοσφαιρίνη του αίματος πολύ πιο γρήγορα από το οξυγόνο, με αποτέλεσμα την ελλιπή οξείδωση των ιστών και ως εκ τούτου την πρόκληση δυσλειτουργιών στο κεντρικό νευρικό σύστημα οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν από πονοκεφάλους και δυσκολία στην αναπνοή, μέχρι την απώλεια αισθήσεων.
- Αιθάλη (BC): Η αιθάλη (BC: Black Carbon) είναι ένα αερόλυμα που αποτελείται από μικρού μεγέθους μαύρα σωματίδια, τα οποία παράγονται κατά την ατελή καύση των ορυκτών καυσίμων και μετά το CO₂ αποτελεί τον 2ο μεγαλύτερο παράγοντα της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής (Bond et al., 2013). Ως αποτέλεσμα του σκούρου χρώματός του, το BC απορροφά μεγάλο ποσοστό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμαίνει άμεσα την ατμόσφαιρα, παρά την μικρή ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του. Όπως διαπιστώθηκε (Sand, Berntsen, Seland και Kristjánsson, 2013) το BC μπορεί να αυξήσει την επιφανειακή θερμοκρασία της Αρκτικής 5 φορές περισσότερο σε σχέση με την αύξηση που προκαλεί σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Για αυτό τον λόγο η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο τον περιορισμό των εκπομπών BC στην Αρκτική και τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών του σε αυτή την περιοχή.
- Οξειδία του Αζώτου (NO_x): Τα NO_x σχηματίζονται κατά τη διαδικασία της καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω ύπαρξης αζώτου και της οξείδωσης αυτού. Τα περισσότερα NO_x είναι άχρωμα και άοσμα και τα συνηθέστερα παραγόμενα NO_x είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Τα NO_x μπορούν να αντιδράσουν με άλλες ενώσεις στον αέρα και να σχηματίσουν μικροσκοπικά σωματίδια αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις PM. Τα NO_x μπορούν επίσης να ενωθούν με τα VOCs και το ηλιακό φως για να σχηματίσουν όζον ή αιθαλομίχλη στο επίπεδο του εδάφους. Τα NO_x και τα VOCs είναι πρόδρομες ουσίες του όζοντος. Το όζον συνδέεται με δύσπνοια, βήχα, πονόλαιμο, φλεγμονώδεις και κατεστραμμένους αεραγωγούς και μπορεί να επιδεινώσει ασθένειες των πνευμόνων όπως το άσθμα, το εμφύσημα και η χρόνια βρογχίτιδα.
- Οξειδία του Θείου (SO_x): Τα SO_x είναι μια ομάδα άχρωμων, διαβρωτικών αερίων που παράγονται κατά την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο. Σχετίζονται με ποικίλες παθήσεις του αναπνευστικού αλλά και για παθήσεις όπως ερεθισμός νεύρων στο εσωτερικό της μύτης,

του λαιμού και των αεραγωγών των πνευμόνων. Μερικά από τα SO_x μετασχηματίζονται σε θειικά σωματίδια στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις PM. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αερίου SO_x μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό όξινης βροχής με αρνητικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πρόκληση βλαβών σε δέντρα και σε φυτά καταστρέφοντας το φύλλωμα και μειώνοντας την ανάπτυξη. Ευθύνονται επίσης για διαβρώσεις επί εκτεθειμένων μεταλλικών κατασκευών.

- Αιωρούμενα σωματίδια (PM): Τα αιωρούμενα σωματίδια PM είναι διακριτά στερεά σωματίδια ή σωματίδια αερολύματος στον αέρα και διαχωρίζονται στις κατηγορίες PM₁₀ (διάμετρος μέχρι 10 μm) και PM_{2.5} (διάμετρος μέχρι 2.5 μm). Λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία καθώς μπορούν να εισέλθουν στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος, να διεισδύσουν στους πνεύμονες και στην κυκλοφορία του αίματος, με αποτέλεσμα πρόκληση καρδιαγγειακών, εγκεφαλοαγγειακών και αναπνευστικών νοσημάτων, μειωμένη πνευμονική λειτουργία, κρίσεις άσθματος, καρδιακές προσβολές και πρόωρο θάνατο. Το 2013 ταξινομήθηκαν ως αιτία καρκίνου του πνεύμονα από τον Διεθνή Οργανισμό για την Έρευνα στον Καρκίνο (IARC) του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας.
- Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs): Τα VOCs είναι οποιαδήποτε ένωση άνθρακα (εκτός από CO, CO₂, ανθρακικό οξύ, μεταλλικά καρβίδια ή ανθρακικά και ανθρακικό αμμώνιο) που συμμετέχει σε ατμοσφαιρικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Εκτός από τη συμβολή στο σχηματισμό του όζοντος, ορισμένα VOCs θεωρούνται τοξικά και μπορούν να συμβάλουν σε ένα ευρύ φάσμα δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία. Ορισμένα VOCs θεωρούνται επίσης PM.

2.6 Κανονισμοί και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

2.6.1 IMO, MARPOL, MEPC

Το 1948 η διεθνής διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών στη Γενεύη υιοθέτησε μια σύμβαση για την επίσημη ίδρυση του IMCO (Inter-Governmental Maritime Consultative Organization), ο οποίος το 1982 μετονομάστηκε σε IMO (International Maritime Organization). Η Σύμβαση του IMO τέθηκε σε ισχύ το 1958 και ο νέος Οργανισμός συνήλθε για πρώτη φορά το επόμενο έτος. Οι σκοποί του Οργανισμού, όπως συνοψίζονται στο άρθρο 1(α) της Σύμβασης, είναι «να παρέχει μηχανισμούς συνεργασίας μεταξύ των κυβερνήσεων στον τομέα των κυβερνητικών ρυθμίσεων και πρακτικών που σχετίζονται με τεχνικά θέματα κάθε είδους που επηρεάζουν τη ναυτιλία που ασκείται στο διεθνές εμπόριο, ενθαρρύνουν και διευκολύνουν τη γενική υιοθέτηση των υψηλότερων εφαρμοστέων προτύπων σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια στη θάλασσα, την αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας και την πρόληψη και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία». Ο Οργανισμός έχει επίσης την εξουσία να ασχολείται με διοικητικά και νομικά θέματα που σχετίζονται με αυτούς τους σκοπούς. Ο IMO απαριθμεί 175 χώρες μέλη μέχρι το 2021.

Το 1973 εγκρίθηκε από τον IMO η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL: Marine Pollution) η οποία τροποποιήθηκε από το σχετικό πρωτόκολλο του 1978 (MARPOL 73/78). Καλύπτει όχι μόνο την τυχαία και λειτουργική ρύπανση από πετρέλαιο αλλά και τη ρύπανση από χημικά, εμπορεύματα σε συσκευασμένη μορφή, λύματα, σκουπίδια και ατμοσφαιρική ρύπανση. Η συνδυασμένη πράξη τέθηκε σε ισχύ το 1983.

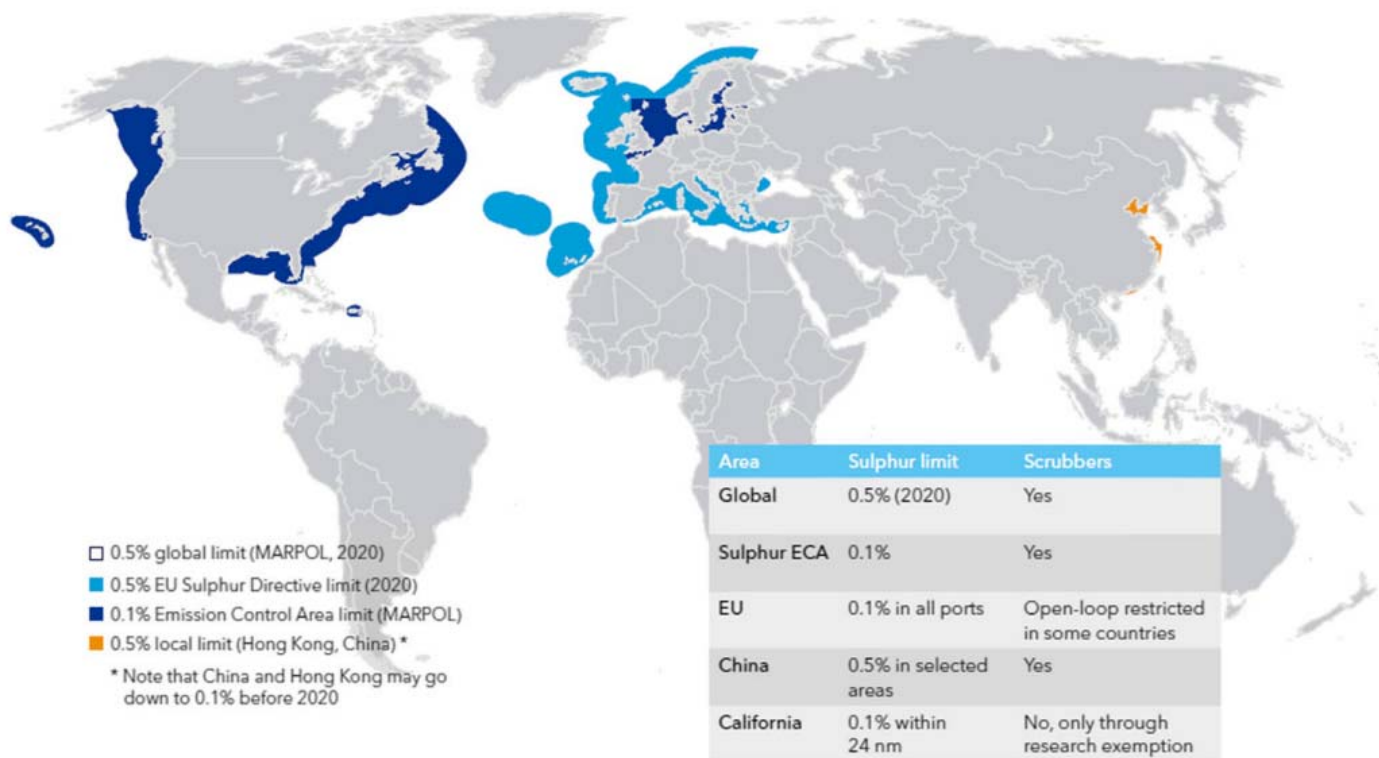
Η MARPOL έχει ενημερωθεί με τροποποιήσεις κατά τη διάρκεια των ετών. Περιλαμβάνει κανονισμούς που στοχεύουν στην πρόληψη και ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από πλοία, τόσο της τυχαίας ρύπανσης όσο και της ρύπανσης από συνήθεις λειτουργίες και περιέχει επί του παρόντος τα παρακάτω έξι τεχνικά παραρτήματα:

- Annex I Regulations for the Prevention of Pollution by Oil (entered into force 2 October 1983).
- Annex II Regulations for the Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk (entered into force 2 October 1983).
- Annex III Prevention of Pollution by Harmful Substances Carried by Sea in Packaged Form (entered into force 1 July 1992).
- Annex IV Prevention of Pollution by Sewage from Ships (entered into force 27 September 2003).
- Annex V Prevention of Pollution by Garbage from Ships (entered into force 31 December 1988).
- Annex VI Prevention of Air Pollution from Ships (entered into force 19 May 2005).

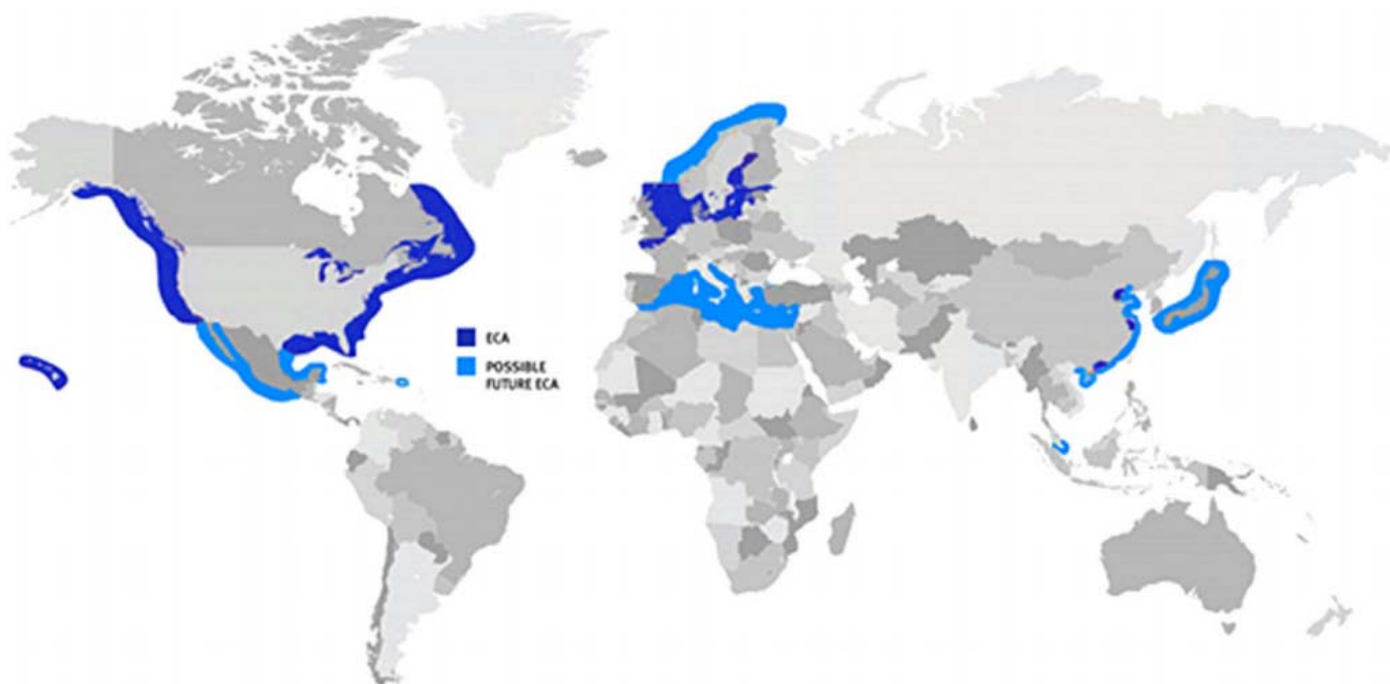
Το 1997 εγκρίθηκε ένα νέο πρωτόκολλο για την τροποποίηση της σύμβασης με το οποίο προστέθηκε ένα νέο παράρτημα VI το οποίο τέθηκε σε ισχύ το 2005. Αυτή η σημαντική αναθεώρηση απαγόρευε τις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον, περιλάμβανε αυστηρότερα όρια για τις εκπομπές οξειδίου του θείου από τα πλοία και όριζε καθορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών με αυστηρότερα όρια για τα SO_x, NO_x και τα σωματίδια (ECAs: Emission Control Areas), φέρνοντας ένα παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα ίσο με 0,50% από 1/1/2020, με την επιφύλαξη επανεξέτασης. Η επανεξέταση ολοκληρώθηκε και το χρονικό όριο του 2020 επιβεβαιώθηκε το 2016. Σημειώνεται ότι το αντίστοιχο όριο που τέθηκε στις ECA περιοχές ήταν 0,10% μέχρι 1/1/2015. Το όριο θείου που τέθηκε από την "IMO 2020" έχει αναμφισβήτητα συνεισφέρει στη σημαντική μείωση των εκπομπών οξειδίου του θείου από τα πλοία, καθώς τα πλοία άρχισαν να χρησιμοποιούν καύσιμο με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο ή εγκατέστησαν συστήματα καθαρισμού καυσαερίων προκειμένου να πληρούν τις απαιτήσεις. Επιπλέον το Παράρτημα VI επέβαλε περιορισμούς στα όρια εκπομπών NO_x από τα πλοία αναλόγως του έτους κατασκευής των μηχανών τους, οι οποίες χωρίστηκαν σε 3 κατηγορίες: Tier I (μετά τη 1/1/2000), Tier II (μετά τη 1/1/2011), Tier III (μετά τη 1/1/2016). Τα παραπάνω όρια δίνονται στον Πίνακα 14 και στην Εικόνα 11. Επίσης στις Εικόνες 9 και 11 απεικονίζονται τα όρια περιεκτικότητας καυσίμων σε θείο ανά περιοχή, ενώ στην Εικόνα 10 απεικονίζονται οι περιοχές ECA και οι πιθανώς μελλοντικές ECA.

Η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) ιδρύθηκε το 1974 και αντιμετωπίζει περιβαλλοντικά ζητήματα υπό την αρμοδιότητα του IMO. Η επιτροπή παρέχει

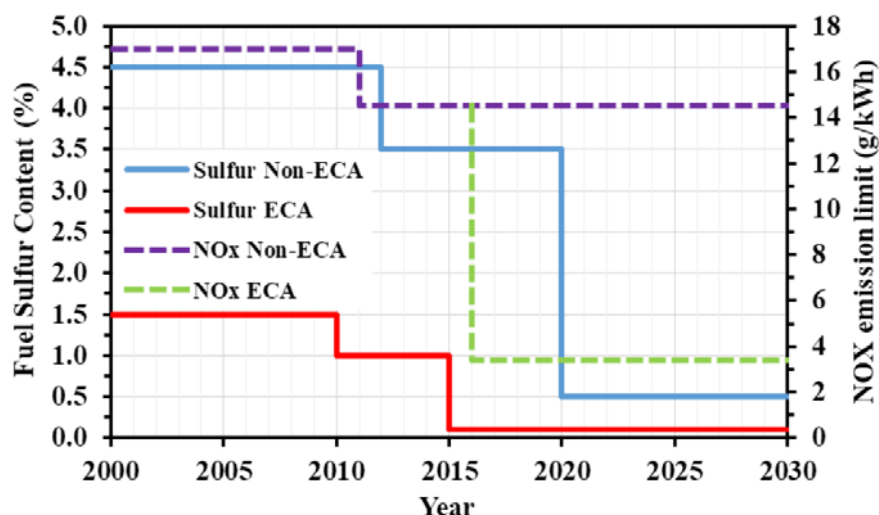
διευκρινίσεις με σκοπό την ορθή εφαρμογή της MARPOL και όπου απαιτείται τροποποιεί την σύμβαση προκειμένου αυτή να εναρμονίζεται με τα σύγχρονα τεχνολογικά πλαίσια και με τελικό σκοπό τη μείωση της λειτουργικής και τυχαίας ρύπανσης από τα πλοία. Αποτέλεσμα του παραπάνω είναι η κυκλοφορία ενοποιημένων ερμηνειών και τροποποιήσεων της αρχικής σύμβασης MARPOL.



Εικόνα 9. Όρια περιεκτικότητας καυσίμων σε θείο ανά περιοχή (MARPOL Annex VI) [MRV 2018].



Εικόνα 10. Περιοχές ECA και πιθανές μελλοντικές περιοχές ECA (MARPOL Annex VI) [Πηγή: www.kolbia.org].



Εικόνα 11. Όρια περιεκτικότητας καυσίμων σε θείο και εκπομπών NO_x σε περιοχές ECA και Non ECA και διαχρονικοί στόχοι μείωσής τους [56].

2.6.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τον περιορισμό των εκπομπών αέριων ρύπων στη ναυσιπλοΐα

Όλες οι χώρες μέλη πρέπει να τηρούν τα ελάχιστα όρια των κανονισμών του IMO. Ωστόσο, αυστηρότερα όρια μπορούν να επιβληθούν από τις ίδιες τις χώρες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει γενικά φιλόδοξη περιβαλλοντική πολιτική και στόχους που επηρεάζουν και τον θαλάσσιο τομέα.

Το 2005 δημοσιεύθηκε η Οδηγία 2005/33/ΕΚ που τροποποίησε την 1999/32/ΕΚ, η οποία ορίζει περιοχές ελέγχου των εκπομπών στη Μάγνη, τη Βόρεια Θάλασσα και τη Βαλτική Θάλασσα. Σε αυτές τις περιοχές ορίστηκε ανώτατο όριο περιεκτικότητας καυσίμων σε θείο 1,5% και τα αγκυροβολημένα ή τα ελλιμενισμένα πλοία σε οποιοδήποτε λιμάνι της ΕΕ έπρεπε να χρησιμοποιούν καύσιμο με 0,1% θείο.

Το 2012, η Οδηγία 2012/33/ΕΕ καθόρισε περαιτέρω περιορισμούς στην περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο. Επιπλέον για πρώτη φορά αναδείχθηκε η ανησυχία για την ατμοσφαιρική ρύπανση στα λιμάνια και διατυπώθηκε η σύσταση ότι: «Οι χώρες μέλη θα πρέπει να ενθαρρύνουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά, δεδομένου ότι η ηλεκτρική ενέργεια για τα σημερινά πλοία παρέχεται από βοηθητικές μηχανές.»

Το 2014 η ΕΕ ενέκρινε την Οδηγία 2014/94/ΕΕ για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων. Η Οδηγία αναφέρεται στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ως «εναλλακτικού καυσίμου», διότι χρησιμεύει ως υποκατάστατο του ορυκτού πετρελαίου στον ενεργειακό εφοδιασμό των μεταφορών και που έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στην απαλλαγή των μεταφορών από τις ανθρακούχες εκπομπές και να ενισχύσει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του εν λόγω τομέα». Επιπλέον ανέφερε ότι, η «παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά» πρέπει να παρέχεται μέσω μιας τυποποιημένης διεπαφής σε ποντοπόρα πλοία, ενθαρρύνοντας τις αρχές διαχείρισης λιμένων να συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα και ότι: «Οι χώρες μέλη πρέπει να διασφαλίσουν ότι η ανάγκη για παράκτια παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας (Inland

Waterways) και στα ποντοπόρα πλοία (Sea Going) έχει εκτιμηθεί στα εθνικά πλαίσια πολιτικής τους. Η παραπάνω παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά πρέπει να εγκατασταθεί κατά προτεραιότητα σε λιμένες του Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών (ΔΕΔ-M), και σε άλλα λιμάνια, έως την 31/12/2025, εκτός εάν δεν υπάρχει ζήτηση και τα κόστη είναι δυσανάλογα των οφελών, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών οφελών» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014).

Το 2015 στο πλαίσιο μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η ΕΕ δημοσίευσε τον Κανονισμό 2015/757 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τις θαλάσσιες μεταφορές μέσω συστήματος MRV. Ο κανονισμός έθεσε ως όριο για την εγκατάσταση του συστήματος MRV τα 5.000 GT για όλα τα πλοία που δραστηριοποιούνται σε λιμένες της ΕΕ. Κύριος στόχος του Κανονισμού, που τέθηκε σε ισχύ την 1/7/2015, είναι η μείωση των εκπομπών CO₂ εξαιτίας των θαλάσσιων μεταφορών.

Το 2016 θεσπίστηκε η Οδηγία 2016/802/EU για τη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο ορισμένων υγρών καυσίμων. Σκοπός της Οδηγίας ήταν η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου που προκύπτουν από την καύση ορισμένων τύπων υγρών καυσίμων

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει επίσης νομοθετήσει σειρά οδηγιών (2008/50/EC, 2004/107/EC, 2015/1480/EU, 2011/850/EU) προκειμένου να διασφαλίσει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, μέσω μέτρησης και παρακολούθησης των συγκεντρώσεων αέριων ρύπων. Τα όρια αυτών των συγκεντρώσεων δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.

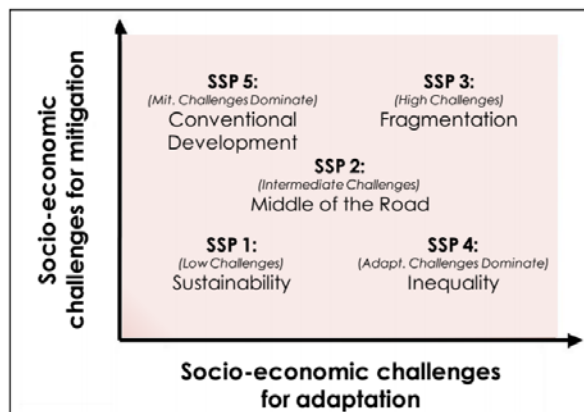
Αέριος ρύπος	Όριο συγκέντρωσης (μg/m ³)	Περίοδος μέτρησης	Επιτρεπόμενες υπερβάσεις ανά έτος
PM _{2.5}	20	1 χρόνος	n/a
PM ₁₀	50	24 ώρες	35
PM ₁₀	40	1 χρόνος	n/a
SO ₂	350	1 ώρα	24
SO ₂	125	24 ώρες	3
NO ₂	200	1 ώρα	18
NO ₂	40	1 χρόνος	n/a
CO	10.000	8 ώρες	n/a

Πίνακας 4. Όρια συγκεντρώσεων αέριων ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα (2008/50/EC).

2.6.3 Προβλέψεις για την εξέλιξη των εκπομπών αέριων ρύπων

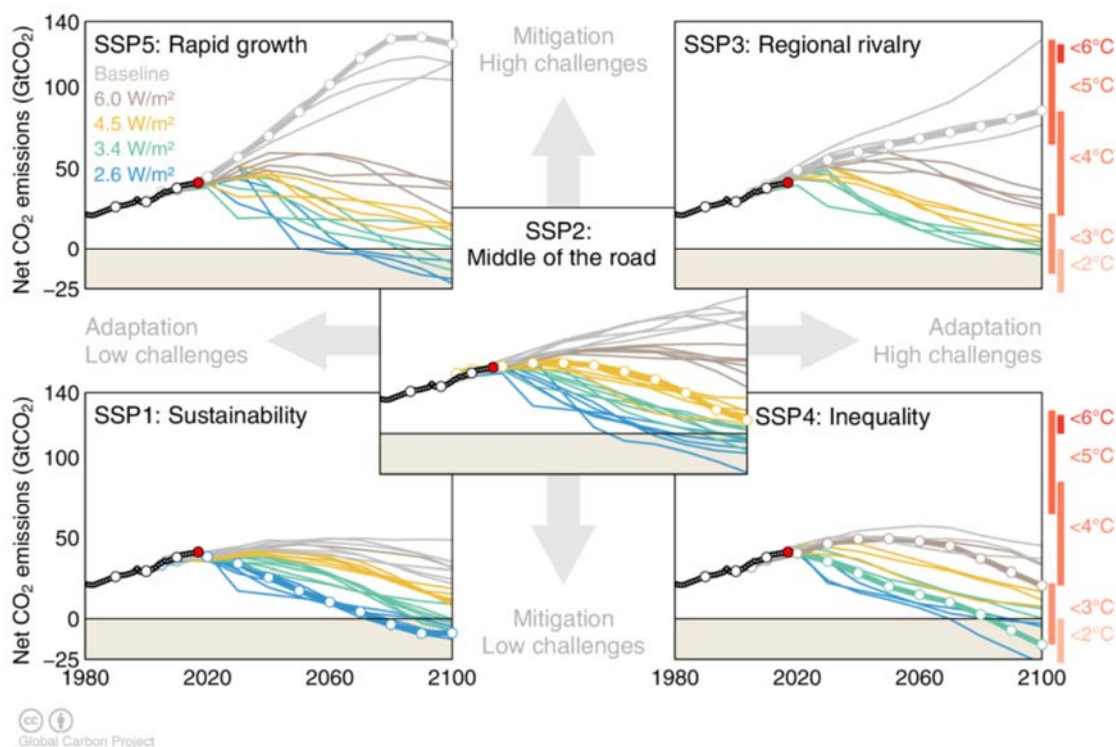
Οι παραπάνω νομοθετικές ρυθμίσεις οδήγησαν στη συστηματική παρακολούθηση και στην κατάρτιση προβλέψεων που σχετίζονται με τις εκπομπές αέριων ρύπων. Οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις των επιπέδων εκπομπών των αέριων ρύπων πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την κοινωνικο-οικονομική κατάσταση καθώς και τη γενικότερη πολιτική προστασίας του περιβάλλοντος. Για αυτόν τον λόγο έχει υιοθετηθεί η εφαρμογή 5 σεναρίων που αντιστοιχούν στις πιθανές

μελλοντικές κοινωνικο-οικονομικές καταστάσεις και συμβολίζονται με SSP (Shared Socioeconomic Pathways). Αυτά τα 5 μελλοντικά σενάρια απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 9:



Εικόνα 12. Απεικόνιση των 5 κοινωνικο-οικονομικών καταστάσεων SSP [51].

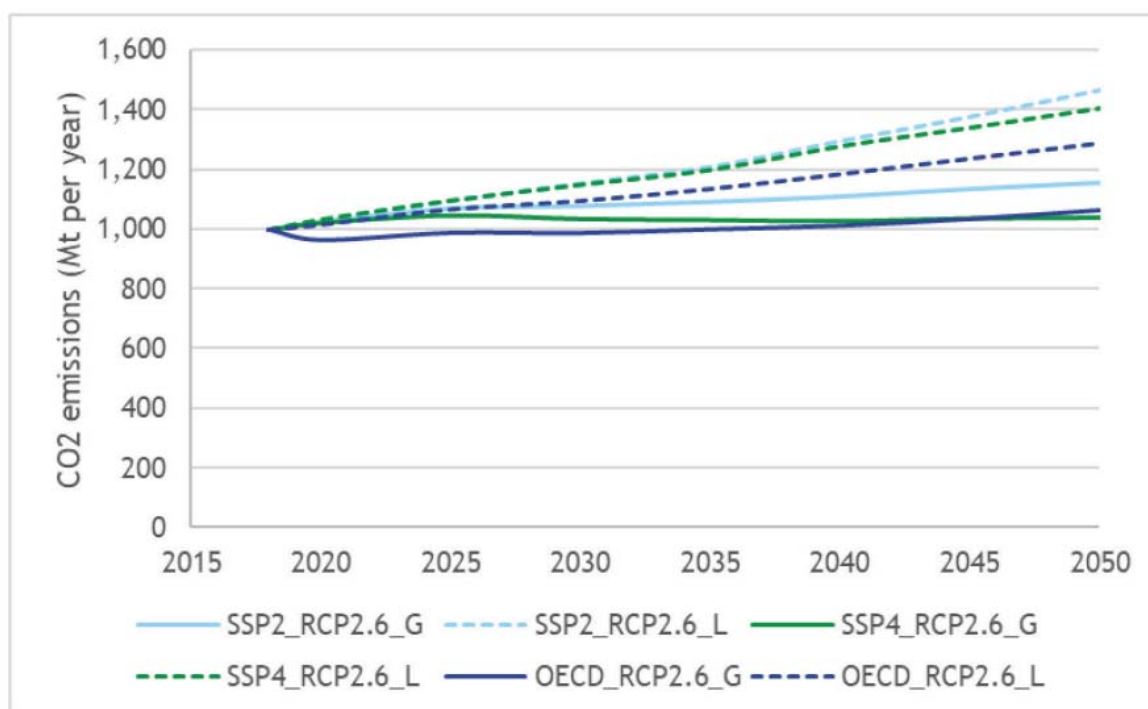
Αντιστοίχως οι επιλεγμένες πολιτικές προστασίας του περιβάλλοντος συμβολίζονται με RCP (Representative Concentration Pathways) και καθορίζονται από την επίτευξη συγκεκριμένης επιτρεπτής αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη μέχρι το 2100. Συνεπώς προκύπτουν συγκεκριμένα επίπεδα ακτινοβολίας (2.6 W/m², 3.4 W/m², κτλ) και στο κάθε επίπεδο ακτινοβολίας αντιστοιχεί ένα άνω όριο αύξησης της θερμοκρασίας (<2 °C, <3 °C, κτλ). Αν για κάθε πιθανό σενάριο SSP εφαρμοστεί η κάθε πιθανή πολιτική προστασίας περιβάλλοντος, τότε προκύπτει το διάγραμμα της Εικόνας 10, στο οποίο δίνονται οι προβλέψεις της εξέλιξης του επιπέδου του αέριου ρύπου CO₂ συναρτήσει των SSP και RCP:



Εικόνα 13. Global CO₂ emissions (GtCO₂) for all IAM runs in the SSP database separated out by SSP [Chart via Glen Peters and Robbie Andrews and the Global Carbon Project].

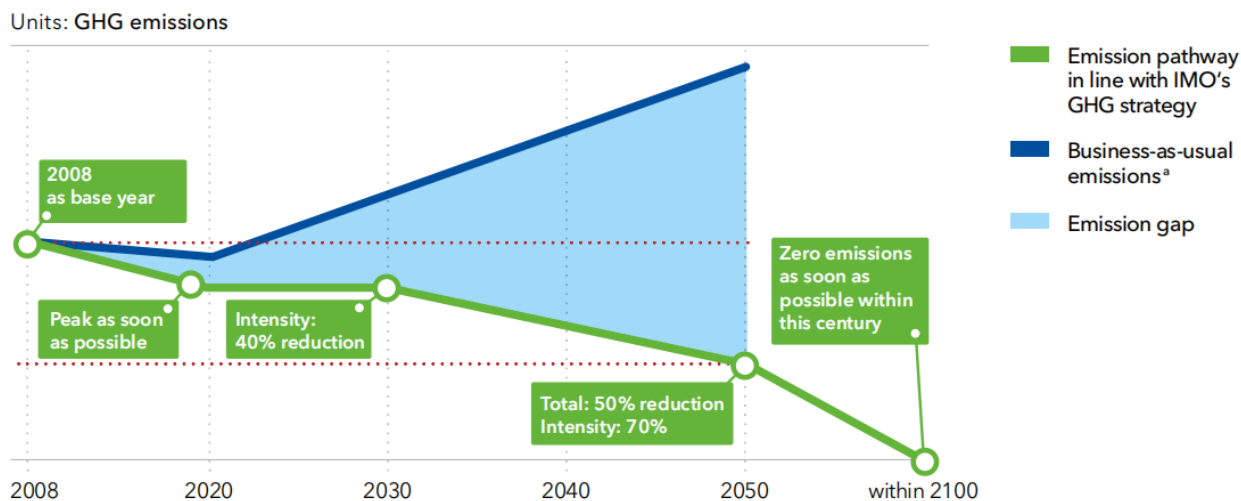
Όπως φαίνεται από τις παραπάνω καμπύλες, αυστηρές πολιτικές που έχουν ως στόχο τη μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μέχρι 2 °C (RCP 2.6) ή 3 °C (RCP 3.4) έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών του αέριου ρύπου CO₂. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο παραπάνω διάγραμμα οι εκπομπές του CO₂ οφείλονται σε διάφορες δραστηριότητες, πάντα σε συνδυασμό με το επιλεγμένο σενάριο SSP και όχι αποκλειστικά στη θαλάσσια δραστηριότητα.

Για την διερεύνηση της εξέλιξης των εκπομπών CO₂ που οφείλονται αποκλειστικά στη θαλάσσια δραστηριότητα, η 4^η IMO GHG Study (2020) συνέταξε BAU (Business As Usual) προβλέψεις, υιοθετώντας την αυστηρή πολιτική προστασίας του περιβάλλοντος RCP 2.6 και τα σενάρια SSP2 και SSP4 τα οποία θεωρούνται ως οι πιο πιθανές εξελίξεις σε κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα της Εικόνας 11, οι εκπομπές CO₂ που οφείλονται στη θαλάσσια δραστηριότητα αναμένεται να αυξηθούν ακόμα και μετά την υιοθέτηση αυστηρής πολιτικής έναντι της κλιματικής αλλαγής. Οι εκπομπές θα μπορούσαν να είναι υψηλότερες (χαμηλότερες) από τις προβλεπόμενες στην περίπτωση που οι ρυθμοί οικονομικής ανάπτυξης είναι υψηλότεροι (χαμηλότεροι) από αυτούς που υποθέτει το διάγραμμα ή στην περίπτωση που η μείωση των εκπομπών GHG από χερσαίους τομείς είναι μικρότερη (περισσότερη) από την απαιτούμενη για τον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας μέχρι 2 °C.



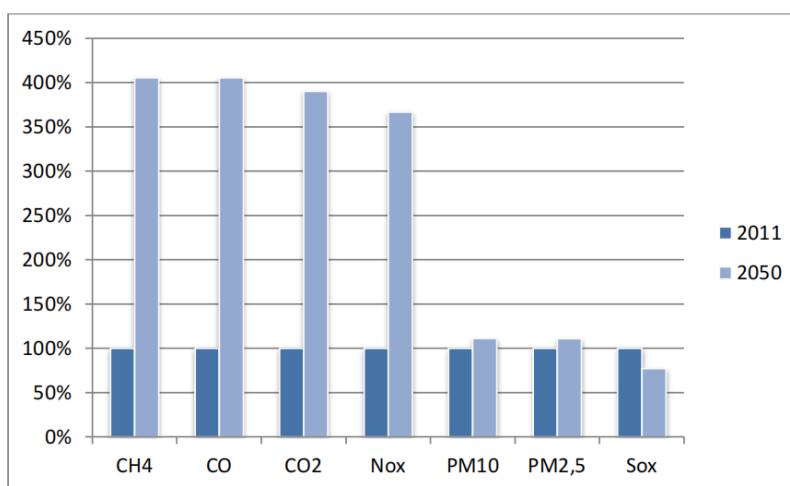
Εικόνα 14. Fourth IMO GHG Study: Business as usual προβλέψεις των εκπομπών αέριων ρύπων λόγω θαλάσσιας δραστηριότητας [41].

Η παραπάνω κατάσταση, οι στόχοι που έχουν τεθεί για τον περιορισμό των εκπομπών αέριων ρύπων καθώς και η απόκλιση από την επίτευξή τους, παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 15:



Εικόνα 15. Εκπομπές CO₂ ανά ton-mile [21].

Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγει και η μελέτη «Shipping Emissions in Ports» του OECD (12/2014), η οποία προβλέπει αύξηση των εκπομπών των αέριων ρύπων μέχρι το 2050 σε σχέση με το 2011, σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 16. Αύξηση των εκπομπών αέριων ρύπων στο διάστημα 2011 – 2050 λόγω θαλάσσιας δραστηριότητας [48].

2.6.4 Μελέτες για την εξέλιξη των εκπομπών αέριων ρύπων για το Λιμένα Πειραιώς.

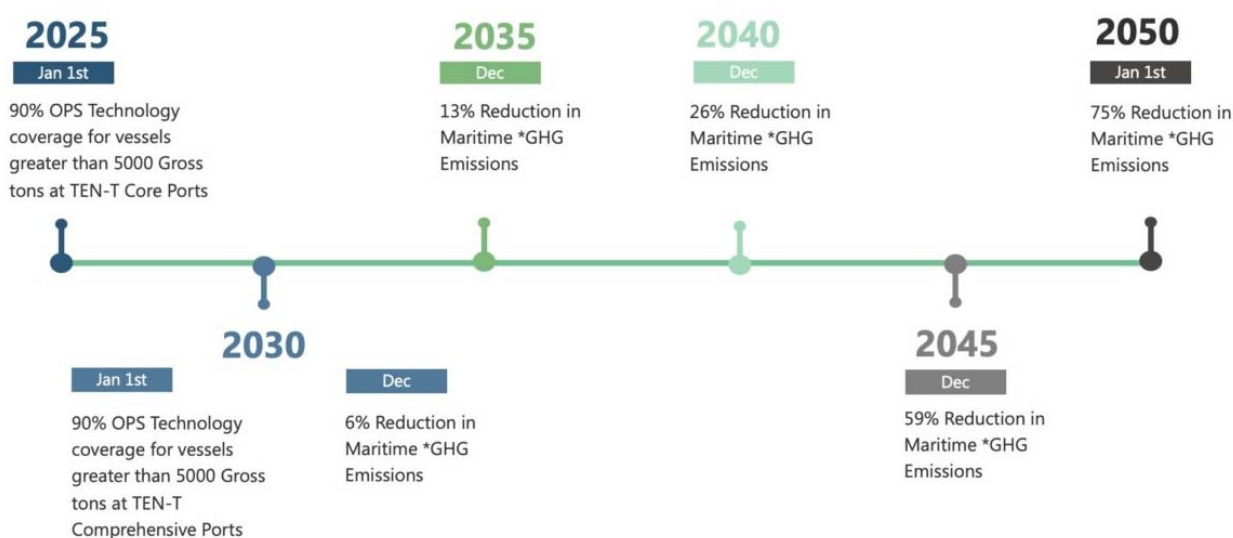
Η πιο πρόσφατη μελέτη που υπάρχει για τις εκπομπές των αέριων ρύπων NO_x, SO_x, VOC, PM₁₀ στο Λιμένα Πειραιώς (εμπορικός και επιβατικός) είναι αυτή του A.G. Progiou et al. (2021), όπου υπολογίστηκαν μέσω προσομοίωσης με χρήση του μοντέλου AERMOD (EPA) οι εκπομπές για το διάστημα 1.10.2017 – 30.9.2018 και μέσω αριθμητικής μοντελοποίησης εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα της ευρύτερης περιοχής. Το συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι τα επίπεδα της ποιότητας αέρα κυμαίνονται εντός των επιτρεπτών ορίων (για τους ρύπους που μελετήθηκαν) και δεν προκύπτουν υπερβάσεις λόγω της δραστηριότητας στο λιμένα.

Παρόλα αυτά η μελέτη ευθυγραμμίζεται με τα συμπεράσματα αντίστοιχων μελετών σε διεθνές επίπεδο, αφού αναφέρει ότι σε επίπεδο Ευρώπης, οι εκπομπές NO_x λόγω ναυτιλιακής δραστηριότητας αυξήθηκαν κατά 9%, οι εκπομπές CO₂ και CH₄ αυξήθηκαν κατά 19% από το 1990 μέχρι το 2017 και ότι οι εκπομπές CH₄, CO₂ και NO_x θα τετραπλασιαστούν μέχρι το 2050 (βλέπε και παραπάνω Εικόνα 12). Τέλος η μελέτη συγκρίνει τα αποτελέσματά της με αυτά της παλαιότερης μελέτης του Tzannatos E., (2009) και από τη σύγκριση προκύπτει αύξηση των NO_x που ανέμενε η παλαιότερη μελέτη για το εξεταζόμενο έτος 2018 κατά 50%.

2.7 Fit for 55

Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω της νομοθεσίας της για το κλίμα, έθεσε ως στόχο τη μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 (Fit for 55) και κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 (βλέπε και Εικόνες 15 και 16). Το 6-7% των εκπομπών CO₂ του ναυτιλιακού τομέα παράγεται σε λιμάνια της Ευρωπαϊκού Οικονομικής Ζώνης, το οποίο οδηγεί στην εξεύρεση λύσεων για να καταστούν οι λιμενικές υπηρεσίες βιώσιμες, μέσω κατάλληλων υποδομών και εναλλακτικών καυσίμων.

Τον Ιούλιο του 2021, για την ευθυγράμμιση της οικονομίας της ΕΕ με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και τη βιώσιμη ανάπτυξη που συνεπάγεται, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπέβαλε μια πρώτη δέσμη νομοθετικών προτάσεων, την Fit for 55. Οι προτάσεις αυτές αφορούν μεταξύ άλλων και τη λιμενική δραστηριότητα (ναυτιλιακά καύσιμα, υποδομές διαχείρισης καυσίμων, εκπομπές, φορολογία ενέργειας). Ως συνέχεια του παραπάνω, τον Νοέμβριο του 2021, το Συμβούλιο ζήτησε περαιτέρω καθοδήγηση σχετικά με τη συνολική φιλοδοξία των προτάσεων και αξιολόγηση του κοινού αντικτύπου τους.



Εικόνα 16: EU “Fit for 55” – Targets & Timeline [Πηγή: PTR Inc.]

Τμήμα της δέσμης Fit for 55 αποτελεί ο κανονισμός FuelEU Maritime, ο οποίος υιοθετήθηκε από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο την 25/7/2023 και στοχεύει στην ενίσχυση της παραγωγής και της απορρόφησης βιώσιμων καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στις θαλάσσιες μεταφορές και υποχρεώνει τα πλοία να χρησιμοποιούν από ξηράς τροφοδοσία (CI). Αναμένεται από τις αρχές διαχείρισης λιμένων να εφαρμόσουν και τα δύο παραπάνω μέτρα. Οι κανόνες ισχύουν για πλοία άνω των 5.000 GT, ανεξάρτητα από σημαίας. Από το 2025, θα θεσπιστούν όρια στις εκπομπές άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας που χρησιμοποιούν τα πλοία, καλύπτοντας περίπου το 90 % των εκπομπών που παράγονται. Από τον Ιανουάριο του 2030, τα πλοία που ελλιμενίζονται για περισσότερες από δύο ώρες θα πρέπει να τροφοδοτούνται μέσω CI, εκτός εάν χρησιμοποιούν άλλη τεχνολογία μηδενικών εκπομπών. Η ευθύνη για την τήρηση του παραπάνω ανήκει στις ναυτιλιακές εταιρείες και η μη συμμόρφωση θα οδηγήσει σε κυρώσεις για τη δημιουργία ενός ταμείου καινοτομίας για τη χρηματοδότηση της παραγωγής ανανεώσιμων ναυτιλιακών καυσίμων και άλλων πράσινων δράσεων.

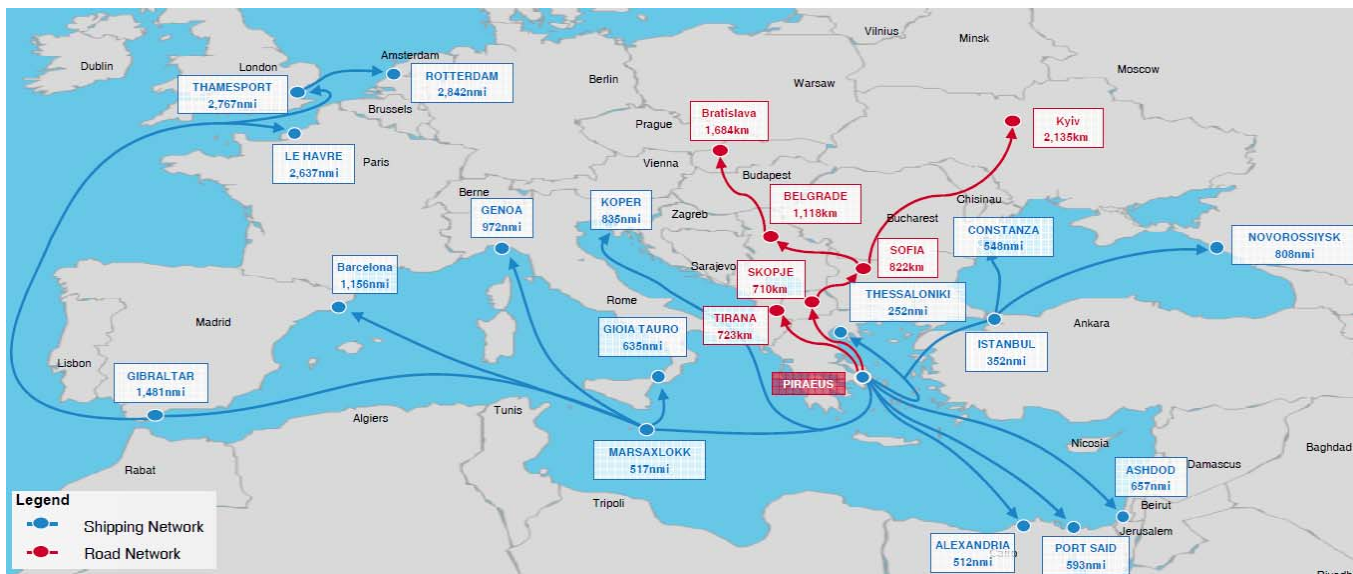
3. Λιμένας Πειραιώς – Παρουσίαση

3.1 Γενικά στοιχεία

Ο Λιμένας Πειραιώς είναι φυσικό λιμάνι της Αθήνας και βασική εμπορευματική Πύλη της Ελλάδας διαθέτοντας τη μεγαλύτερη λιμενική ζώνη της χώρας και μια από τις μεγαλύτερες στη Μεσόγειο Θάλασσα. Με επισκεψιμότητα που φτάνει κατά μέσο όρο τα 20 εκατομμύρια επιβάτες τον χρόνο, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου και στη συμβολή της τοπικής και εθνικής οικονομίας. Είναι το πρώτο ευρωπαϊκό λιμάνι, μετά τη Διώρυγα του Σουέζ, με τις απαραίτητες υποδομές για την εξυπηρέτηση διαμετακομιστικού εμπορίου και χερσαίων μεταφορών. Εγκατεστημένο δίπλα σε διεθνείς εμπορικούς δρόμους (Ασία-Αφρική-Ευρώπη), αποτελεί κόμβο διεθνούς εμπορίου και είναι το μόνο ευρωπαϊκό λιμάνι στην Ανατολική Μεσόγειο που διαθέτει τις απαραίτητες υποδομές για τη φιλοξενία και διαχείριση διαμετακομιστικών φορτίων. Ο χάρτης της Εικόνας 13 δείχνει τη στρατηγική θέση που κατέχει ο Λιμένας Πειραιώς και τις αποστάσεις του από σημαντικά διεθνή λιμάνια και οδικούς κόμβους.

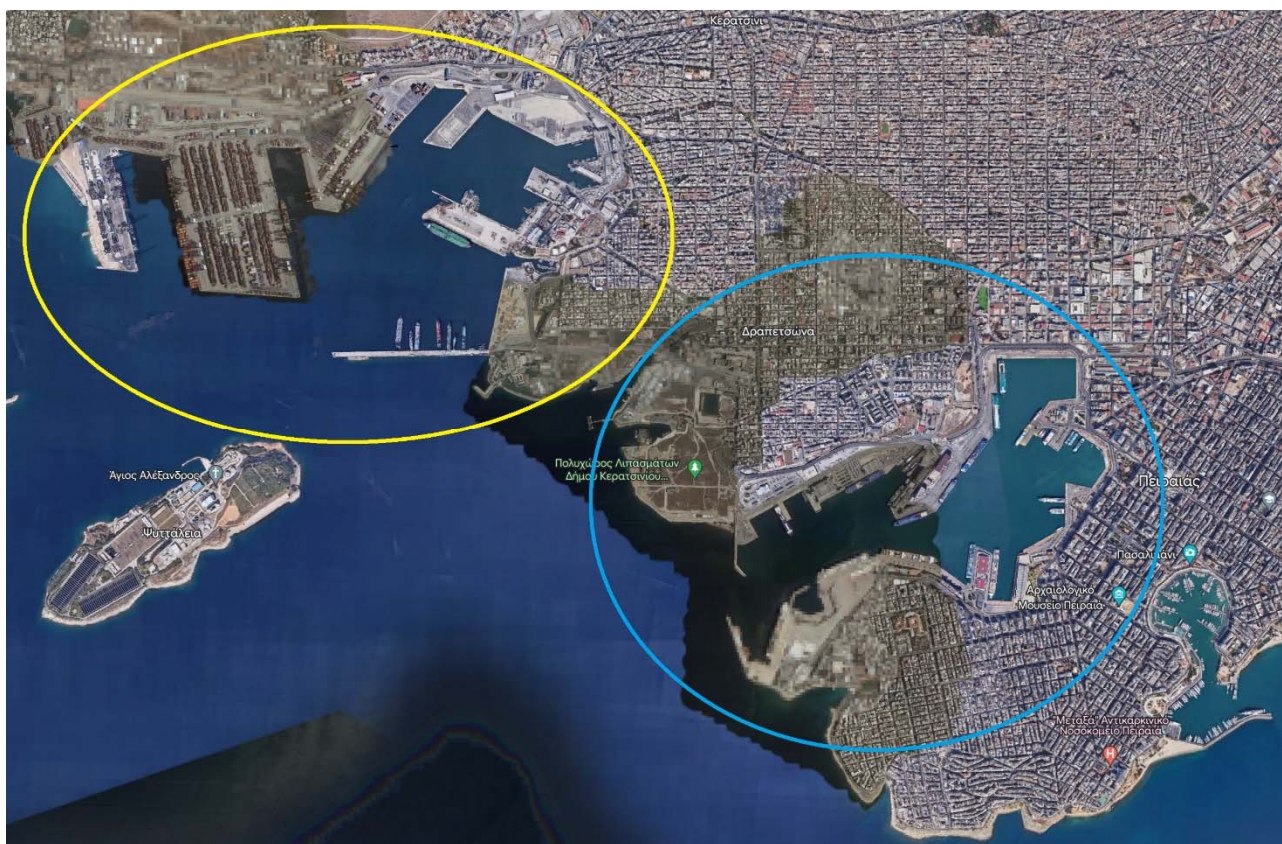
Συνοπτικά ο Λιμένας Πειραιώς εξυπηρετεί ανά έτος κατά μέσο όρο 16 εκατομμύρια επιβάτες ακτοπλοΐας, 1 εκατομμύριο επιβάτες κρουαζιέρας, 400.000 αυτοκίνητα και 5 εκατομμύρια containers (TEUs). Οι λιμενικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα στους σταθμούς των δύο βασικών λιμένων του: τον εμπορικό και τον επιβατικό. Ο Επιβατικός Λιμένας αποτελείται από τον Σταθμό Ακτοπλοΐας και από τον Σταθμό Κρουαζιέρας, ενώ ο Εμπορικός Λιμένας αποτελείται από τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων και από τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων. Οι λιμενικοί σταθμοί Πειραιώς, όπως συμβαίνει εξάλλου με τους περισσότερους κεντρικούς λιμενικούς σταθμούς, είναι εγκατεστημένοι

εντός μεγάλων αστικών ιστών και συνεπώς οι πυκνοκατοικημένες περιοχές που γειτονεύουν με αυτούς βρίσκονται διαρκώς εκτεθειμένες στους αέριους ρύπους που εκπέμπονται από τις δραστηριότητες που συντελούνται σε αυτούς.



Εικόνα 17. Κύριες συνδέσεις και αποστάσεις Λιμένος Πειραιώς [Πηγή: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

Στην παρακάτω Εικόνα 18 δίνεται η απεικόνιση των βασικών λιμένων Πειραιώς, οι σταθμοί των οποίων περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.



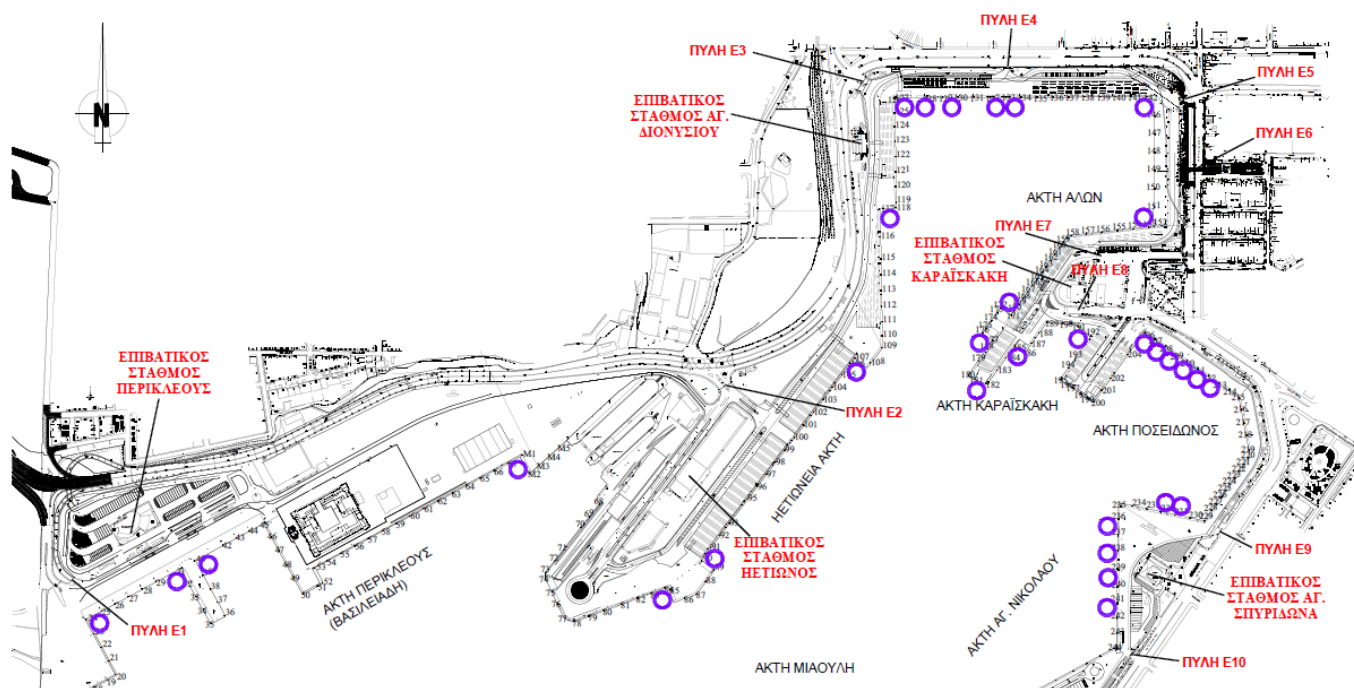
Εικόνα 18. Εμπορικός Λιμένας (κίτρινος κύκλος) και Επιβατικός Λιμένας (γαλάζιος κύκλος) Πειραιώς [Πηγή: Google Earth].

3.2 Εμπορικός και Επιβατικός Λιμένας - Παρουσίαση βασικών λιμενικών σταθμών Πειραιά

3.2.1 Σταθμός Ακτοπλοΐας

Ο Σταθμός Ακτοπλοΐας εξυπηρετεί τη θαλάσσια επικοινωνία της ενδοχώρας με τα νησιά του Αιγαίου, του Αργοσαρωνικού και της Κρήτης. Επίσης αποτελεί θαλάσσια Πύλη της Ευρώπης στο νοτιοανατολικό της σύνορο. Αποτελείται συνολικά από 5 επιβατικούς σταθμούς που εκτείνονται στην περιοχή μεταξύ Ακτής Βασιλειάδη και Ακτής Μιαούλη: α) τον Επιβατικό Σταθμό Περικλέους (Ακτής Βασιλειάδη) (Πύλη Ε1), β) τον Επιβατικό Σταθμό Ηετίωνος (Πύλη Ε2), γ) τον Επιβατικό Σταθμό Αγίου Διονυσίου (Πύλες Ε3, Ε4, Ε5, Ε6), δ) τον Επιβατικό Σταθμό Καραϊσκάκη (Ακτής Τζελέπη) (Πύλες Ε7, Ε8) και ε) τον Επιβατικό Σταθμό Αγίου Σπυριδώνα (Πύλες Ε9, Ε10).

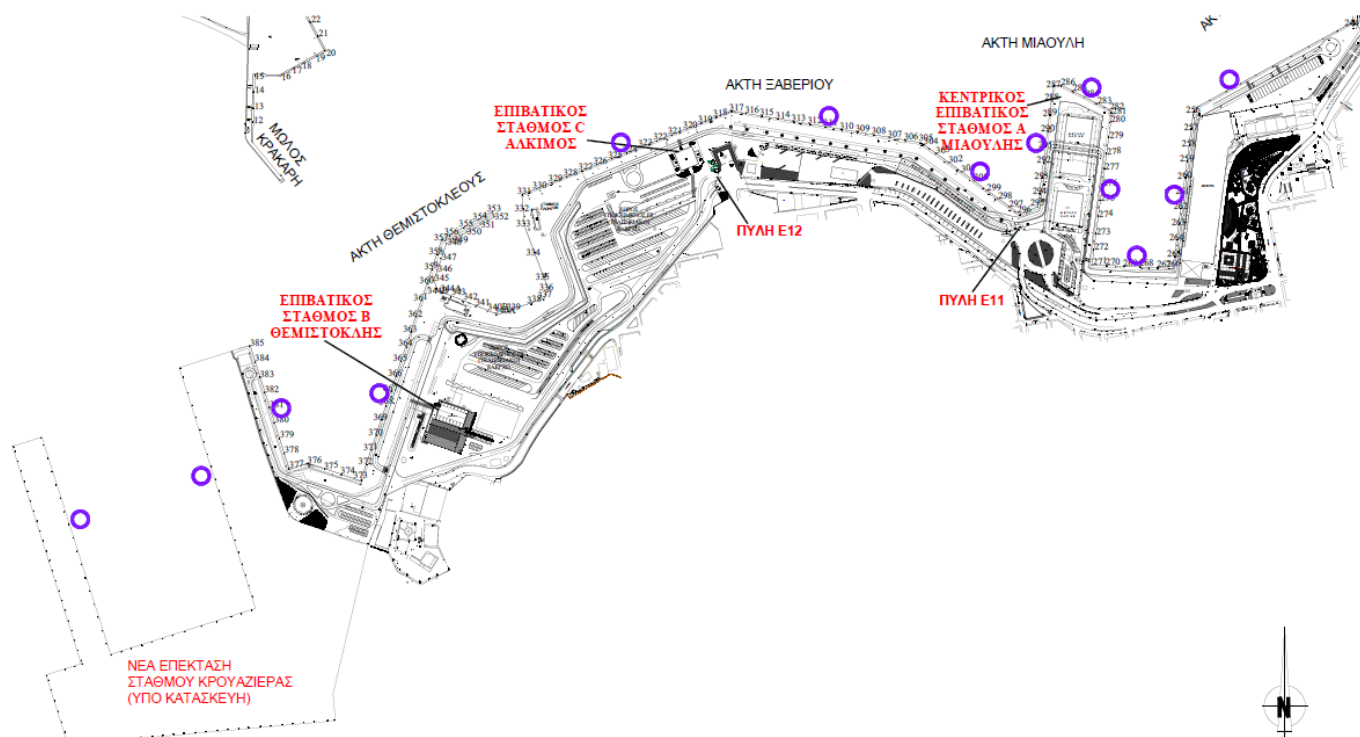
Στην παρούσα εργασία θα εξαιρεθούν τα μικρότερα υδροπτέρυγα πλοία (ιπτάμενα δελφίνια), τα ταχύπλοα και τα catamarans που συνήθως παρουσιάζουν μικρούς χρόνους ελλιμενισμού. Συνεπώς, θα εξεταστούν πλοία που μεταφέρουν σημαντικό πλήθος επιβατών και εμφανίζουν υψηλό φορτίο και χρόνο ελλιμενισμού.



Εικόνα 19. Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Ακτοπλοΐας [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

3.2.2 Σταθμός Κρουαζιέρας

Ο Σταθμός Κρουαζιέρας αποτελεί σημαντικό προορισμό των κρουαζιερόπλοιων που επισκέπτονται τη Μεσόγειο Θάλασσα. Διαθέτει συνολικά 11 θέσεις για την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση κρουαζιερόπλοιων και μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και τα μεγαλύτερα μεγέθη που υπάρχουν.

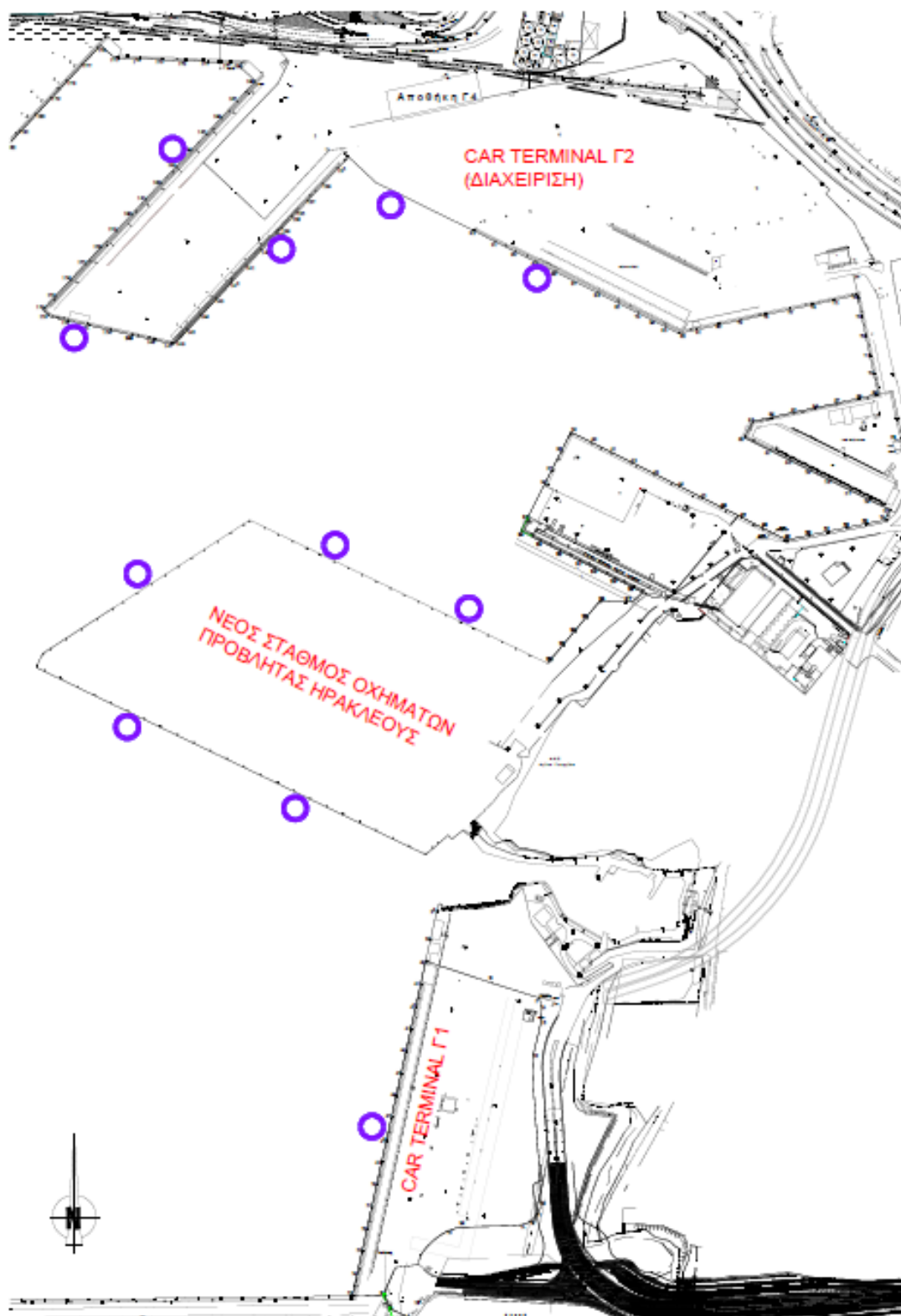


Εικόνα 20. Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Κρουαζιέρας [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

Αποτελείται συνολικά από 3 επιβατικούς σταθμούς που εκτείνονται στην περιοχή μεταξύ Ακτής Μιαούλη και Μόλου Θεμιστοκλέους: α) τον Επιβατικό Σταθμό Μιαούλη (Cruise Terminal Station A) που βρίσκεται στην Ακτή Μιαούλη, β) τον Επιβατικό Σταθμό Θεμιστοκλή (Cruise Terminal Station B) που βρίσκεται στην Ακτή Θεμιστοκλέους και γ) τον Επιβατικό Σταθμό Αλκίμου (Cruise Terminal Station C) που βρίσκεται στην Ακτή Ξαβερίου. Σημειώνεται πως ο Επιβατικός Σταθμός Θεμιστοκλή θα επεκταθεί, καθώς βρίσκεται σε εξέλιξη η υποχρεωτική επένδυση ME01 που προβλέπει την επέκτασή του προκειμένου νέες θέσεις κρουαζιερόπλοιων.

3.2.3 Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων

Ο Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων εξυπηρετεί οχηματαγωγά πλοία (car carriers) με συνολική δυναμικότητα 600.000 κινήσεων ετησίως. Αποτελείται από τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων Γ1 στον Νέο Μόλο Δραπετσώνας που μπορεί να εξυπηρετήσει 2.300 οχήματα και διαθέτει 1 θέση εξυπηρέτησης και από τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων Γ2 (Car Terminal Γ2) στο Νέο Ικόνιο Περάματος που μπορεί να εξυπηρετήσει 6.700 οχήματα και διαθέτει 4 θέσεις εξυπηρέτησης. Σημειώνεται ότι ο Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων Γ1 (Car Terminal Γ1) από τον Ιούνιο 2020 δεν λειτουργεί καθώς χρησιμοποιείται ως εργοτάξιο κατασκευής caissons στο πλαίσιο της υποχρεωτικής επένδυσης ME01. Ως εκ τούτου δεν μπορεί να εξεταστεί για το διάστημα 2021 – 2022. Τέλος, σημειώνεται ότι βρίσκεται υπό κατασκευή η επέκταση της Προβλήτας Ηρακλέους στο πλαίσιο της υποχρεωτικής επένδυσης ME10, η οποία πρόκειται να λειτουργήσει ως νέος σταθμός διακίνησης οχημάτων.

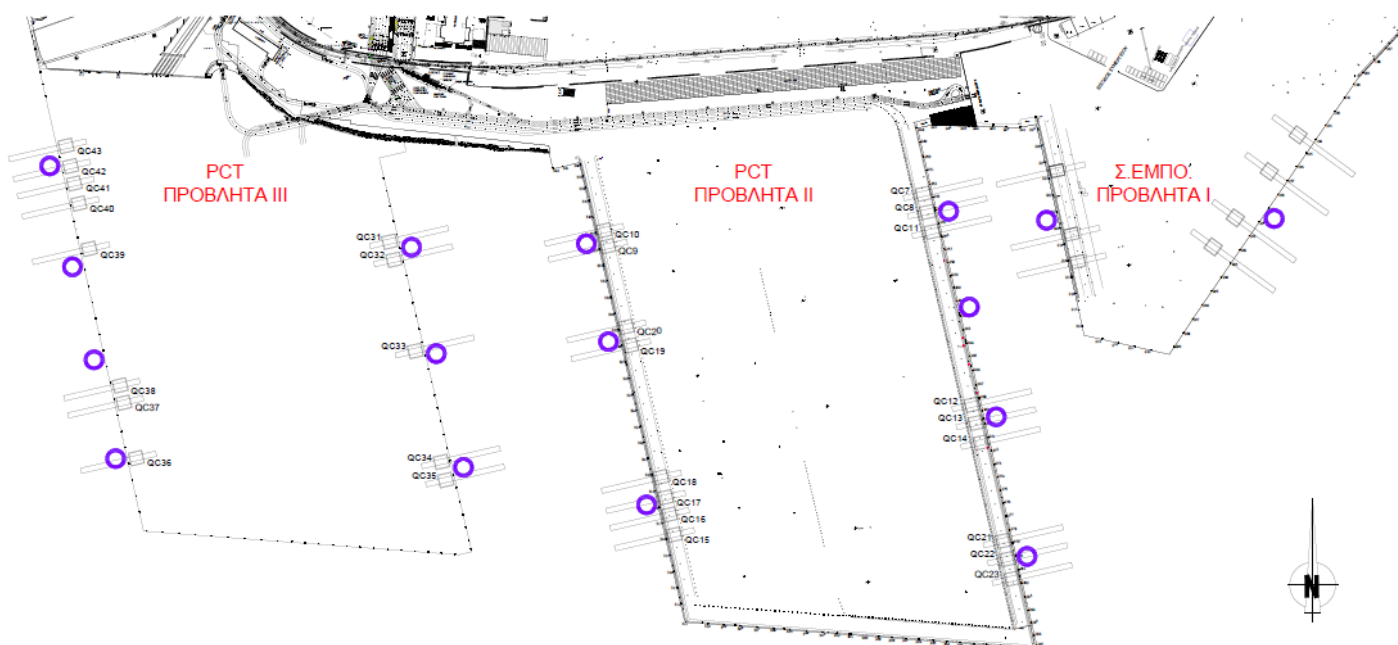


Εικ. 21. Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

3.2.4 Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων

Ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων εξυπηρετεί πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στις τρεις προβλήτες που διαθέτει. Η Προβλήτα I λειτουργεί υπό τη διοίκηση της Ο.Λ.Π. Α.Ε. ενώ οι Προβλήτες II και III υπό τη διοίκηση της Σ.Ε.Π. Α.Ε. Για τις ανάγκες εκφόρτωσης και διαχείρισης των

εμπορευματοκιβωτίων, στις προβλήτες λειτουργούν γερανοί STS (Ship-to-Shore), QC (Quayside Container), RMG (Rail Mounted Gantry), e-RTG (Electrified Rubber Tired Gantry) και σημεία



Εικ. 22. Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.]. τροφοδοσίας (reefer points) (για την εξυπηρέτηση των containers που μεταφέρουν ευπαθή προϊόντα). Για την ηλεκτρική τροφοδότηση του παραπάνω εξοπλισμού υπάρχουν εγκατεστημένοι τοπικοί υποσταθμοί μέσης-χαμηλής τάσης. Πέραν του παραπάνω εξοπλισμού, χρησιμοποιούνται και οχήματα RTG (Rubber Tired Gantry) τα οποία χρησιμοποιούν diesel για τη λειτουργία τους. Η δυναμικότητα της Προβλήτας I είναι 1.100.000 TEUs, της Προβλήτας II είναι 3.500.000 TEUs και της Προβλήτας III είναι 3.000.000 TEUs.

4. Εκτίμηση υφιστάμενης κατάστασης στους Λιμενικούς Σταθμούς Πειραιά

4.1 Απαιτήσεις σε ισχύ, καταναλώσεις καυσίμου και εκπομπές αέριων ρύπων

4.1.1 Εκτίμηση απαιτήσεων σε ισχύ ανά τύπο πλοίου

Στην παρούσα εργασία η εκτίμηση των απαιτήσεων σε ισχύ των ελλιμενιζόντων πλοίων θα βασιστεί στους πίνακες και στις μεθόδους που περιγράφονται στη 4η IMO GHG Μελέτη (2020). Παράλληλα με την τελευταία θα παρουσιαστούν 4 υφιστάμενες βιβλιογραφικές πηγές με σκοπό την πληρέστερη παρουσίαση των συνηθέστερων εκτιμήσεων και την αντιπαραβολή των εκτιμήσεων κάθε πηγής.

Όλες οι παραπάνω πηγές εκτιμούν τις απαιτήσεις σε ισχύ των διαφόρων τύπων πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους, συναρτήσει του μήκους τους (Πίνακας 6) ή των συναρτήσει των GT, DWT, TEU (Πίνακας 7). Οι υπολογισμοί για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος βασίστηκε στις παρακάτω παραδοχές:

1. Θεωρούμε ότι όλες οι βιβλιογραφικές πηγές προσεγγίζουν επαρκώς και ισάξια την πραγματικότητα, δημιουργώντας διαστήματα εντός των οποίων αναμένεται να βρίσκεται η απαίτηση κάθε τύπου πλοίου συναρτήσει του μεγέθους του.
2. Οι τιμές ισχύος θα εκφραστούν σε kW. Συνεπώς οι τιμές kVA θα μετατραπούν στις αντίστοιχες τιμές kW μέσω της σχέσης

$$P \text{ (kW)} = S \text{ (kVA)} \times PF \quad (1)$$

Δεδομένου ότι είναι αδύνατο να βρεθεί το power factor (PF) κάθε πλοίου, θα θεωρήσουμε ότι ισχύει γενικά $PF = 0,8$, όπως αναφέρεται σε σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές [23], [29].

3. Το διάστημα δέσμευσης της ισχύος για την εξυπηρέτηση κάθε πλοίου και ο ταυτοχρονισμός των πλοίων θα ελέγχονται σε διαστήματα ολόκληρης ημέρας. Συνεπώς η ισχύς θα χρεώνεται σε κάθε πλοίο σε ακέραια διαστήματα ημέρας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διαχρονική εξέλιξη της απαίτησης.
4. Στις περιπτώσεις που υπάρχει αναφορά μεγέθους εκφρασμένο σε μονάδες DWT και GT (από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές) θα προτιμάται η ενιαία αναφορά σε DWT (ακολουθώντας την 4η IMO GHG Μελέτη). Για αυτό τον λόγο θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις μετατροπής του Πίνακα 5.

Ship type	Regression	Coefficients of determination (R^2)	Standard deviation (σ)
General Cargo Ship / Bulk Carriers	$GT = 0,5285 \cdot DWT$	0,988	2,202
Container Ship	$GT = 0,8817 \cdot DWT$	0,971	3,735
Oil Tanker	$GT = 0,5354 \cdot DWT$	0,992	4,276
Roll-on/Roll-off Ship	$GT = 1,7803 \cdot DWT$	0,752	7,262
Pure Car Carrier	$GT = 2,7214 \cdot DWT$	0,826	7,655
LPG Ship	$GT = 0,8447 \cdot DWT$	0,988	1,513
LNG Ship	$GT = 1,3702 \cdot DWT$	0,819	12,439
Passenger Ship	$GT = 8,9383 \cdot DWT$	0,862	12,285

Πίνακας 5. Συσχέτιση GT με DWT ανά τύπο πλοίου [61].

Επιπλέον των παραπάνω σχέσεων θα χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση μετατροπής, η οποία προέκυψε από τα δεδομένα των container ships που συλλέχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας:

$$\text{Container Ships: } 1 \text{ GT} = 10,8 \times \text{TEU} \quad (1)$$

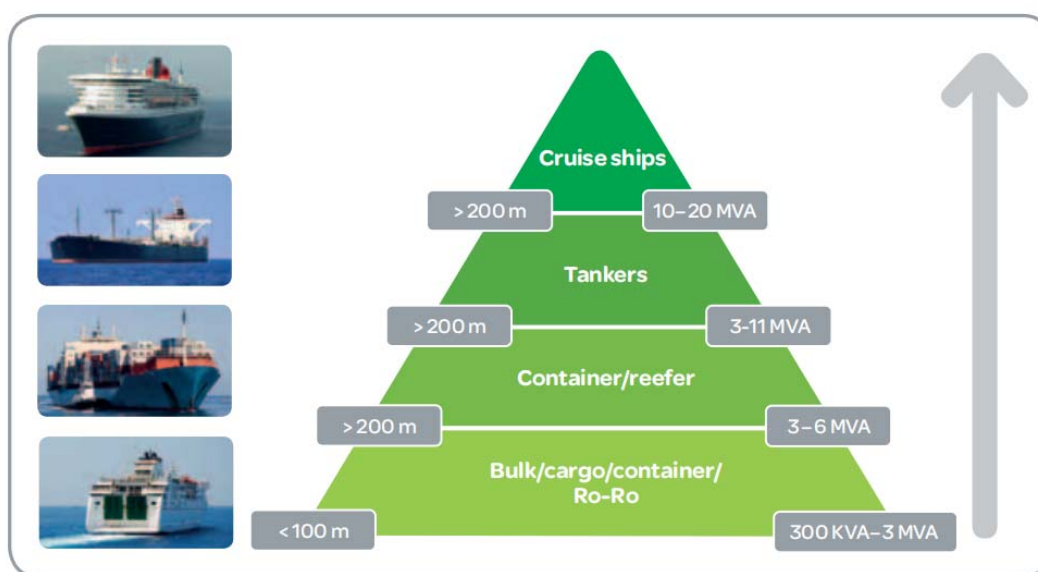
Περιγραφή μεθόδου υπολογισμού

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων των πλοίων σε ισχύ κατά τον ελλιμενισμό τους, θα γίνει με βάση τους πίνακες αφίξεων – αναχωρήσεων (port calls) που έχουν συλλεχθεί στο πλαίσιο της παρούσας και των στηλών IMO του Πίνακα 6, μέσω των οποίων θα αντιστοιχιστεί η απαιτούμενη ισχύς κατά

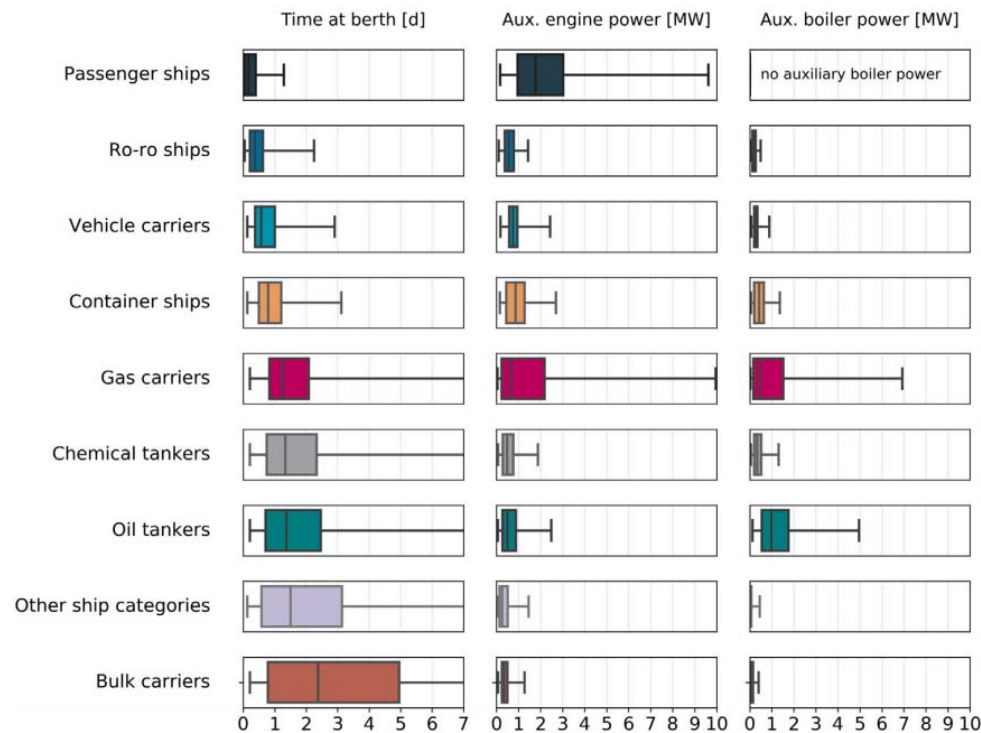
τον ελλιμενισμό συναρτήσει του μεγέθους GT κάθε πλοίου. Σημειώνεται ότι για τα Container Ships η αντιστοίχιση θα γίνει μέσω των TEUs κάθε πλοίου. Για την εκτίμηση της συνολικής απαίτησης ισχύος σε κάθε Λιμενικό Σταθμό, θα συνταχθούν διαγράμματα Ισχύος – Ημερομηνιών, με σκοπό να απεικονιστεί η εξέλιξη της απαίτησης σε ισχύ κατά το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα. Κατά την ημερομηνία άφιξης του κάθε πλοίου λαμβάνεται υπόψη η συνολική ισχύς που απαιτεί κατά τον ελλιμενισμό του. Η απαίτηση ισχύος παραμένει μέχρι την ημερομηνία αναχώρησης του πλοίου (βλέπε και παραπάνω παραδοχή 3), συνεκτιμώντας με αυτόν τον τρόπο, τον ταυτοχρονισμό με αφίξεις επόμενων πλοίων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους ελλιμενισμούς κάθε Λιμενικού Σταθμού. Από αυτά τα διαγράμματα θα προκύψει η συνολική απαίτηση σε ισχύ στον κάθε Λιμενικό Σταθμό καθώς και η διαχρονική εξέλιξή της κατά το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα.

Από την παρουσίαση των παρακάτω απαιτήσεων σε ισχύ κατά τον ελλιμενισμό των διαφόρων τύπων πλοίων, καταλήγουμε στα παρακάτω:

- Καμία τιμή ισχύος που προέρχεται από βιβλιογραφική πηγή δεν μπορεί να υπερβαίνει την αντίστοιχη μέγιστη παρεχόμενη ισχύ ανά θέση ελλιμενισμού που θέτει το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-1.
- Οι τιμές «Μέγιστη απαίτηση ισχύος για το 95% πλοίων» των Ericsson-Fazlagic επικρατούν έναντι των τιμών «Μέγιστη απαίτηση ισχύος», υπό την έννοια ότι παρέχουν επαρκή βεβαιότητα.
- Επιλέγονται ως πιο αντιπροσωπευτικές οι τιμές που δίνονται στην 4η IMO GHG Μελέτη (2020), καθώς παρουσιάζουν τον καλύτερο επιμερισμό συναρτήσει του μεγέθους των πλοίων. Η χρήση των τιμών αυτών δεν απαιτεί τη γνώση των load factors των βοηθητικών μηχανών, καθώς είναι προσεγγίσεις των απαιτήσεων σε ισχύ.
- Στην παρούσα εργασία εξετάζεται μόνο ο ελλιμενισμός των πλοίων και ως εκ τούτου η αγκυροβόληση και η φάση ελιγμών δεν θα εξεταστούν.



Εικόνα 23. Κατανάλωση ισχύος κατά τον ελλιμενισμό ανά τύπο πλοίου και μέγεθος [54].



Εικόνα 24. Κατανάλωση ισχύος κατά τον ελλιμενισμό ανά τύπο πλοίου, [60].

Βιβλιογραφικές αναφορές για την απαίτηση ισχύος πλοίων κατά τον ελλιμενισμό									IEC/ISO/IEEE 80005-1
Τύπος πλοίου	Ericsson & Fazlagic' [29]			Radu & Grandidier [54]		Stolz et al ^{1,2} [59]			
	Μέση απαίτηση ισχύος [kW]	Μέγιστη απαίτηση ισχύος [kW]	Μέγιστη απαίτηση ισχύος για το 95% των πλοίων [kW]	Ελάχιστη απαίτηση ισχύος [kW]	Μέγιστη απαίτηση ισχύος [kW]	Ελάχιστη απαίτηση ισχύος [kW]	Μέση απαίτηση ισχύος [kW]	Μέγιστη απαίτηση ισχύος [kW]	Μέγιστη παρεχόμενη ισχύος ανά θέση ελλιμενισμού [kW]
Cruise ships (<200 m)	4.100	7.300	6.700	-	-	-	-	-	

Cruise ships (>200 m)	7.500	11.000	9.500	8.000	16.000	-	-	-	12.800 - 16.000
Cruise ships (total)	5.800	11.000	7.300	-	-	-	-	-	
Ferry-RoPax vessel	1.500	2.000	1.800	240	2.400	1.000	1.800	3.000	5.200
RoRo vessel	1.500	2.000	1.800	240	2.400	650	850	1.050	5.200
Vehicle carriers	1.500	2.000	1.800	-	-	800	1.050	1.300	
Container ships (<140 m)	170	1.000	800	240	2.400	600	1.150	1.850	6.000
Container ships (>140 m)	1.200	8.000	5.000	2.400	4.800				
Container ships (total)	800	8.000	4.000	-	-				
Bulk carriers	-	-	-	240	2.400	350	450	550	
General cargo	-	-	-	240	2.400	350	450	550	

Πίνακας 6. Βιβλιογραφικές αναφορές για την απαίτηση ισχύος πλοίων εντός λιμένος (Κατάταξη συναρτήσεως του μήκους των πλοίων), ¹Αθροιστικά για ισχύ βοηθητικών μηχανών και boiler, ²Χωρίς κατάταξη μεγέθους, με βάση την Εικόνα 24.

Βιβλιογραφικές αναφορές για την απαίτηση ισχύος πλοίων κατά το ελλιμενισμό (συναρτήσεως των μεγεθών GT/DWT/TEU)						Μέγιστη παρεχόμενη ισχύς ανά θέση ελλιμενισμού [kW]
Τύπος πλοίου	EMSA [24] ¹		IMO [41] ²			
	Μέση απαίτηση ισχύος [kW]	Μέγιστη απαίτηση ισχύος [kW]	Ισχύς βοηθητικών λεβήτων (kW)	Ισχύς βοηθητικών μηχανών (kW)	Συνολική ισχύς [kW]	IEC/ISO/IEEE 80005-1
Cruise ships (0-1.999 GT)	4.000	4.500	1.100	450	1.550	12.800 - 16.000
Cruise ships (2.000-9.999 GT)	4.000	4.500	1.100	450	1.550	
Cruise ships (10.000-59.999 GT)	4.000	4.500	1.100	3.500	4.600	
Cruise ships (60.000-99.999 GT)	9.000	12.000	1.100	11.500	12.600	
Cruise ships (100.000-149.999 GT)	9.000	12.000	1.100	11.500	12.600	
Cruise ships (>150.000 GT)	18.000	20.000	1.100	11.500	12.600	5.200
Ferry-RoPax vessel (0-1.999 GT)	2.000	4.000	260	105	365	
Ferry-RoPax vessel (2.000-4.999 GT)	2.000	4.000	260	330	590	
Ferry-RoPax vessel (5.000-9.999 GT)	2.000	4.000	260	670	930	
Ferry-RoPax vessel (10.000-19.999 GT)	2.000	4.000	390	1.100	1.490	

Ferry-RoPax vessel (>20.000 GT)	5.000	6.500	390	1.950	2.340	
RoRo vessel (0-4.999 DWT)	-	-	260	750	1.010	5.200
RoRo vessel (5.000-9.999 DWT)	-	-	260	1.100	1.360	
RoRo vessel (10.000-14.999 DWT)	-	-	390	1.200	1.590	
RoRo vessel (>15.000 DWT)	-	-	390	1.200	1.590	
Vehicle carriers (0-9.999 GT)	2.000	4.000	310	800	1.110	-
Vehicle carriers (10.000-19.999 GT)	2.000	4.000	310	850	1.160	-
Vehicle carriers (>20.000 GT)	5.000	6.500	310	850	1.160	-
Container ships (0-999 TEU)	1.500	2.000	250	370	620	6.000
Container ships (1.000-1.999 TEU)	2.000	5.000	340	820	1.160	
Container ships (2.000-2.999 TEU)	2.000	5.000	460	610	1.070	
Container ships (3.000-4.999 TEU)	2.000	5.000	480	1.100	1.580	
Container ships (5.000-7.999 TEU)	4.000	6.000	590	1.100	1.690	
Container ships (8.000-11.999 TEU)	4.000	6.000	620	1.150	1.770	
Container ships (12.000-14.499 TEU)	4.000	6.000	630	1.300	1.930	
Container ships (14.500-19.999 TEU)	4.000	6.000	630	1.400	2.030	
Container ships (>20.000 TEU)	4.000	6.000	700	1.400	2.100	
Bulk carriers (0-9.999 DWT)	500	700	70	110	180	-
Bulk carriers (10.000-34.999 DWT)	500	700	70	110	180	-
Bulk carriers (35.000-59.999 DWT)	500	700	130	150	280	-
Bulk carriers (60.000-99.999 DWT)	500	700	260	240	500	-
Bulk carriers (100.000-199.999 DWT)	2.000	2.800	260	240	500	-
Bulk carriers (>200.000 DWT)	2.000	2.800	260	240	500	-
General cargo (0-4.999 DWT)	1.500	3.000	0	90	90	-
General cargo (5.000-9.999 DWT)	1.500	3.000	110	240	350	-
General cargo (10.000-19.999 DWT)	1.500	3.000	150	720	870	-
General cargo (>20.000 DWT)	3.000	5.000	150	720	870	-

Πίνακας 7. Βιβλιογραφικές αναφορές για την απαίτηση ισχύος πλοίων εντός λιμένος (Κατάταξη συναρτήσει των μεγεθών GT/DWT/TEU),

¹ Πραγματοποιήθηκε αναγωγή των διαστημάτων αναφοράς, ² Θεωρήθηκε ότι η ισχύς της κύριας μηχανής είναι μεγαλύτερη των 500 kW.

4.1.2 Εκτίμηση καταναλώσεων καυσίμων ανά τύπο μηχανής και καυσίμου

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστεί η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά τον ελλιμενισμό των σκαφών και συνεπώς θα εξεταστεί η κατανάλωση καυσίμου μόνο των βοηθητικών μηχανών και λεβήτων. Ομοίως με την προηγούμενη παράγραφο, θα χρησιμοποιηθούν οι πίνακες και οι μέθοδοι που περιγράφονται στην 4η IMO GHG Μελέτη. Σύμφωνα με την τελευταία η ειδική κατανάλωση καυσίμου για τις βοηθητικές μηχανές και λέβητες δεν εξαρτάται από το φορτίο τους αλλά μόνο από την απαίτηση ισχύος και συνεπώς δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$FC_{AE} = SFC_{base,AE} \cdot \dot{W}_{AE} \quad (2)$$

$$FC_{BO} = SFC_{base,BO} \cdot \dot{W}_{BO} \quad (3)$$

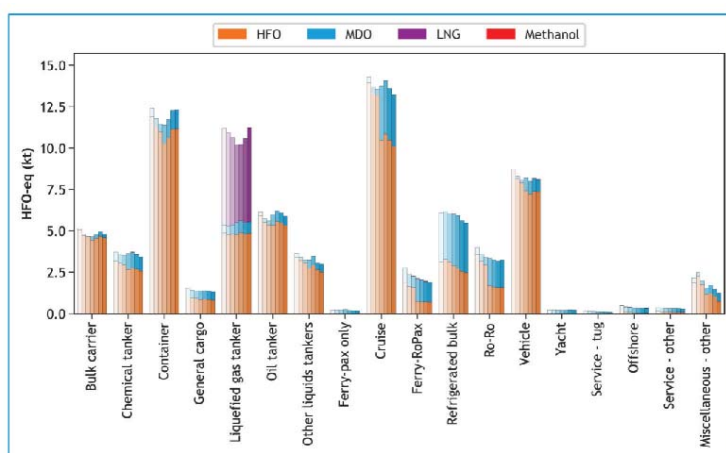
όπου FC_{AE} , FC_{BO} είναι οι ωριαίες καταναλώσεις καυσίμου, \dot{W}_{AE} , \dot{W}_{BO} οι ισχύες των βοηθητικών μηχανών και των βοηθητικών λεβήτων κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού και SFC_{base} η βασική ειδική κατανάλωση καυσίμου.

Οι τιμές που λαμβάνει η SFC_{base} εξαρτώνται από τον τύπο και την ηλικία της μηχανής και τον τύπο καυσίμου. Δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 8 ο οποίος προκύπτει από την 4^η IMO GHG Μελέτη:

Engine Type	Fuel Type	Before 1983	1984-2000	2001+
Steam Turbines (and boilers)**	HFO	340*	340*	340*
	MDO	320*	320*	320*
	LNG	285*	285*	285*
Auxiliary engines	HFO	225	205*	195*
	MDO	210*	190*	185*
	LNG	N/A	173*	156*

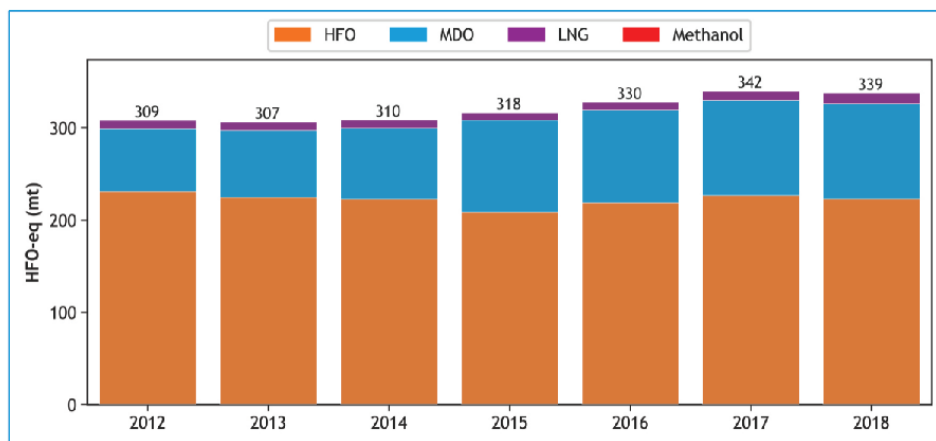
Πίνακας 8. Τιμές SFC_{base} σε g/kWh για διάφορους τύπους μηχανών, καυσίμων και ετών κατασκευής.

*Αλλαγή σε σχέση με την 3^η IMO GHG Μελέτη (2014), **Η μετατροπή μεταξύ καυσίμων έγινε χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες ενεργειακές πυκνότητες: HFO: 40.200 kJ/kg, MDO: 42.700 kJ/kg, LNG: 48.000 kJ/kg, Μεθανόλη: 19.900 kJ/kg (IMO 2018).



Εικόνα 25. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου (ισοδύναμο με HFO) ανά τύπο πλοίου και καυσίμου στην υπερπόντια ναυτιλία [Πηγή: UMAS].

Σημειώνεται ότι η επιλογή καυσίμων θα ακολουθήσει τα ευρήματα της 4^η IMO GHG Μελέτης για το διάστημα 2012-2018, όπου σύμφωνα με αυτά η κατανάλωση καυσίμων κατανέμεται σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 26. Στο διάγραμμα δίνεται η αναλογία καυσίμων που χρησιμοποιούνται από το σύνολο του παγκόσμιου στόλου για τα έτη 2012-2018.



Εικόνα 26. Ετήσια κατανάλωση καυσίμου (ισοδύναμο με ΗΦΟ) για τη συνολική ναυτιλία, συμπεριλαμβανομένης της κατανομής ανά τύπο καυσίμου [Πηγή: UMAS].

Παρόμοια συμπεράσματα με τα παραπάνω διαγράμματα δίνει ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος δίνεται από τη 4^η IMO GHG Μελέτη:

Fleet sector	Fuel	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Percentages for 2018	
Vessel-based allocation	International shipping	HFO	228,69	222,54	220,45	207,02	217,29	225,34	221,78	75,14%
		LNG	8,89	9,11	8,92	8,16	8,47	0,99	11,34	3,84%
		MDO	34,86	37,02	38,87	59,94	60,43	62,32	61,47	20,83%
		METHANOL	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,16	0,16	0,05%
		Total	272,43	26,87	268,34	275,95	287,04	298,32	295,16	100,00%
	Domestic navigation	HFO	2,14	1,99	1,93	1,31	1,28	1,25	1,13	3,62%
		LNG	0,05	0,06	0,09	0,07	0,07	0,06	0,01	0,03%
		MDO	21,43	23,47	25,57	26,71	26,53	28,34	29,16	93,31%
		METHANOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
		Total	24,25	26,21	28,33	28,86	28,65	30,48	31,25	100,00%
	Fishing	HFO	0,17	0,16	0,19	0,15	0,16	0,15	0,14	1,09%
		LNG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
		MDO	11,61	11,79	12,34	12,86	13,38	12,27	12,35	96,03%
		METHANOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
		Total	12,12	1,23	1,29	13,39	13,94	12,78	12,86	100,00%

Πίνακας 9. Υπερπόντια, εσωτερική και αλιευτική κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο καυσίμου, όπου τα σύνολα αντιπροσωπεύουν κατανάλωση καυσίμου ισοδύναμης με ΗΦΟ (σε εκατομμύρια τόνους).

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι εμφανές ότι τα συνηθέστερα καύσιμα που συναντώνται στη ναυτιλία είναι τα ΗΦΟ και ΜΔΟ. Συγκεκριμένα από τον Πίνακα 9 προκύπτει ότι το συνηθέστερο καύσιμο που χρησιμοποιείται σε διεθνείς κινήσεις πλοίων είναι το ΗΦΟ, ενώ σε εσωτερικές κινήσεις το συνηθέστερο καύσιμο είναι το ΜΔΟ. Στον ίδιο πίνακα δίνονται τα ποσοστά συμμετοχής του κάθε καυσίμου για το έτος 2018 και για κατάταξη αναλόγως τύπου πλοίου, με τις συνολικές τιμές (total) να

αντιπροσωπεύουν την ισοδύναμη κατανάλωση καυσίμου HFO. Τα παραπάνω ποσοστά θα χρησιμοποιηθούν για τη διαμόρφωση της συμμετοχής των καυσίμων HFO και MDO κατά τον ελλιμενισμό των εξεταζόμενων πλοίων.

Συνεπώς οι υπολογισμοί καταναλώσεων καυσίμων και αέριων εκπομπών θα βασιστούν στις εξής τέσσερις παραδοχές:

1. Όλα τα εξεταζόμενα πλοία καταναλώνουν κατά το ελλιμενισμό τους αποκλειστικά HFO ή MDO.
2. Για εσωτερικές κινήσεις θα θεωρηθεί κατανάλωση καυσίμου κατά 5% HFO και κατά 95% MDO.
3. Για διεθνείς κινήσεις θα θεωρηθεί κατανάλωση καυσίμου κατά 75% HFO και κατά 25% MDO.
4. Ως πιο αντιπροσωπευτικό έτος (όπου αυτό απαιτείται) επιλέγεται το έτος 2018.

Περιγραφή μεθόδου υπολογισμού

Με βάση τους πίνακες αφίξεων – αναχωρήσεων κάθε πλοίου θα προσδιοριστεί η ημερομηνία αφίξης του στην αντίστοιχη θέση λιμενικού σταθμού και η ημερομηνία αναχώρησής του από αυτήν. Η διαφορά των δύο ημερομηνιών θα δώσει τον χρόνο ελλιμενισμού του πλοίου. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τη διάρκεια ελλιμενισμού και όσα διατυπώθηκαν στην παράγραφο 4.1.2 θα υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση καυσίμου για τον εξεταζόμενο ελλιμενισμό.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους ελλιμενισμούς, όλων των θέσεων του λιμενικού σταθμού κατά το εξεταζόμενο διάστημα. Το άθροισμα των παραπάνω καταναλώσεων θα δώσει την συνολική κατανάλωση καυσίμου που λαμβάνει χώρα σε κάθε θέση των λιμενικών σταθμών κατά το εξεταζόμενο διάστημα.

4.1.3 Εκτίμηση εκπομπών αέριων ρύπων ανά τύπο μηχανής και καυσίμου

Σε αυτή την παράγραφο θα εκτιμηθούν οι εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό των σκαφών. Συνεπώς θα εξεταστούν οι εκπομπές μόνο των βοηθητικών μηχανών και λεβήτων. Ο υπολογισμός της ωριαίων εκπομπών αέριων ρύπων κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού, υπολογίζεται σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέρονται στη 4^η IMO GHG Μελέτη. Σύμφωνα με αυτήν, ο υπολογισμός των εκπομπών χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

1. Υπολογισμός βάσει κατανάλωσης καυσίμου (fuel-based): Οι εκπομπές των αέριων ρύπων εξαρτώνται από τη χημική σύνθεση του καυσίμου και υπολογίζονται βάσει της ποσότητας των ρυπαντών που περιέχονται στο καύσιμο. Συνεπώς οι εκπομπές υπολογίζονται βάσει των ωριαίων καταναλώσεων καυσίμου FC_{AE} , FC_{BO} χρησιμοποιώντας κατάλληλο συντελεστή εκπομπών $EF_{f,i}$ (g ρύπου i/g καυσίμου) του ρύπου i. Σε αυτή την περίπτωση οι αντίστοιχες ωριαίες εκπομπές $EM_{i,AE}$ και $EM_{i,BO}$ υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$EM_{i,AE} = EF_{f,i,AE} \cdot FC_{AE} \quad (4a)$$

$$EM_{i,BO} = EF_{f,i,BO} \cdot FC_{BO} \quad (4b)$$

Παραδείγματα ρύπων που υπολογίζονται με τον παραπάνω τρόπο είναι:

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).
- Τα οξείδια του αζώτου (SO_x).
- Αιθάλη (BC)

2. Υπολογισμός βάσει ενέργειας (energy-based): Οι εκπομπές των αέριων ρύπων εξαρτώνται από τον τύπο του κινητήρα ή/και την ηλικία του και υπολογίζονται βάσει των ισχύων \dot{W}_{AE} , \dot{W}_{BO} χρησιμοποιώντας κατάλληλο συντελεστή εκπομπών του ρύπου j $EF_{e,j}$ (g ρύπου j/kWh). Σε αυτή την περίπτωση οι αντίστοιχες ωριαίες εκπομπές $EM_{j,AE}$ και $EM_{j,BO}$ του ρύπου j υπολογίζονται από τη σχέση:

$$EM_{j,AE} = EF_{e,j,AE} \cdot \dot{W}_{AE} \quad (5a)$$

$$EM_{j,BO} = EF_{e,j,BO} \cdot \dot{W}_{BO} \quad (5b)$$

Παραδείγματα ρύπων που υπολογίζονται με τον παραπάνω τρόπο είναι:

- Τα οξείδια του αζώτου (NO_x).
- Τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} και PM₁₀.
- Το μεθάνιο (CH₄).
- Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).
- Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O).
- Οι πτητικές οργανικές ενώσεις NMVOC.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι εκπομπές των ρύπων EM_i και EM_j θα προκύψουν από τον προσδιορισμό των αντίστοιχων συντελεστών εκπομπών και τη χρήση των σχέσεων (4) και (5), αναλόγως ρύπου. Οι συντελεστές εκπομπών θα υπολογιστούν χρησιμοποιώντας σχέσεις και πίνακες της 4η IMO GHG Μελέτης. Σημειώνεται ότι όπου απαιτούνται τιμές περιεκτικότητας (π.χ. S), θα λαμβάνονται οι πιο πρόσφατες ως πιο αντιπροσωπευτικές.

Συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα EF_{f,CO_2}

Για τις εκπομπές CO₂ θα χρησιμοποιηθεί η σχέση (8). Ο συντελεστής EF_{f,CO_2} θα προσδιοριστεί από τις τιμές που δίνονται στην «Resolution MEPC.308(73)» για τον υπολογισμό EEDI. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 10, ο οποίος δίνει τις τιμές του EF_{f,CO_2} (g CO₂/g fuel) ανά τύπο καυσίμου:

Fuel type	Carbon Content	EF_{f,CO_2} (g CO ₂ /g fuel)
HFO	0,8493	3,114
MDO	0,8744	3,206
LNG	0,7500	2,750
Methanol	0,3750	1,375
LSHFO 1.0%	0,8493	3,114

Πίνακας 10. Συντελεστές EF_{f,CO_2} και ποσοστό περιεκτικότητας σε άνθρακα για συνήθη καύσιμα.

Συντελεστής εκπομπών οξειδίων του θείου EF_{f,SO_x}

Τα επίπεδα εκπομπών οξειδίων του θείου ποικίλουν αναλόγως της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο, της κατανάλωσης καυσίμου και τη χρήση συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων. Για τον υπολογισμό των εκπομπών οξειδίων του θείου θα ακολουθήσουμε την υπόθεση που κάνει η 4^η IMO GHG Μελέτη, βάσει της οποίας ο παγκόσμιος στόλος δεν χρησιμοποιούσε scrubbers (διάταξη καθαρισμού καυσαερίων) μεταξύ 2012 και 2018. Σημειώνεται ότι οι Half, Younes and Boersma (2019) ανέφεραν ότι μέχρι το 2018 μόλις το 1% του παγκόσμιου στόλου είχε εγκαταστήσει scrubbers. Συνεπώς για τον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπών οξειδίων του θείου θα ληφθεί υπόψη μόνο η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο μέσω της σχέσης:

$$EF_{f,SO_x} = 2 \cdot 0,97753 \cdot S \quad (6)$$

Σημειώνεται ότι στην παραπάνω σχέση: α) η ερμηνεία του συντελεστή 2 σχετίζεται με την αναλογία του μοριακού βάρους του SO_2 σε σχέση με τα υπόλοιπα SO_x , τα οποία εκπέμπονται σε πολύ μικρότερο βαθμό και β) η ερμηνεία του 0,97753 σχετίζεται με την υπόθεση ότι το 97,753% του θείου μετατρέπεται σε SO_x . Οι μέσες περιεκτικότητες σε θείο των συνηθέστερων καυσίμων, δίνονται ανά έτος αναφοράς στον παρακάτω Πίνακα 11. Σε αυτή την εργασία θα ληφθούν υπόψη οι τιμές του 2018 ως πιο αντιπροσωπευτικές:

Μέση περιεκτικότητα καυσίμων σε S							
Fuel type	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
HFO	2,51	2,43	2,46	2,45	2,58	2,60	2,60
MDO	0,14	0,13	0,12	0,08	0,08	0,08	0,07

Πίνακας 11. Περιεκτικότητα % κ.β. σε θείο για συνήθη καύσιμα συναρτήσει έτους αναφοράς.

Ο Πίνακας 10 σε συνδυασμό με τη σχέση 6 οδηγεί στον παρακάτω Πίνακα 12.

EF_{f,SO_x} (g SO_x /g fuel)							
Fuel type	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
HFO	0,0491	0,0475	0,0481	0,0479	0,0504	0,0508	0,0508
MDO	0,0027	0,0025	0,0023	0,0016	0,0016	0,0016	0,0014

Πίνακας 12. Τιμές του EF_{f,SO_x} (g SO_x /g fuel) ανά τύπο καυσίμου και έτους αναφοράς.

Συντελεστής εκπομπών αιθάλης $EF_{f,BC}$

Για τον προσδιορισμό των εκπομπών αιθάλης θα χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές ανά τύπο πλοίου που δίνονται στη μελέτη «Black Carbon Emissions and Fuel Use in Global Shipping 2015». Αυτοί δίνονται για τα υπό εξέταση πλοία στον παρακάτω Πίνακα 13:

Ship type	BC EF_f (g/kg fuel) ^a
Container	0,26 (0,20 - 0,32)
Bulk carrier	0,22 (0,17 - 0,27)
Oil tanker	0,26 (0,22 - 0,29)
Chemical tanker	0,25 (0,20 - 0,29)
General cargo	0,28 (0,22 - 0,33)
Cruise	0,34 (0,28 - 0,40)
Ferry-ro-pax	0,26 (0,19 - 0,32)

Liquefied gas tanker	0,14 (0,12 - 0,16)
Vehicle	0,21 (0,16 - 0,26)
Service-other	0,32 (0,26 - 0,37)
Ro-ro	0,26 (0,22 - 0,31)
Refrigerated bulk	0,29 (0,26 - 0,32)
Ferry-pax only	0,22 (0,18 - 0,26)
Other liquid tanker	0,20 (0,19 - 0,21)

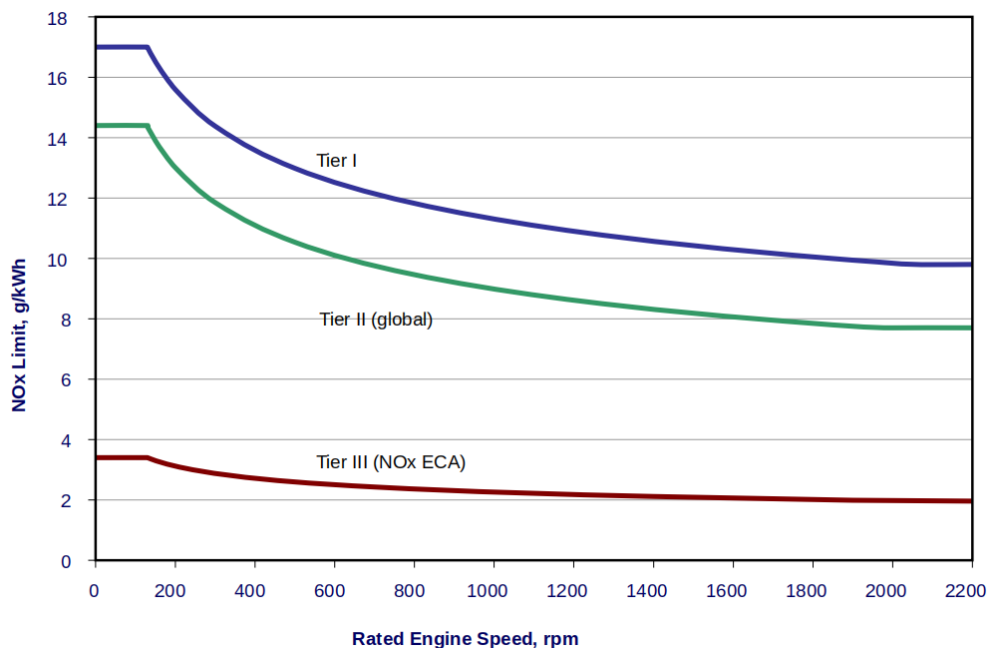
Πίνακας 13 ^aΚαλύτερη εκτίμηση, με χαμηλό-υψηλό εύρος σε παρένθεση [37].

Συντελεστής εκπομπών οξειδίων του αζώτου $EF_{e,NOx}$

Για τις εκπομπές NO_x θα χρησιμοποιηθεί η σχέση (7). Γενικά ο υπολογισμός του συντελεστή $EF_{f,NOx}$ είναι συνάρτηση των στροφών της μηχανής σε συνδυασμό με το έτος κατασκευής της (Engines Tier Classification). Στον παρακάτω Πίνακα 14 δίνεται ο τρόπος υπολογισμού των ορίων που θέτει η MARPOL, Annex VI και αναπαρίσταται γραφικά στο διάγραμμα της Εικόνας 27.

Tier	Earliest Ship Construction Date	$EF_{e,NOx}$ (g/kWh) $n = \text{engine's rated speed (RPM)}$		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
I	1/1/2000	17,00	$45 \cdot n^{-0,2}$	9,80
II	1/1/2011	14,40	$44 \cdot n^{-0,23}$	7,70
III	1/1/2016	3,40	$9 \cdot n^{-0,2}$	2,00

Πίνακας 14. Κατάταξη κινητήρων βάσει έτους κατασκευής (Tiers) και τα αντίστοιχα όρια εκπομπών. $EF_{f,NOx}$ συναρτήσει στροφών κινητήρα.



Εικόνα 27. Όρια εκπομπών NO_x (MARPOL Annex VI) αναλόγως έτους κατασκευής της μηχανής [dieselnet.com].

Ο παρακάτω Πίνακας 15 δίνεται από την 4^η GHG Μελέτη έπειτα από εφαρμογή του Πίνακα 14 και παρουσιάζει τις τιμές του $EF_{f,NOx}$ (g NO_x /kWh) συναρτήσει των στροφών και του έτους κατασκευής της μηχανής. Σε αυτόν προστέθηκαν όρια για τις βοηθητικές μηχανές και τους λέβητες στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Για την περίπτωση των βοηθητικών μηχανών θεωρήθηκε ταχύτητα

περιστροφής ίση με $n=900$ RPM, ενώ για την περίπτωση των λεβήτων θεωρήθηκε σταθερή εκπομπή $2,1$ g/kWh (ίση με το όριο για Tier 0).

Engine type	HFO, LSHFO & MDO $EF_{e,NOx}$ (g NOx/kWh)			
	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3
SS (Slow Speed engine)	18,1	17,0	14,4	3,4
MS (Medium Speed engine)	14,0	13,0	10,5	2,6
HS (High Speed engine)	10,0	9,8	7,7	2,0
Auxiliary Engine	11,2	11,5	9,2	2,3
Boiler and Steam Turbine	2,1	2,1	2,1	2,1
Gas Turbine	6,1			

Πίνακας 15. Συντελεστές $EF_{f,NOx}$ για διαφορετικούς τύπους κινητήρων, βαθμίδες Tiers και καύσιμα.

Συντελεστές εκπομπών οξειδίων του αζώτου $EF_{e,PM10}$ και $EF_{e,PM2.5}$

Ο συντελεστής εκπομπών οξειδίων του αζώτου $EF_{e,PM10}$ μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει της περιεκτικότητας S και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου SFC_i από τις παρακάτω σχέσεις, αναλόγως καυσίμου:

$$\text{HFO: } EF_{e,PM10} = 1,35 + SFC_{base} \cdot 7 \cdot 0,02247 \cdot (S - 0,0246) \quad (7)$$

$$\text{MDO/MGO: } EF_{e,PM10} = 0,23 + SFC_{base} \cdot 7 \cdot 0,02247 \cdot (S - 0,0024) \quad (8)$$

$$\text{LNG: } EF_{e,PM10} = 0,02 \text{ g PM}_{10}/\text{kWh} \text{ (βοηθητικές μηχανές), } EF_{e,PM10} = 0,03 \text{ g PM}_{10}/\text{kWh} \text{ (βοηθητικοί λέβητες).}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 16:

Engine Type	Fuel Type	EF_e, PM_{10} (g PM ₁₀ /kWh)						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Steam Turbines (and boilers)	HFO	1,377	1,334	1,350	1,345	1,414	1,425	1,425
	MDO	0,182	0,177	0,172	0,152	0,152	0,152	0,147
Auxiliary engines	HFO	1,365	1,341	1,350	1,347	1,387	1,393	1,393
	MDO	0,201	0,198	0,195	0,183	0,183	0,183	0,181

Πίνακας 16. Τιμές του $EF_{e,PM10}$ (g PM₁₀/kWh) ανά τύπο μηχανής, τύπο καυσίμου και έτους αναφοράς.

Οι συντελεστές $EF_{e,PM2.5}$ λαμβάνονται ως το 92% των αντίστοιχων συντελεστών $EF_{e,PM10}$ [4η IMO GHG Study]. Συνεπώς προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 17:

Engine Type	Fuel Type	$EF_e, PM_{2.5}$ (g PM _{2.5} /kWh)						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Steam Turbines (and boilers)	HFO	1,267	1,227	1,242	1,237	1,301	1,311	1,311
	MDO	0,168	0,163	0,158	0,140	0,140	0,140	0,135
Auxiliary engines	HFO	1,256	1,234	1,242	1,239	1,276	1,282	1,282
	MDO	0,185	0,182	0,179	0,169	0,169	0,169	0,166

Πίνακας 17. Τιμές του $EF_{e,PM2.5}$ (g PM_{2.5}/kWh) ανά τύπο μηχανής, τύπο καυσίμου και έτους αναφοράς

Συντελεστής εκπομπών μεθανίου $EF_{e,CH4}$

Ακολουθώντας τη 4^η IMO GHG Μελέτη και τη σχετική μελέτη των Pavlenko et al. οι τιμές του $EF_{e,CH4}$ δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 18 ανά τύπο μηχανής και τύπο καυσίμου:

Engine Type	Fuel Type	CH ₄ (g/kWh)
Steam Turbines (and boilers)	HFO	0,002
	MDO	0,002
	LNG	0,04
Auxiliary Engines	HFO	0,01
	MDO	0,01
	LNG	Depends on engine type

Πίνακας 18. Συντελεστής EF_{e,CH_4} για διάφορους τύπους μηχανών και καυσίμων.

Συντελεστής εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα $EF_{e,CO}$

Ακολουθώντας τη 4^η IMO GHG Μελέτη οι τιμές του $EF_{e,CO}$ δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 19 ανά τύπο μηχανής και τύπο καυσίμου:

Engine type	HFO & LSHFO $EF_{e,CO}$ (g CO/kWh)	MDO $EF_{e,CO}$ (g CO/kWh)	Methanol $EF_{e,CO}$ (g CO/kWh)
Auxiliary Engine	0,540	0,540	-
Boiler and Steam Turbine	0,200	0,200	-

Πίνακας 19. Συντελεστής $EF_{e,CO}$ για διάφορους τύπους μηχανών και καυσίμων.

Συντελεστής εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα EF_{e,N_2O}

Ακολουθώντας τη 4^η IMO GHG Μελέτη οι τιμές του EF_{e,N_2O} δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 20 ανά τύπο μηχανής και τύπο καυσίμου:

Engine type	HFO & LSHFO EF_{e,N_2O} (g N ₂ O/kWh)	MDO EF_{e,N_2O} (g N ₂ O/kWh)	Methanol EF_{e,N_2O} (g N ₂ O/kWh)
Auxiliary Engine	0,040	0,036	-
Boiler and Steam Turbine	0,040	0,049	-

Πίνακας 20. Συντελεστής EF_{e,N_2O} για διάφορους τύπους μηχανών και καυσίμων.

Συντελεστής εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα $EF_{e,NM VOC}$

Ακολουθώντας τη 4^η IMO GHG Μελέτη οι τιμές του $EF_{e,NM VOC}$ δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 21 ανά τύπο μηχανής και τύπο καυσίμου:

Engine type	HFO, MDO & LSHFO $EF_{e,NM VOC}$ (g NMVOC/kWh)	Methanol $EF_{e,NM VOC}$ (g NMVOC/kWh)
Auxiliary Engine	0,421	-
Boiler and Steam Turbine	0,105	-

Πίνακας 21. Συντελεστής $EF_{e,NM VOC}$ για διάφορους τύπους μηχανών.

Περιγραφή μεθόδου υπολογισμού

Όπως περιγράφηκε παραπάνω, ο υπολογισμός των αέριων ρύπων γίνεται, αναλόγως ρύπου, μέσω της καταναλισκόμενης ισχύος ή μέσω της καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμου. Συνεπώς για κάθε ελλιμενισμό κάθε θέσης λιμενικού σταθμού θα υπολογιστεί η εκπεμπόμενη ποσότητα κάθε ρύπου. Στη συνέχεια αυτές θα αθροιστούν δίνοντας τη συνολική εκπεμπόμενη ποσότητα κάθε ρύπου στην κάθε θέση των λιμενικών σταθμών κατά το εξεταζόμενο διάστημα.

4.2 Σταθμός Ακτοπλοΐας

4.2.1 Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Ακτοπλοΐας, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια

Στην Εικόνα 19 παρουσιάζονται οι επιβατικοί σταθμοί του Σταθμού Ακτοπλοΐας, οι Πύλες (E1 – E10) και οι θέσεις ελλιμενισμού, οι οποίες προσδιορίζονται μέσω αρίθμησης των αντίστοιχων δεσμών. Οι θέσεις ελλιμενισμού των πλοίων ενδέχεται να μεταβάλλεται αναλόγως των λειτουργικών αναγκών του Λιμένος και των δρομολογίων των εξυπηρετούμενων πλοίων. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας υιοθετήθηκε η κατανομή του Πίνακα 22. Τα πλοία των ακτοπλοϊκών γραμμών ελλιμενίζονται αναλόγως προορισμού στους παρακάτω επιβατικούς σταθμούς:

- Επιβατικός Σταθμός Περικλέους (Ακτήs Βασιλειάδη): Εξυπηρετεί πλοία με προορισμό κυρίως τα Δωδεκάνησα μέσω της Πύλης E1. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα πλοία Blue Galaxy, Blue Star 1, Blue Star 2, Blue Star Patmos και Nissos Chios.
- Επιβατικός Σταθμός Ηετίωνος: Εξυπηρετεί πλοία με προορισμό κυρίως τα Δωδεκάνησα, τη Μυτιλήνη, τη Σάμο, την Ικαρία, την Χίο και την Κρήτη μέσω της Πύλης E2. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα πλοία Diagoras, Festos Palace, Knossos Palace, Nissos Rodos και Nissos Samos.
- Επιβατικός Σταθμός Αγίου Διονυσίου: Εξυπηρετεί πλοία με προορισμό κυρίως την Κρήτη και τις Κυκλάδες μέσω των Πυλών E3, E4, E5 και E6. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα πλοία Blue Horizon, Eleftherios Venizelos, Elyros και Kriti II με προορισμό την Κρήτη (Πύλη E3) και τα πλοία Anemos (Πύλη E4), Blue Star Naxos (Πύλη E5) και Blue Star Paros (Πύλη E6) με προορισμό τις Κυκλάδες.
- Επιβατικός Σταθμός Καραϊσκάκη (Ακτήs Τζελέπη): Εξυπηρετεί πλοία κυρίως με προορισμό τις Κυκλάδες, τη Σάμο, την Ικαρία και τον Αργοσαρωνικό μέσω των Πυλών E7 και E8. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα πλοία Blue Star Delos και Nissos Mykonos με προορισμό τις Κυκλάδες, τη Σάμο και την Ικαρία (Πύλη E7) και τα πλοία Agios Nektarios, Achaeos, Antigone, Apollon Hellas, Poseidon Hellas και Phivos (Πύλη E8) με προορισμό τον Αργοσαρωνικό.
- Επιβατικός Σταθμός Αγίου Σπυριδωνα: Εξυπηρετεί πλοία κυρίως με προορισμό τις δυτικές Κυκλάδες μέσω των Πυλών E9 και E10. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα πλοία Aqua Jewel και Dionisios Solomos (Πύλη E9). Σημειώνεται ότι υδροπτέρυγα, ταχύπλοα και catamarans που αναχωρούν από την Πύλη E10 δεν θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία.

Στον παρακάτω Πίνακα 22 δίνονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά των πλοίων που εξετάστηκαν. Για τη σύνταξη των πινάκων αφίξεων – αναχωρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δρομολόγια που εκδίδονται από τις αντίστοιχες ακτοπλοϊκές εταιρείες. Το διάστημα εξέτασης ορίστηκε μεταξύ των μηνών 05/2023 και 10/2023, ως το πιο απαιτητικό από άποψη δρομολογίων.

#	Ship name	Ship type	GT	Year built	Length (m)	Width (m)	Gate
1	BLUE GALAXY	Ro-Ro/Passenger Ship	29.992	1992	192,00	27,00	E1
2	BLUE STAR 2	Ro-Ro/Passenger Ship	29.858	2000	176,10	26,20	E1
3	NISSOS CHIOS	Ro-Ro/Passenger Ship	13.955	2007	141,00	21,00	E1
4	BLUE STAR PATMOS	Ro-Ro/Passenger Ship	18.664	2012	145,90	23,20	E1
5	BLUE STAR 1	Ro-Ro/Passenger Ship	29.858	2000	176,00	26,00	E1
6	NISSOS RODOS	Ro-Ro/Passenger Ship	29.731	1987	192,50	27,28	E2
7	KNOSSOS PALACE	Ro-Ro/Passenger Ship	36.900	2001	214,00	32,00	E2
8	DIAGORAS	Ro-Ro/Passenger Ship	15.362	1990	141,54	23,00	E2
9	NISSOS SAMOS	Ro-Ro/Passenger Ship	30.694	1988	192,91	29,40	E2
10	FESTOS PALACE	Ro-Ro/Passenger Ship	36.894	2002	214,00	32,00	E2
11	F/B KRITI II	Ro-Ro/Passenger Ship	27.239	1979	191,80	29,40	E3
12	F/B ELYROS	Ro-Ro/Passenger Ship	33.635	1998	192,00	27,03	E3
13	BLUE HORIZON	Ro-Ro/Passenger Ship	27.230	1987	187,13	27,00	E3
14	F/B EL.VENIZELOS	Ro-Ro/Passenger Ship	38.261	1992	175,48	28,50	E3
15	ANEMOS	Ro-Ro/Passenger Ship	16.879	1980	136,11	24,24	E4
16	BLUE STAR NAXOS	Ro-Ro/Passenger Ship	10.438	2002	124,00	18,90	E5
17	BLUE STAR PAROS	Ro-Ro/Passenger Ship	10.438	2002	124,20	18,90	E6
18	BLUE STAR DELOS	Ro-Ro/Passenger Ship	18.498	2011	145,00	22,00	E7
19	NISSOS MYKONOS	Ro-Ro/Passenger Ship	14.251	2005	141,00	21,00	E7
20	ΑΧΑΙΟΣ	Ro-Ro/Passenger Ship	4.307	2006	87,70	16,00	E8
21	ΦΟΙΒΟΣ	Ro-Ro/Passenger Ship	3.437	1980	99,50	17,50	E8
22	ΠΟΣΕΙΔΩΝ ΕΛΛΑΣ	Ro-Ro/Passenger Ship	1.802	1998	87,32	13,77	E8
23	ΑΠΟΛΛΩΝ ΕΛΛΑΣ	Ro-Ro/Passenger Ship	1.821	1990	91,80	14,52	E8
24	ΑΓΙΟΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ	Ro-Ro/Passenger Ship	2.180	1964	71,94	12,73	E8
25	ΑΝΤΙΓΟΝΗ	Ro-Ro/Passenger Ship	956	2010	77,00	17,00	E8
26	ΔΙΟΝΙΣΙΟΣ ΣΟΛΟΜΟΣ	Ro-Ro/Passenger Ship	4.530	1990	121,53	21,00	E9
27	AQUA JEWEL	Ro-Ro/Passenger Ship	3.040	2002	96,00	16,60	E9

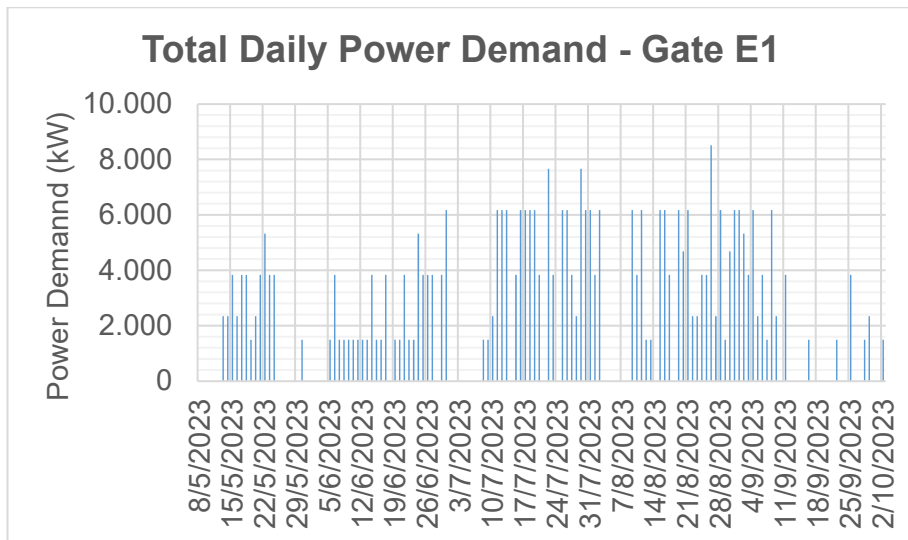
Πίνακας 22. Ελλιμενίζοντα πλοία Σταθμού Ακτοπλοΐας.

4.2.2 Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας

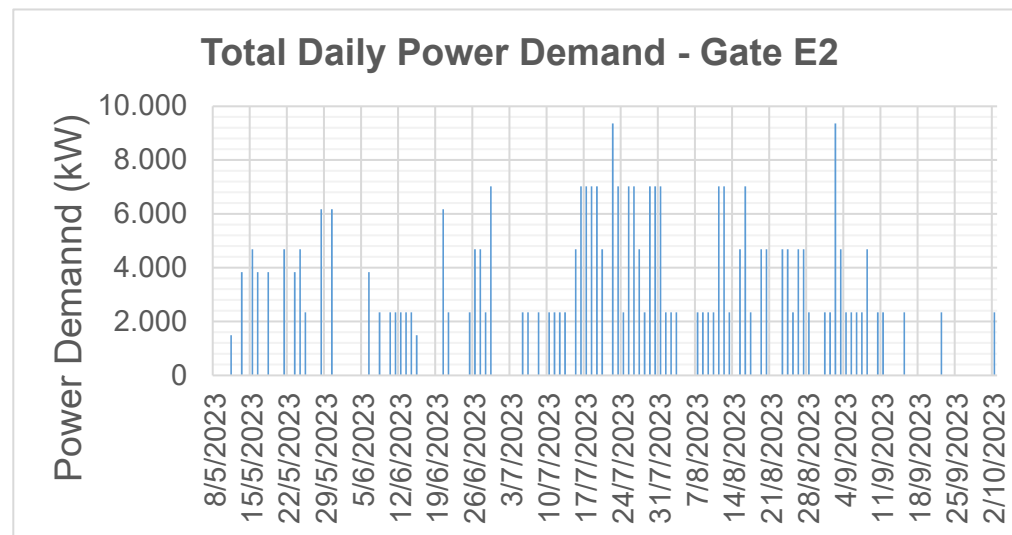
Με βάση όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.1 προκύπτουν τα παρακάτω Διαγράμματα 1 - 9, στα οποία απεικονίζεται η καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για την κάθε Πύλη. Επιπλέον, οι Πύλες E3, E4, E5, E6 συνδυάστηκαν για να προκύψει η απαίτηση στον Σταθμό Αγίου Διονυσίου και οι Πύλες E7, E8, E9 συνδυάστηκαν για να προκύψει η απαίτηση από τους Σταθμούς Καραϊσκάκη και Αγίου Σπυρίδωνα, δεδομένου ότι αυτοί θα εξυπηρετούνται από τον ίδιο υποσταθμό, εξαιτίας των μικρών φορτίων που απαιτούνται στον τελευταίο.

4.2.3 Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας

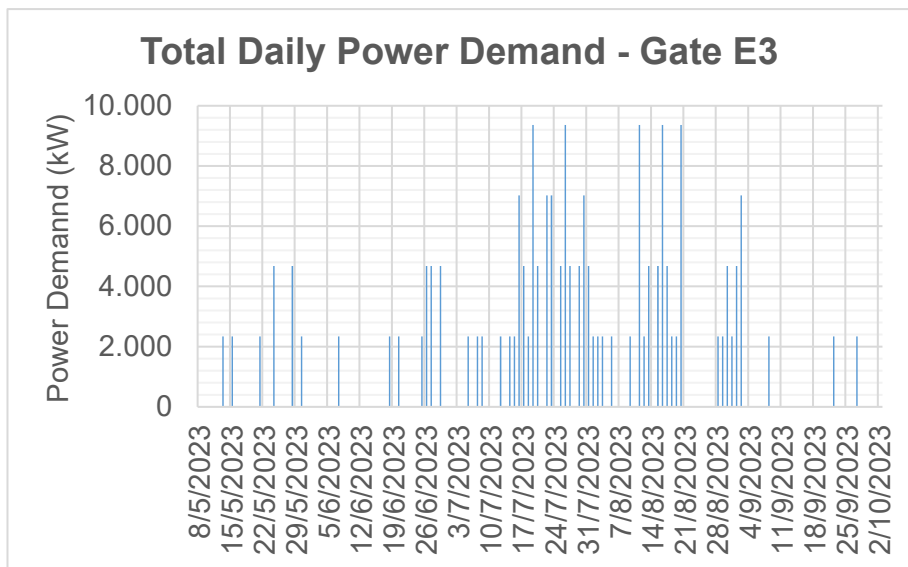
Ομοίως με την προηγούμενη παράγραφο και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.2, θα υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμων που πραγματοποιείται ανά Πύλη για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ισχύς κατά τον ελλιμενισμό. Η απαιτούμενη κατανάλωση καυσίμου ανά Πύλη δίνεται στο παρακάτω Διάγραμμα 10. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα δρομολόγια που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.2.1.



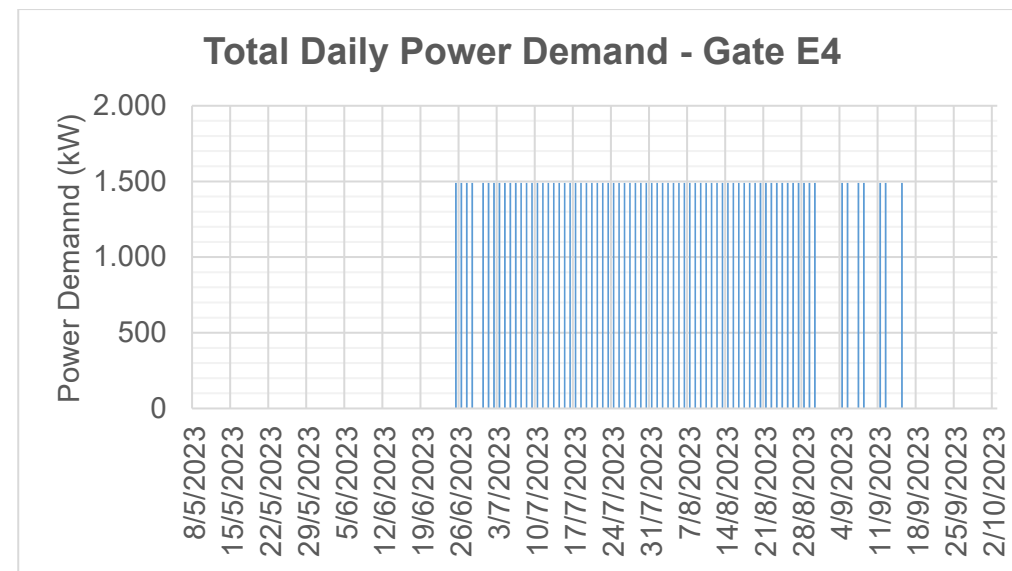
Διάγραμμα 1. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη E1.



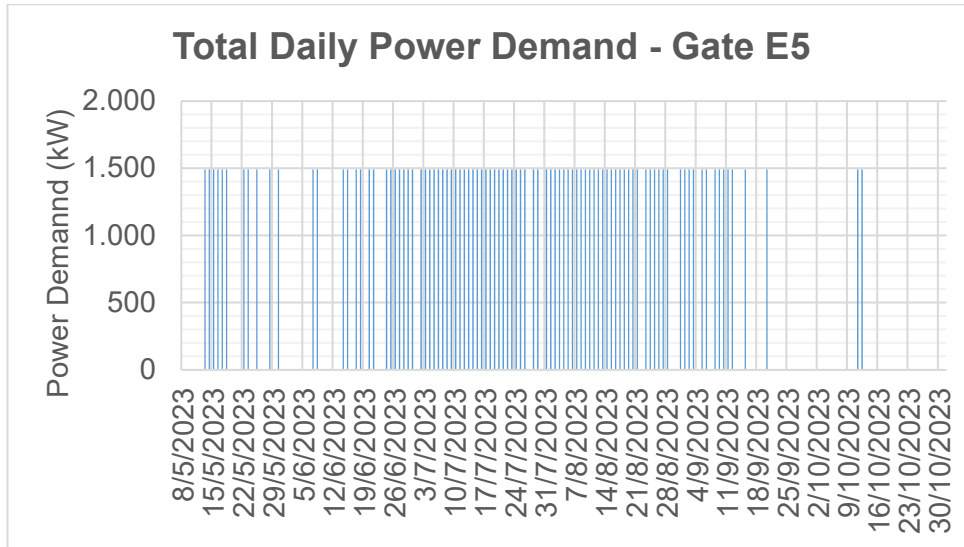
Διάγραμμα 2. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη E2.



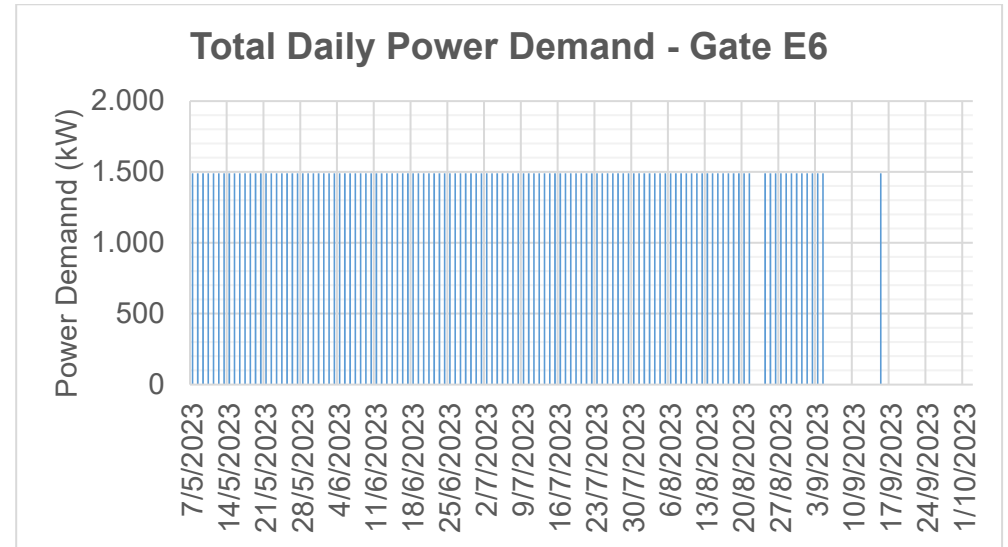
Διάγραμμα 3. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη E3.



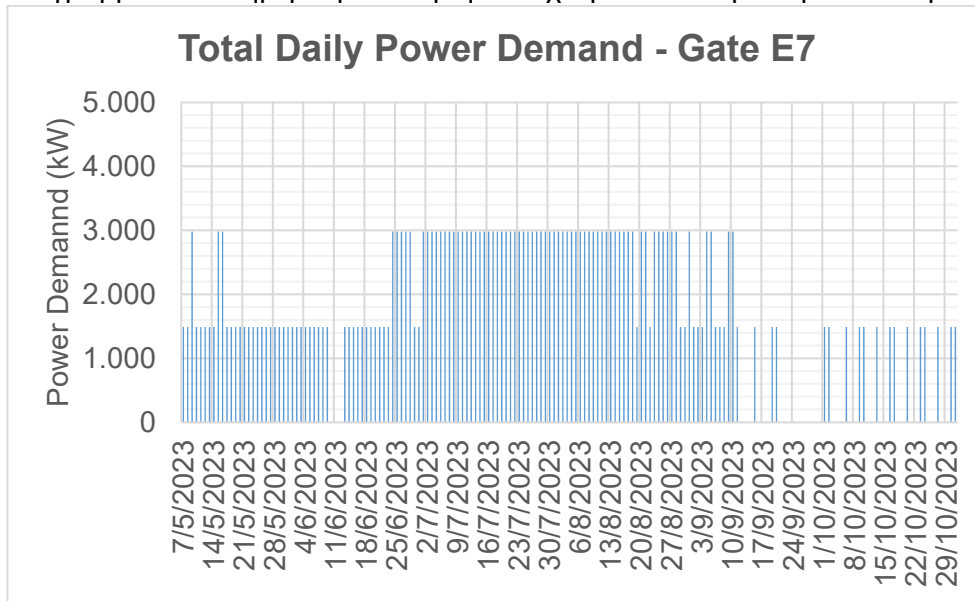
Διάγραμμα 4. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη E4.



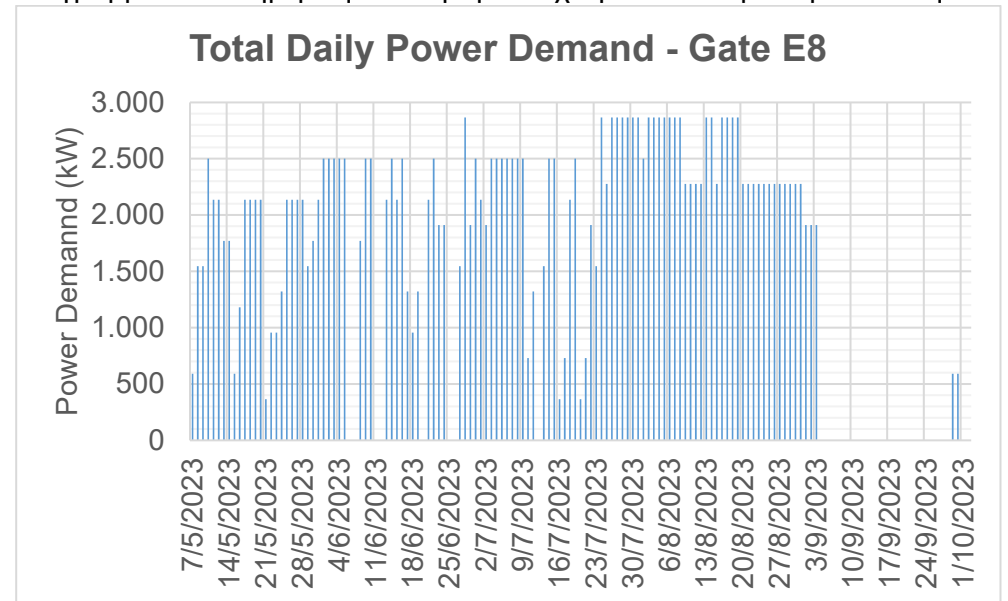
Διάγραμμα 5. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη Ε5.



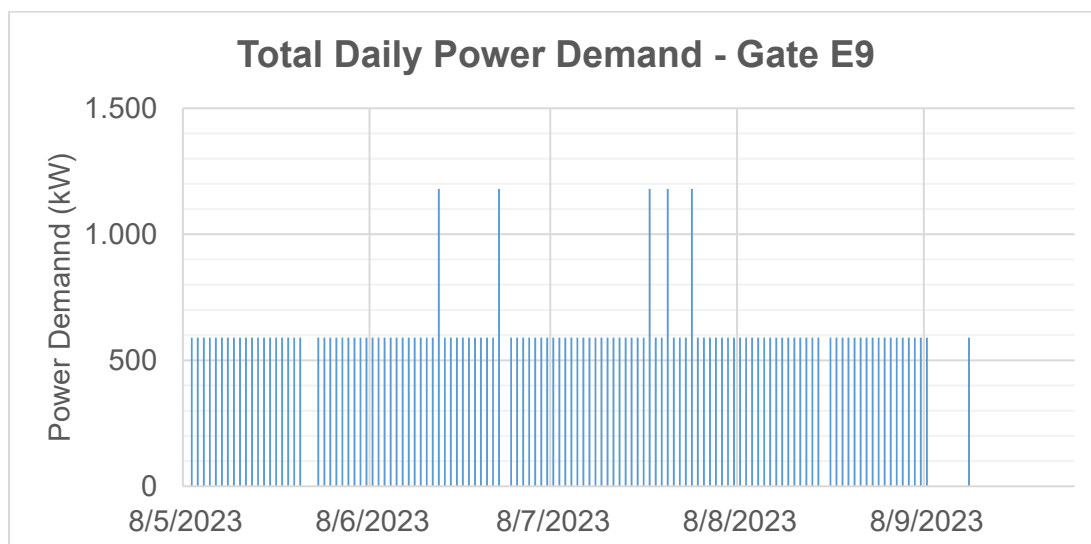
Διάγραμμα 6. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη Ε6.



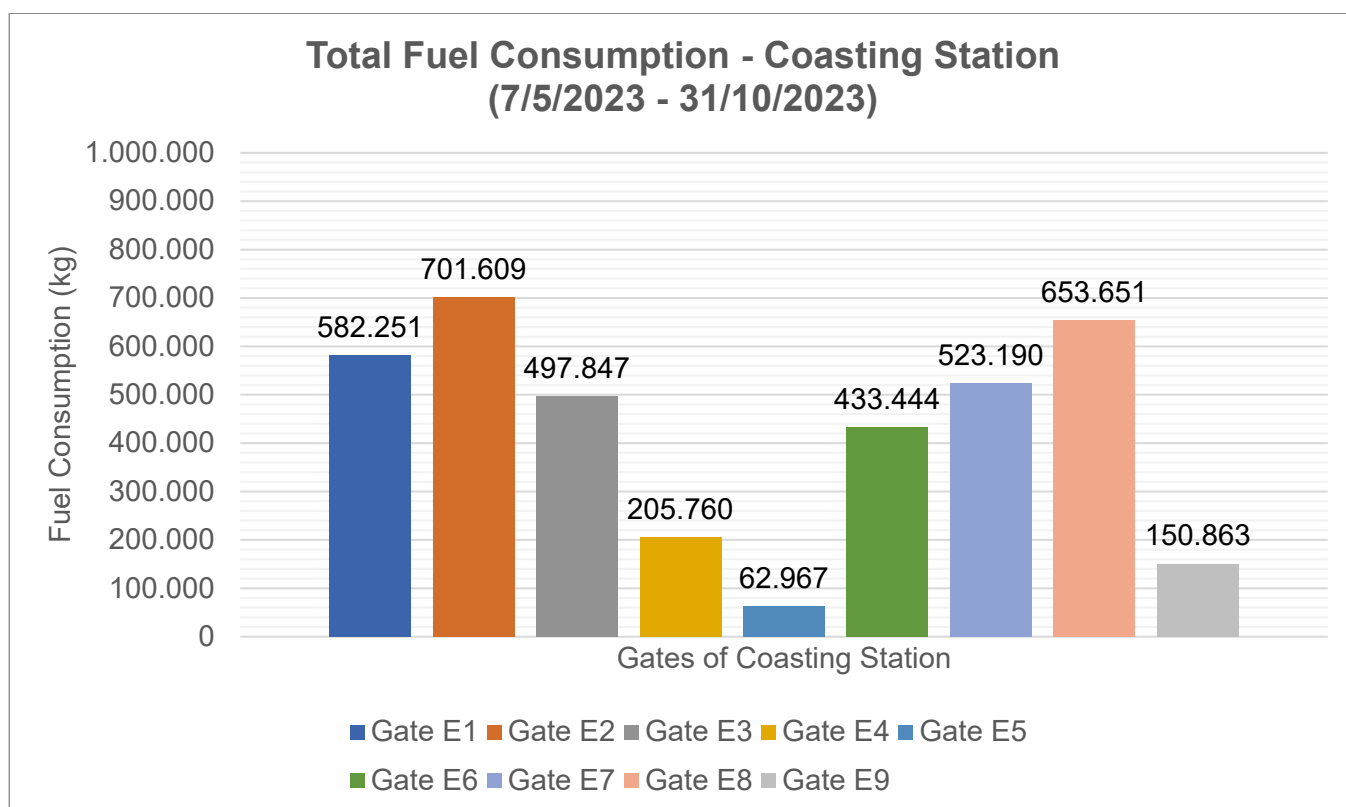
Διάγραμμα 7. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη Ε7.



Διάγραμμα 8. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη Ε8.



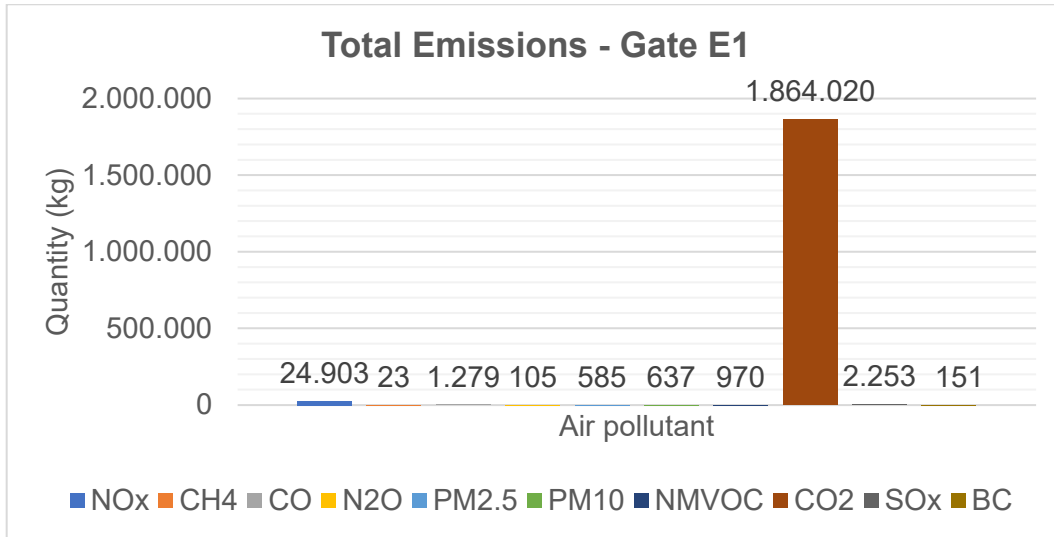
Διάγραμμα 9. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Πύλη E9.



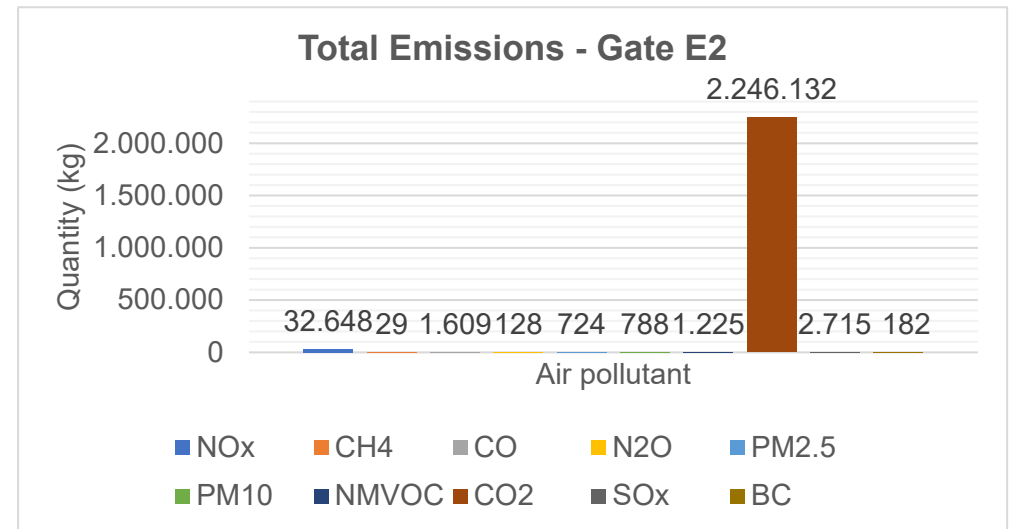
Διάγραμμα 10. Συνολική κατανάλωση καυσίμων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Ακτοπλοΐας.

4.2.4 Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας

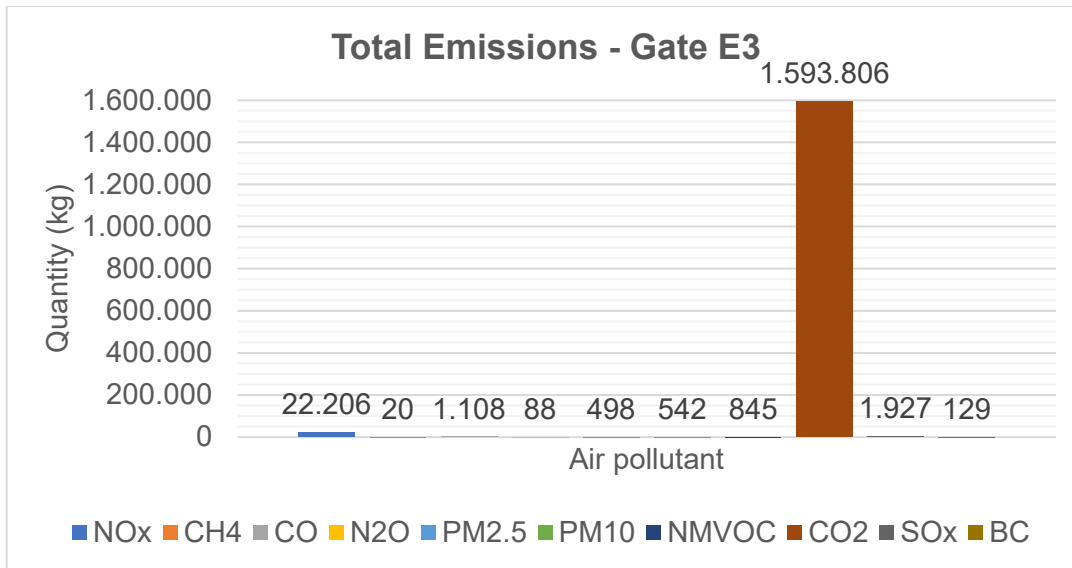
Ομοίως με τις προηγούμενες παραγράφους και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.3 θα υπολογίσουμε τις συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό, ανά Πύλη και ρύπο. Οι εκπομπές αυτές δίνονται στα παρακάτω Διαγράμματα 11 - 19. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα δρομολόγια που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.2.1.



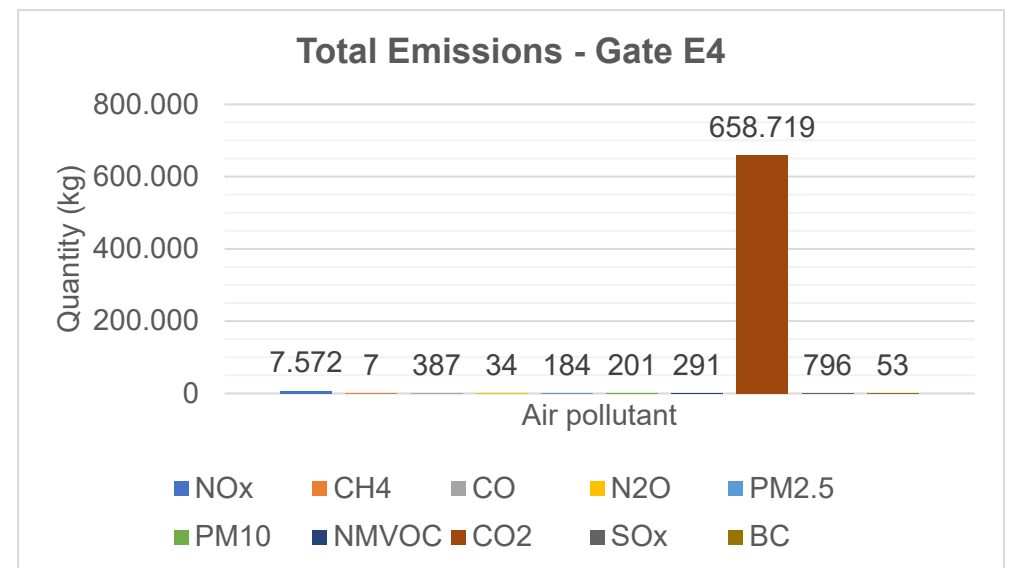
Διάγραμμα 11. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E1.



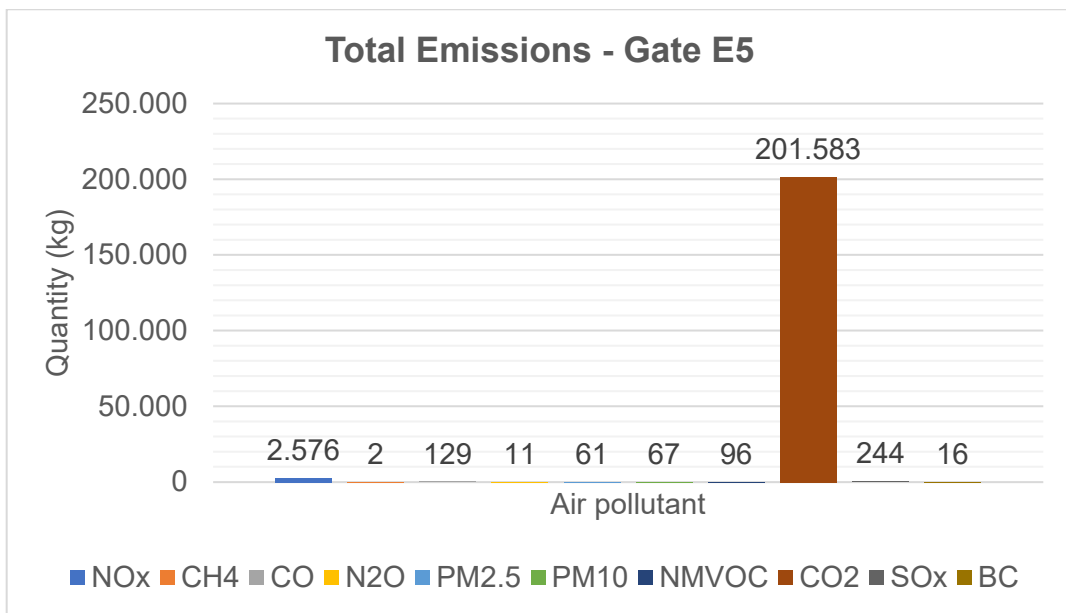
Διάγραμμα 12. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E2.



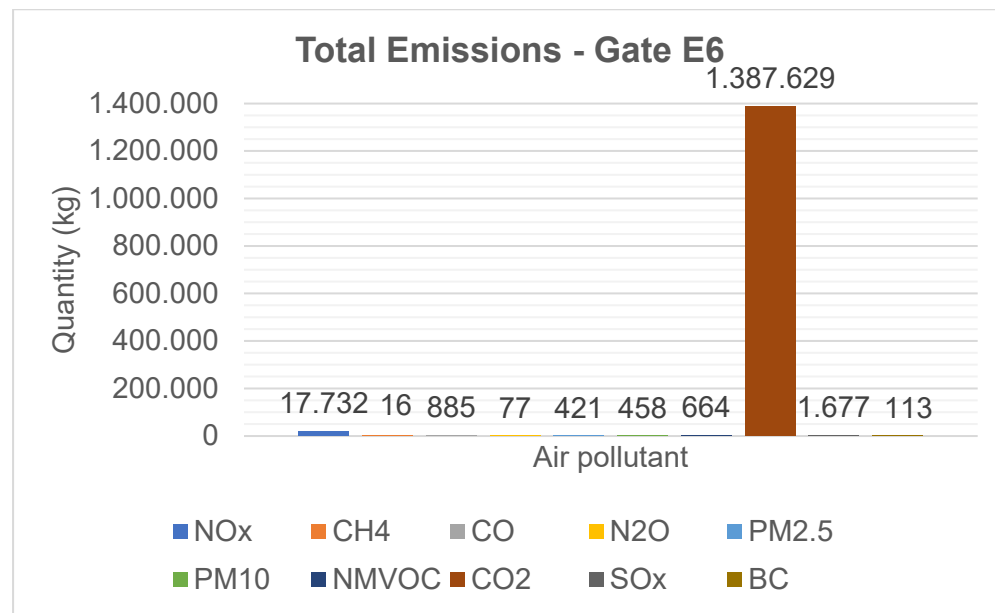
Διάγραμμα 13. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E3.



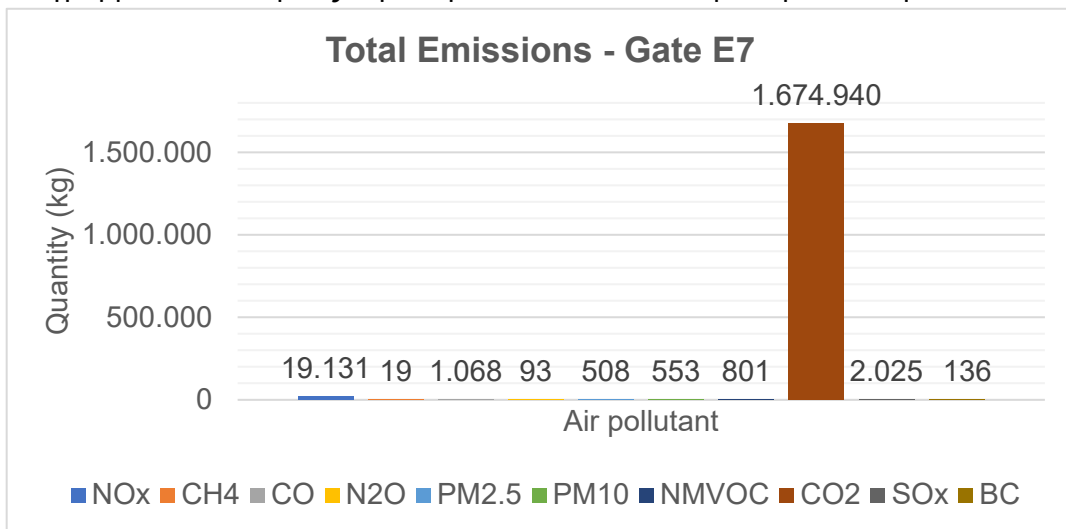
Διάγραμμα 14. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E4.



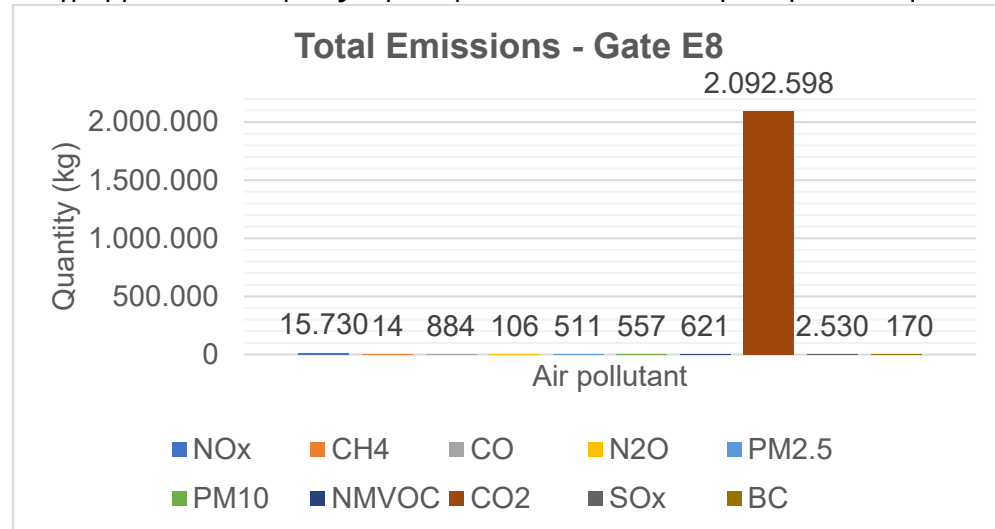
Διάγραμμα 15. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E5.



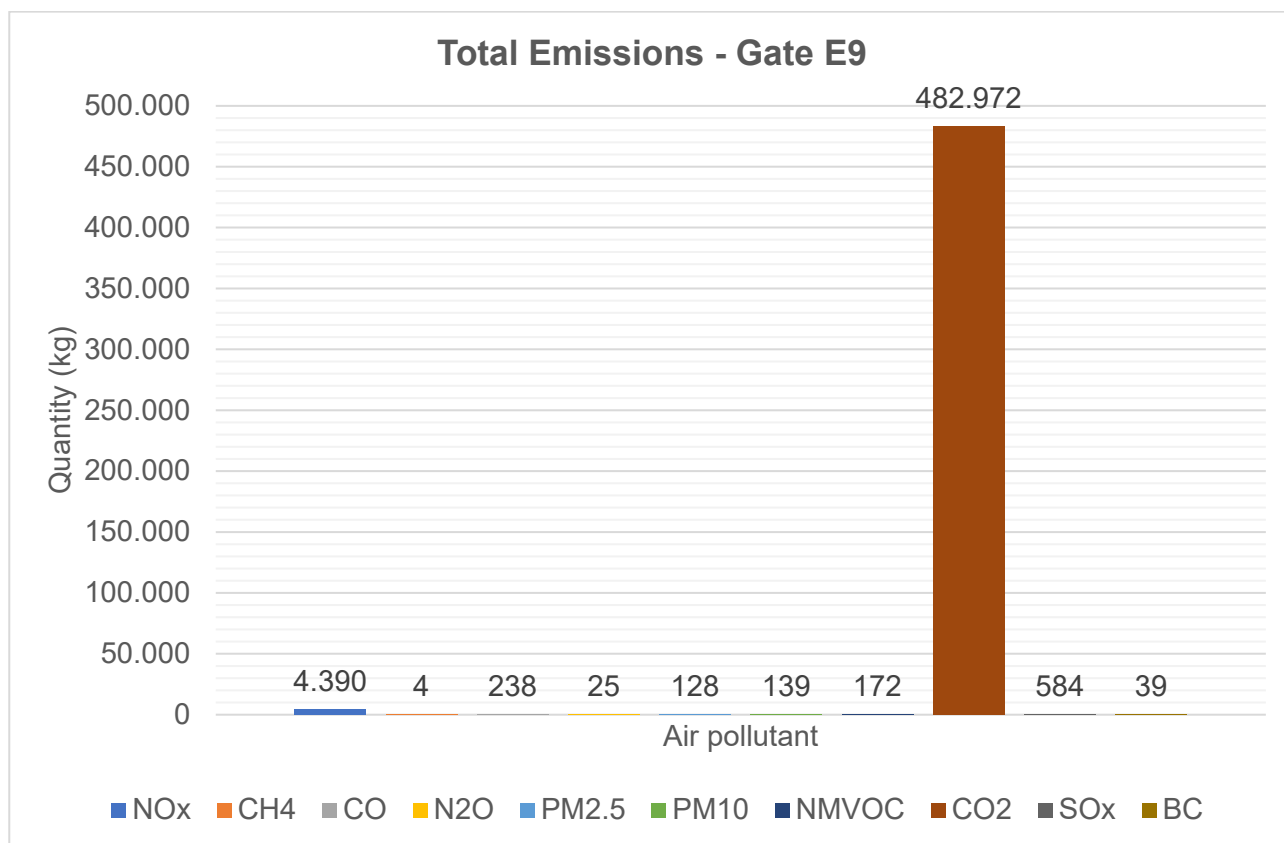
Διάγραμμα 16. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E6.



Διάγραμμα 17. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E7.



Διάγραμμα 18. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό - Πύλη E8.



Διάγραμμα 19. Εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό – Πύλη E9.

4.3 Σταθμός Κρουαζιέρας

4.3.1 Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Κρουαζιέρας, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια

Στην Εικόνα 20 παρουσιάζονται οι επιβατικοί σταθμοί του Σταθμού Κρουαζιέρας και οι θέσεις ελλιμενισμού, οι οποίες προσδιορίζονται μέσω αρίθμησης των αντίστοιχων δεσμών. Εξετάστηκαν οι επισκέψεις (port calls) 156 πλοίων κατά το διάστημα 1/1/2021 – 31/12/2023 (379 port calls εντός του 2021, 678 port calls εντός του 2022 και 778 port calls εντός του 2023). Αναλυτικά κάθε επιβατικός σταθμός δέχθηκε τα παρακάτω port calls κατά αυτό το διάστημα:

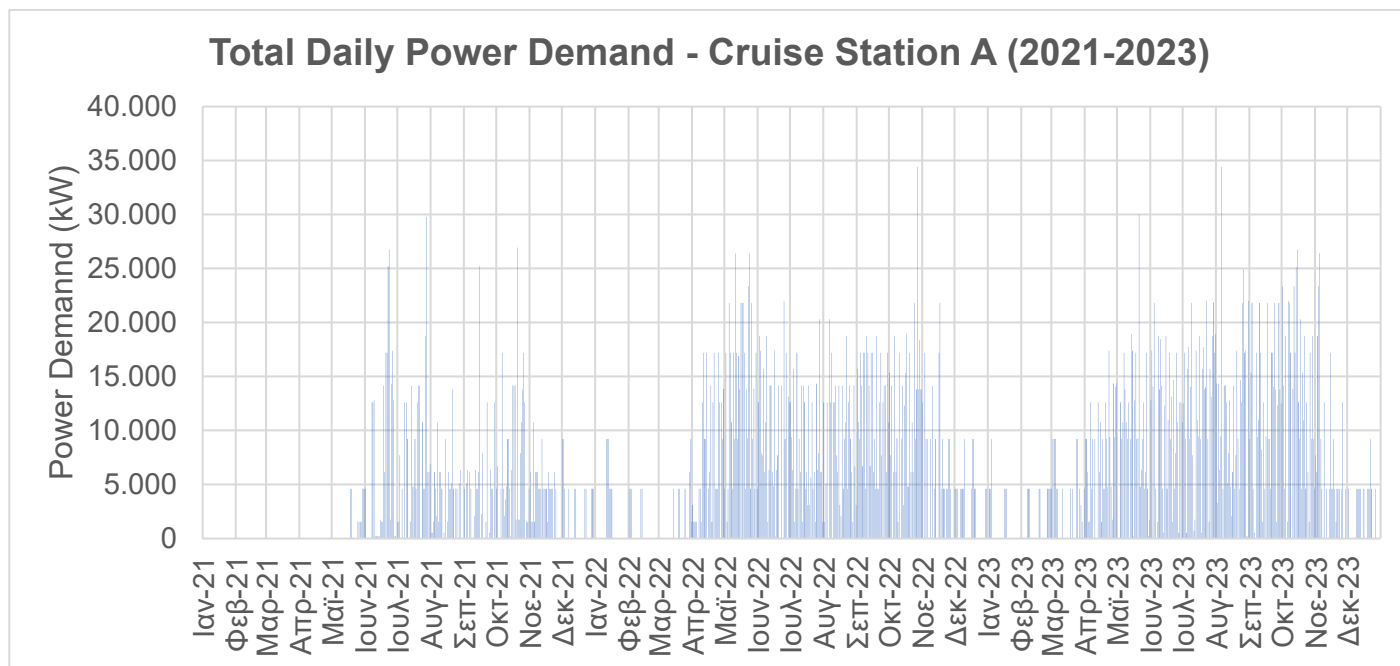
- Επιβατικός σταθμός A (Μιαούλης): 943 port calls από 112 πλοία.
- Επιβατικός σταθμός B (Θεμιστοκλής): 519 port calls από 91 πλοία.
- Επιβατικός σταθμός C (Άλκιμος): 372 port calls από 89 πλοία.

Τα port calls που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία παρασχέθηκαν από την Ο.Λ.Π. Α.Ε. Σημειώνεται ότι αναμένεται επέκταση του Σταθμού Κρουαζιέρας μέσω προσθήκης νέων θέσεων.

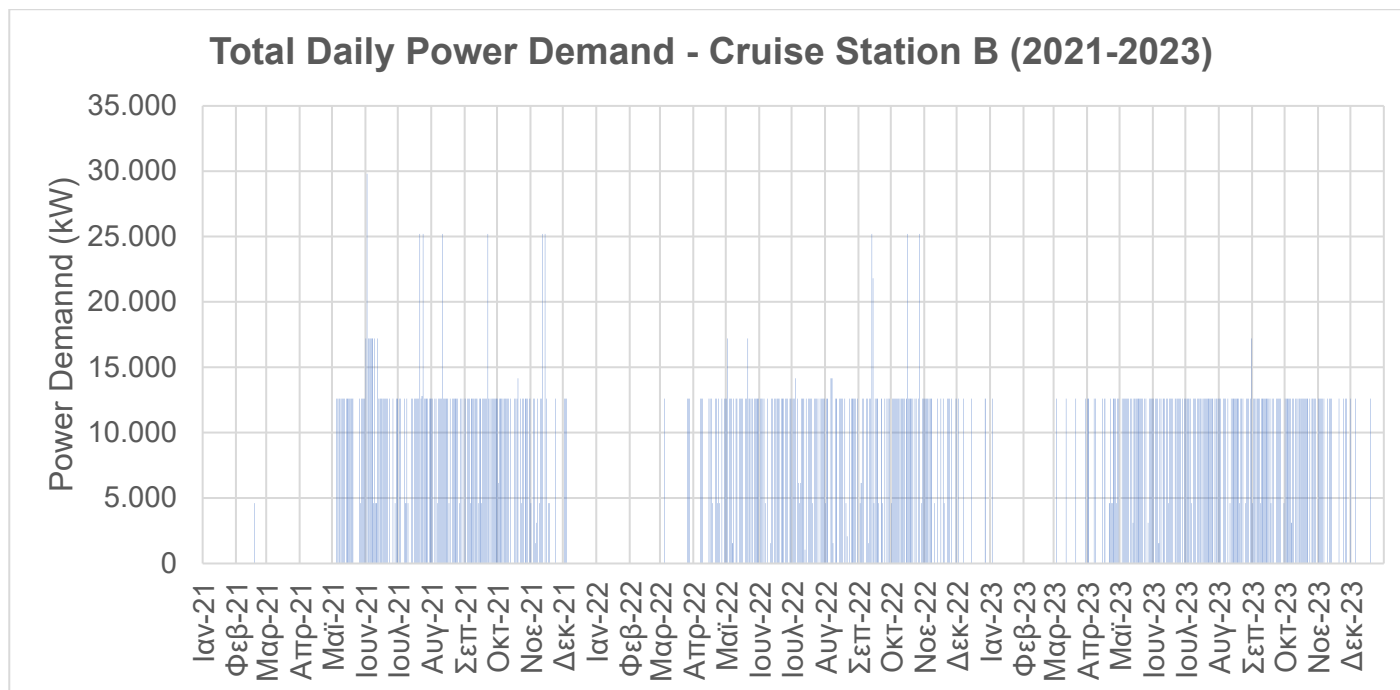
4.3.2 Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Κρουαζιέρας

Λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.1 προκύπτουν τα παρακάτω Διαγράμματα 20 - 22, στα οποία απεικονίζεται η καθημερινή απαίτηση σε ισχύ του κάθε επιβατικού

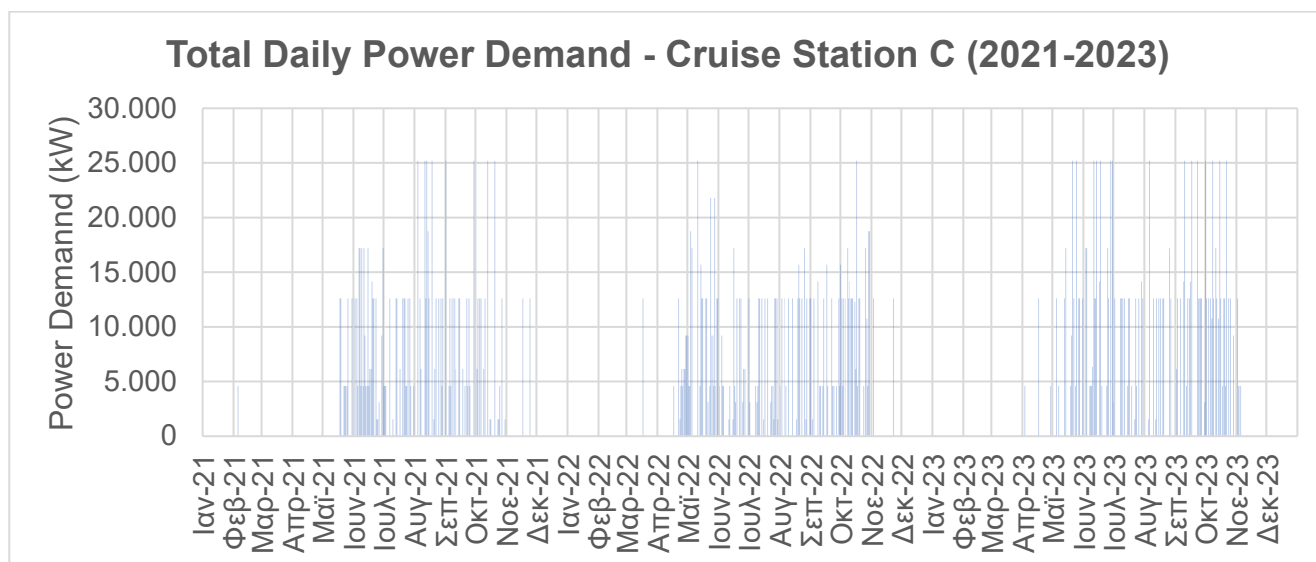
σταθμού για το διάστημα 1/1/2021 – 31/12/2023. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.3.1.



Διάγραμμα 20. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Επιβατικός σταθμός Α (Μιαούλης).



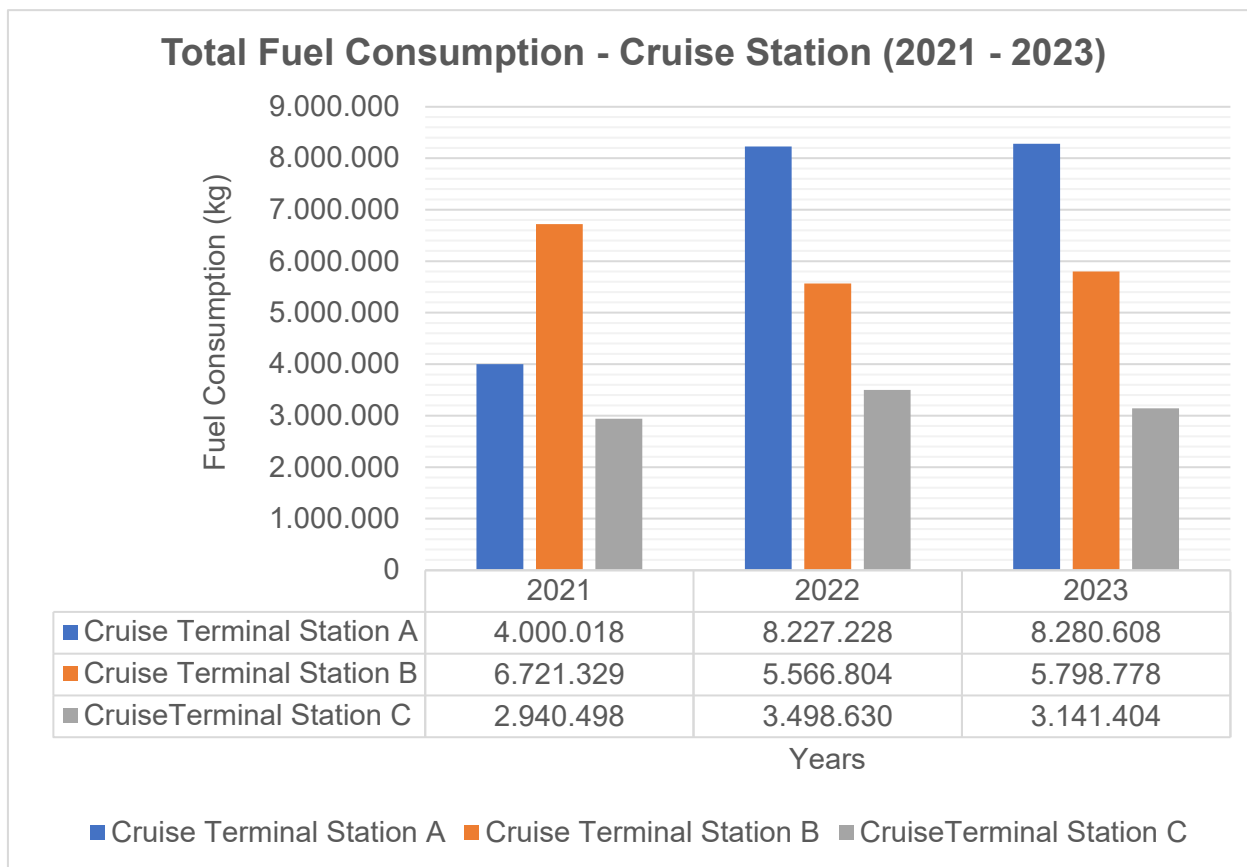
Διάγραμμα 21. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Επιβατικός σταθμός Β (Θεμιστοκλής).



Διάγραμμα 22. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό – Επιβατικός σταθμός C (Άλκιμος).

4.3.3 Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Κρουαζιέρας

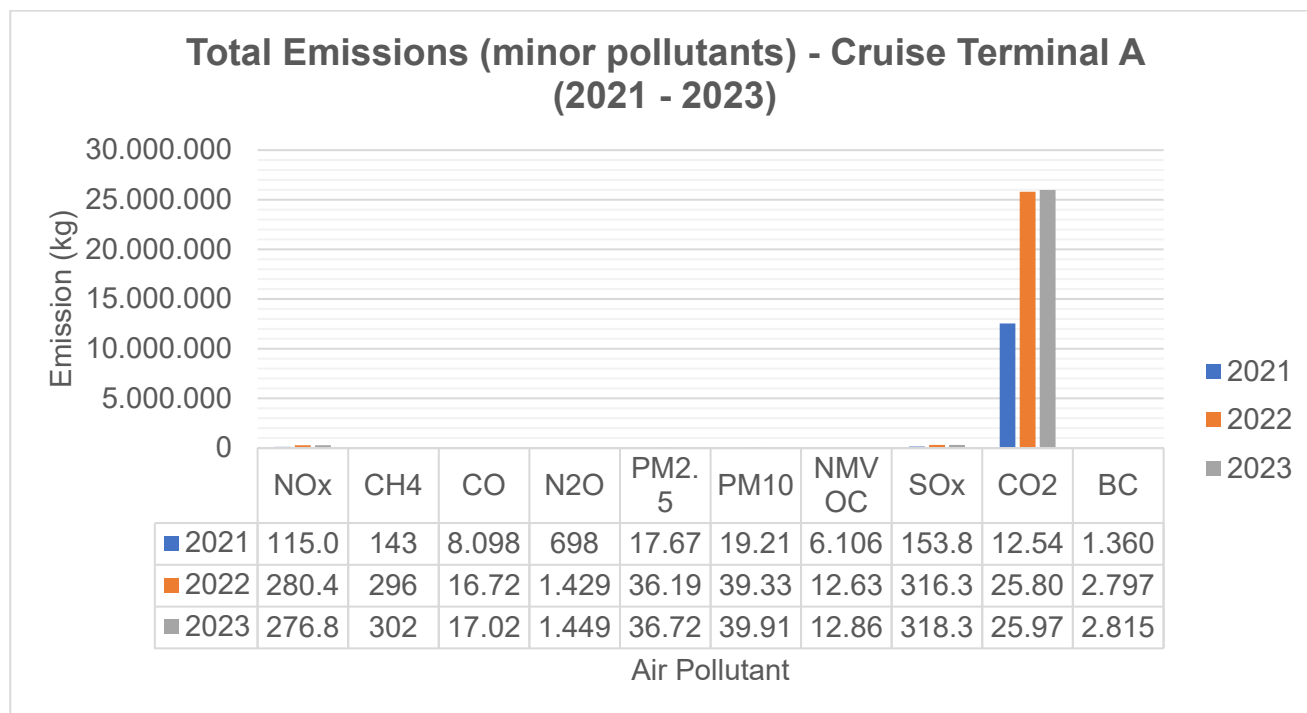
Ομοίως με την προηγούμενη παράγραφο και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.2, θα υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμων που πραγματοποιείται ανά επιβατικό σταθμό κρουαζιέρας για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ισχύς κατά τον ελλιμενισμό και την εξέλιξή της μεταξύ των ετών 2021 – 2023. Οι παραπάνω καταναλώσεις δίνονται στο παρακάτω Διάγραμμα 23. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.3.1.



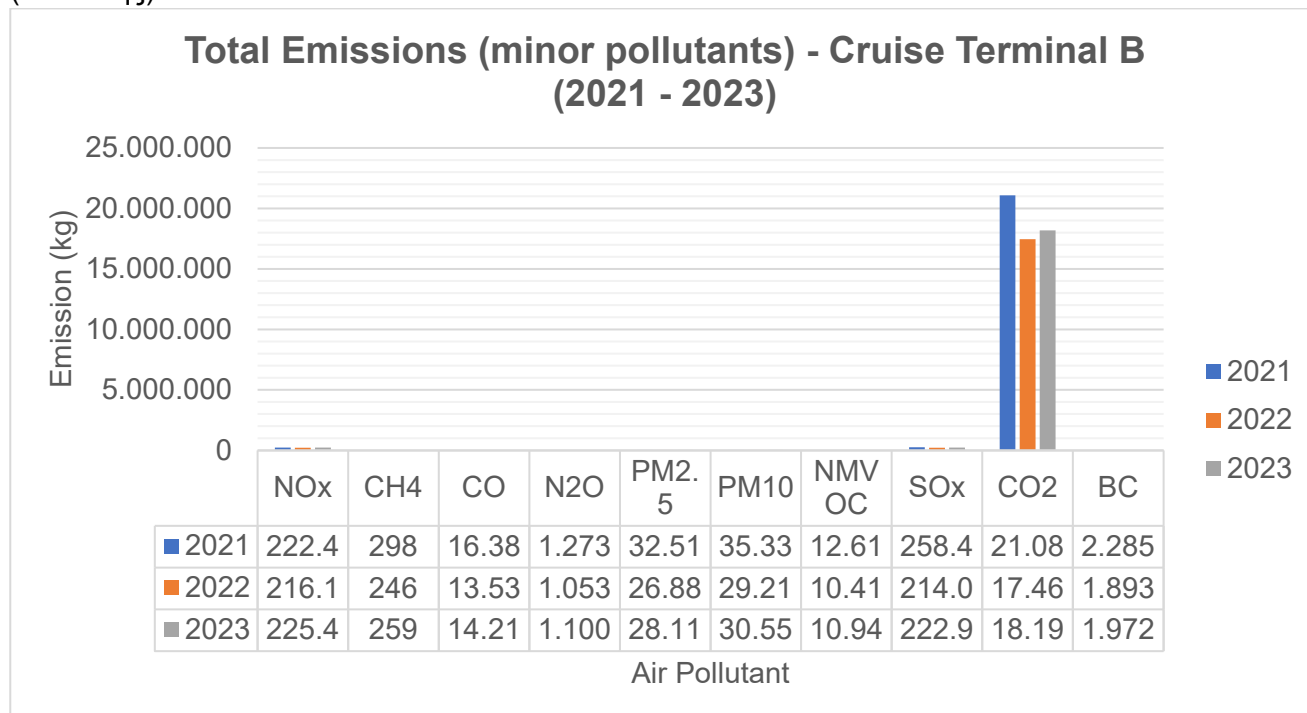
Διάγραμμα 23. Συνολική κατανάλωση καυσίμων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Κρουαζιέρας.

4.3.4 Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Κρουαζιέρας

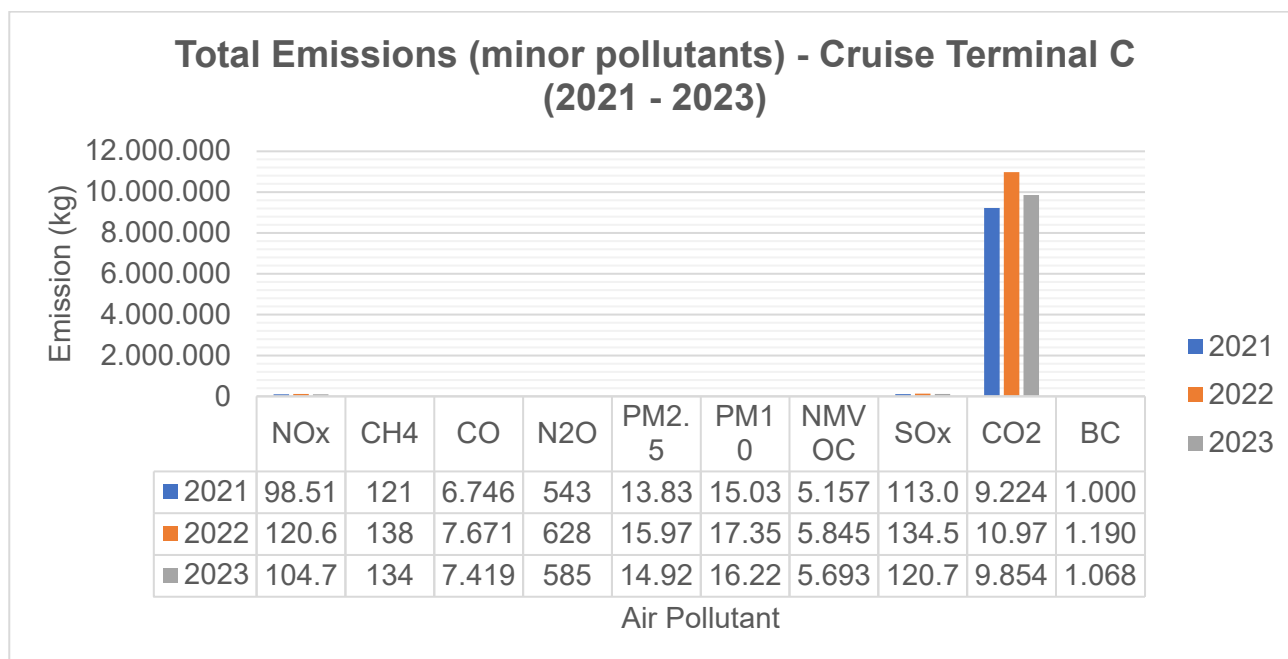
Ομοίως με τις προηγούμενες παραγράφους και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.3 θα υπολογίσουμε τις συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό, ανά επιβατικό σταθμό και ρύπο καθώς και την διαχρονική εξέλιξή τους κατά τα έτη 2021 – 2023. Οι εκπομπές αυτές δίνονται στα παρακάτω Διαγράμματα 24 - 26.



Διάγραμμα 24. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό – Επιβατικός σταθμός Α (Μιαούλης).



Διάγραμμα 25. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό – Επιβατικός σταθμός Β (Θεμιστοκλής).



Διάγραμμα 26. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό – Επιβατικός σταθμός C (Άλκιμος).

4.4 Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων

4.4.1 Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια

Στην Εικόνα 21 παρουσιάζονται οι σταθμοί του Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων και οι θέσεις ελλιμενισμού, οι οποίες προσδιορίζονται μέσω αρίθμησης των αντίστοιχων. Εξετάστηκαν οι επισκέψεις (port calls) 275 πλοίων κατά το διάστημα 1/1/2021 – 31/12/2022 (551 port calls εντός του 2021 και 427 port calls εντός του 2022). Τα port calls που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία παρασχέθηκαν από την Ο.Λ.Π. Α.Ε.

Σημειώνεται ότι κατά την εξέταση του Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων δεν υπήρχαν port calls για τον Σταθμό Γ1 (1 θέση εξυπηρέτησης) και επίσης ότι αναμένεται επέκτασή του μέσω της προσθήκης νέου Σταθμού στην Προβλήτα Ηρακλέους.

4.4.2 Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων

Λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.1 προκύπτουν τα παρακάτω Διαγράμματα 27 - 28, στα οποία απεικονίζεται η καθημερινή απαίτηση σε ισχύ που υπάρχει στον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων για το διάστημα 1/1/2021 – 31/12/2022. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.4.1.

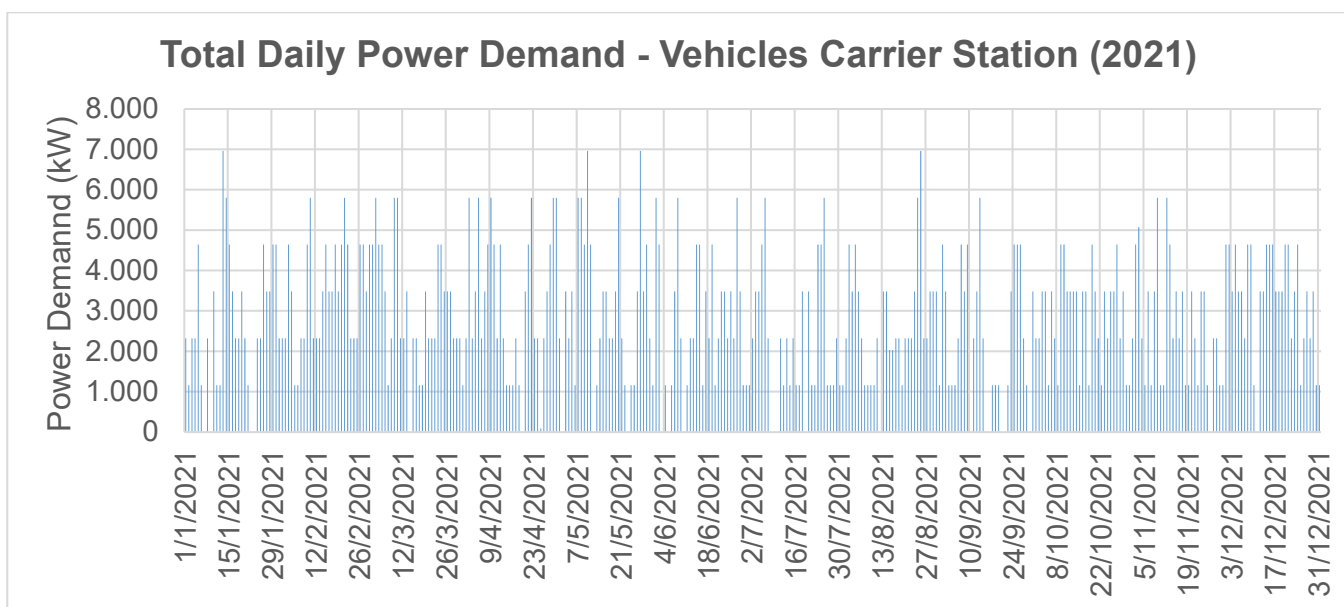
4.4.3 Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων

Ομοίως με την προηγούμενη παράγραφο και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.2, θα υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμων που απαιτείται στον Σταθμό

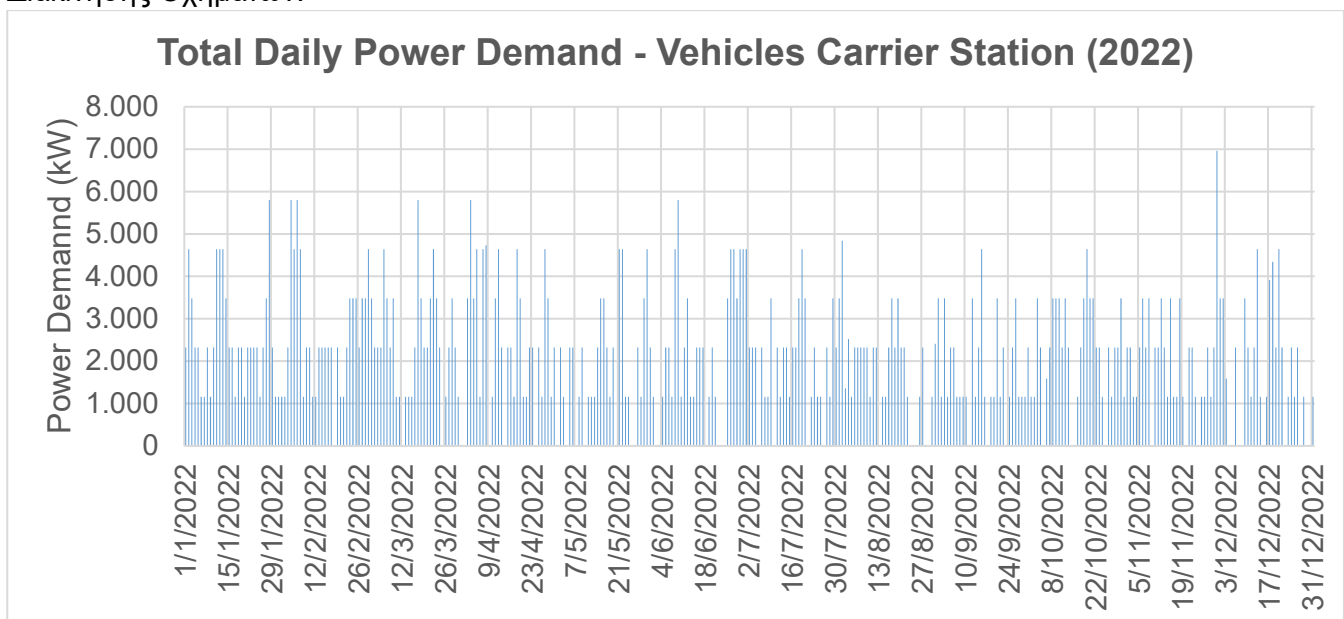
Διακίνησης Οχημάτων για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ισχύς κατά τον ελλιμενισμό και την εξέλιξή της μεταξύ των ετών 2021 – 2022. Οι παραπάνω καταναλώσεις δίνονται στο παρακάτω Διάγραμμα 29. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.4.1.

4.4.4 Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων

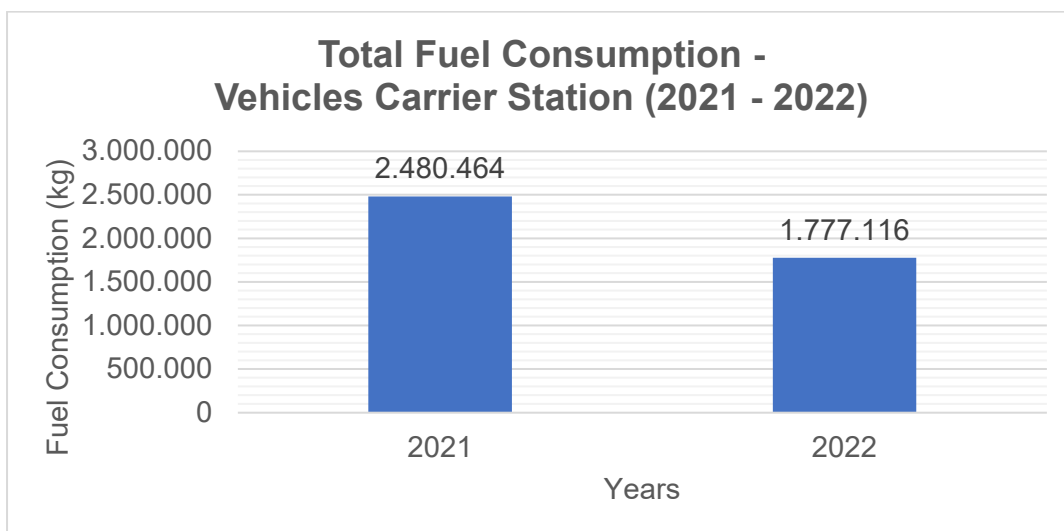
Ομοίως με τις προηγούμενες παραγράφους και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.3 θα υπολογίσουμε τις συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό, ανά ρύπο καθώς και την διαχρονική εξέλιξή τους κατά τα έτη 2021 – 2023. Οι εκπομπές αυτές δίνονται στο Διάγραμμα 30. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.4.1.



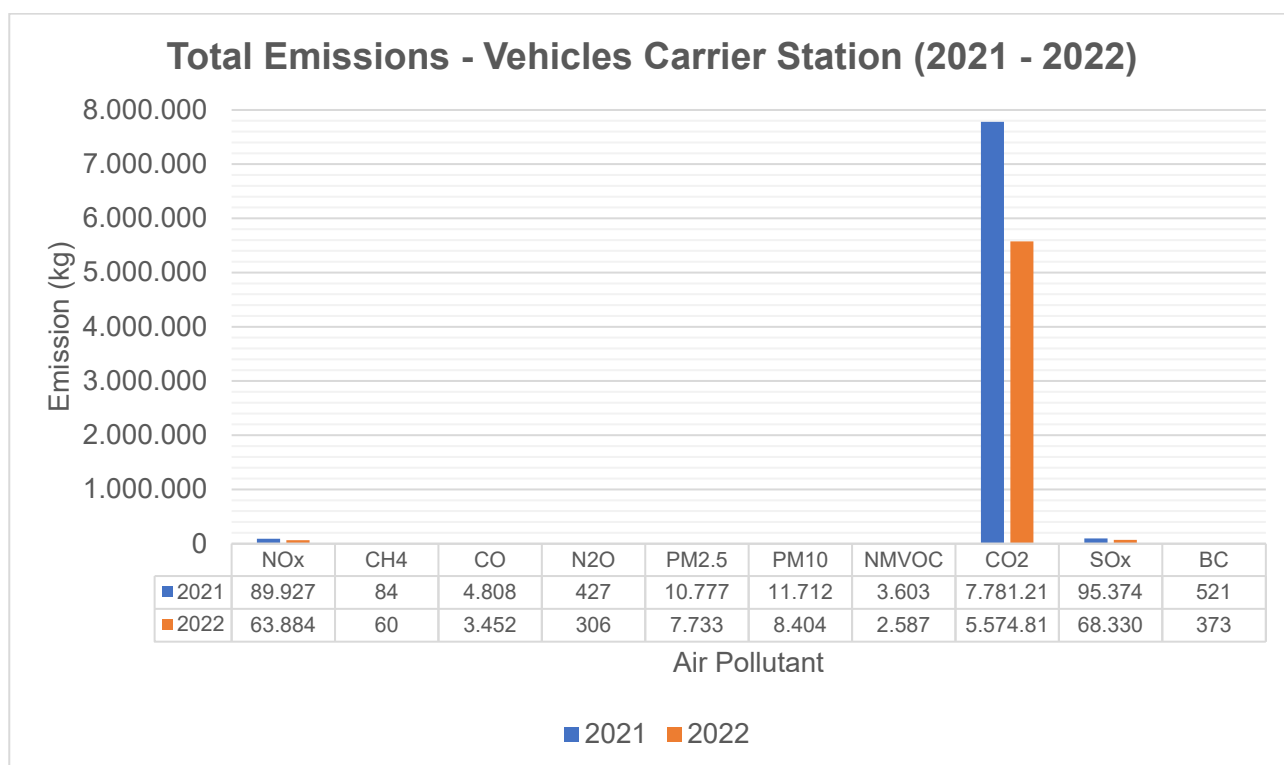
Διάγραμμα 27. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό για το έτος 2021 – Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων.



Διάγραμμα 28. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό για το έτος 2022 – Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων.



Διάγραμμα 29. Συνολική κατανάλωση καυσίμων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων.



Διάγραμμα 30. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Διακίνησης Οχημάτων.

4.5 Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων

4.5.1 Θέσεις ελλιμενισμού Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων, εξεταζόμενα πλοία και δρομολόγια

Στην Εικόνα 22 παρουσιάζεται ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων και οι 3 Προβλήτες που τον αποτελούν και οι θέσεις ελλιμενισμού, οι οποίες προσδιορίζονται μέσω αρίθμησης των αντίστοιχων

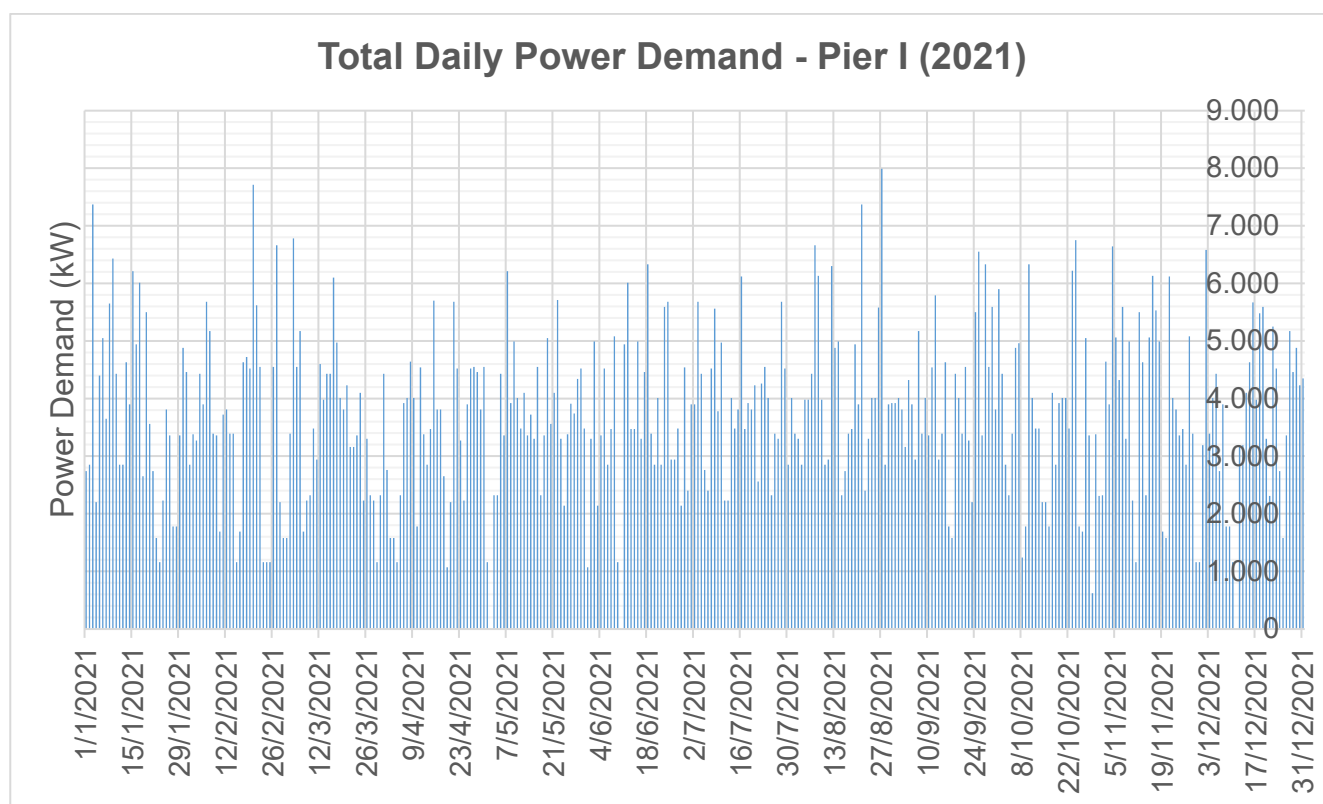
δεσρών. Παρόλο που οι 3 Προβλήτες λειτουργούν υπό διαφορετικές διοικήσεις, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα εξεταστούν ως ενιαίο σύνολο. Εξετάστηκαν οι επισκέψεις (port calls) 216 πλοίων στην Προβλήτα I κατά το διάστημα 1/1/2021 – 31/12/2022 (620 port calls εντός του 2021 και 597 port calls εντός του 2022) και 257 πλοίων στις Προβλήτες II και III κατά το διάστημα 20/1/2023 – 24/5/2023 (754 port calls). Τα port calls που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία παρασχέθηκαν από την Ο.Λ.Π. Α.Ε. για την Προβλήτα I, ενώ για τις Προβλήτες II και III ελήφθησαν από τον ιστότοπο της Σ.Ε.Π. Α.Ε. (<https://www.pct.com.gr/>).

4.5.2 Απαιτήσεις σε ισχύ για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων

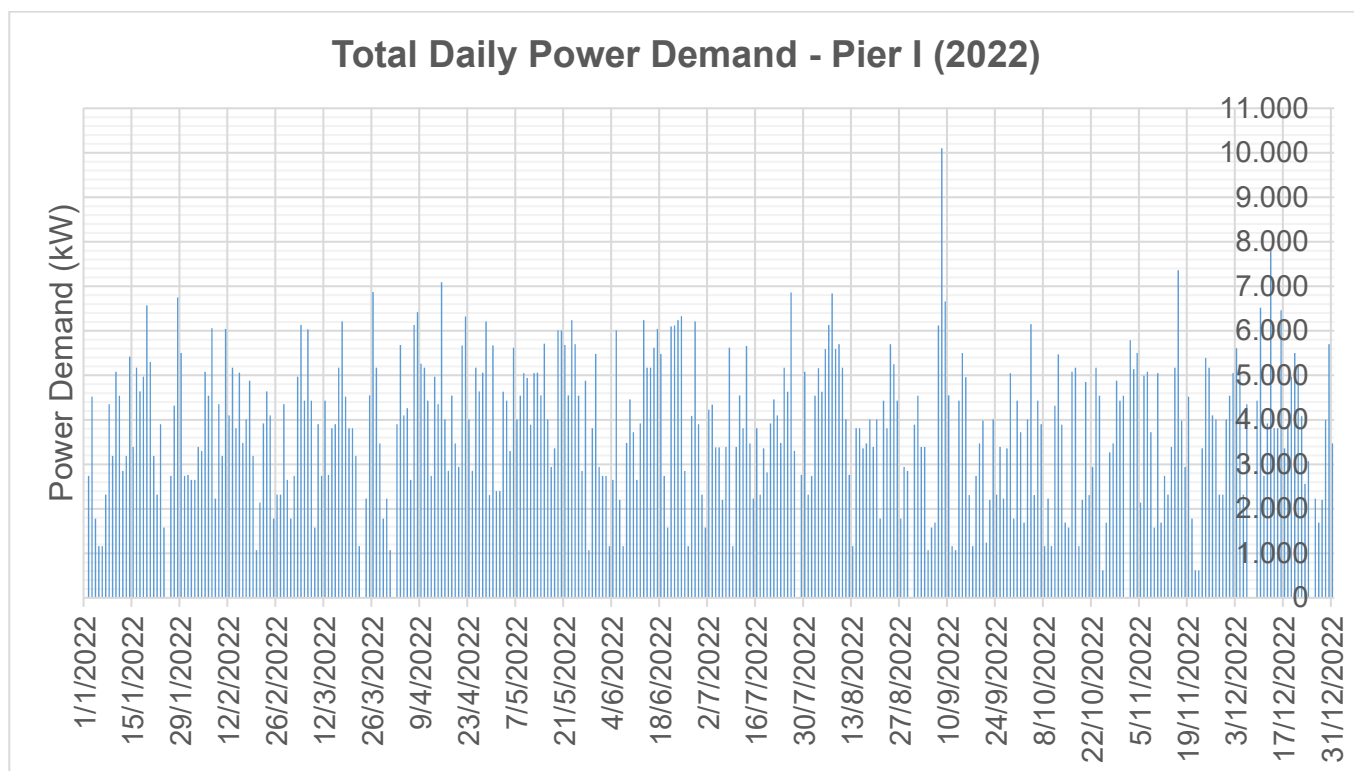
Λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.1 προκύπτουν τα παρακάτω Διαγράμματα 31 - 33, στα οποία απεικονίζεται η καθημερινή απαίτηση σε ισχύ που υπάρχει στις Προβλήτες I, II και III. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.5.1.

4.5.3 Καταναλώσεις καυσίμων για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων

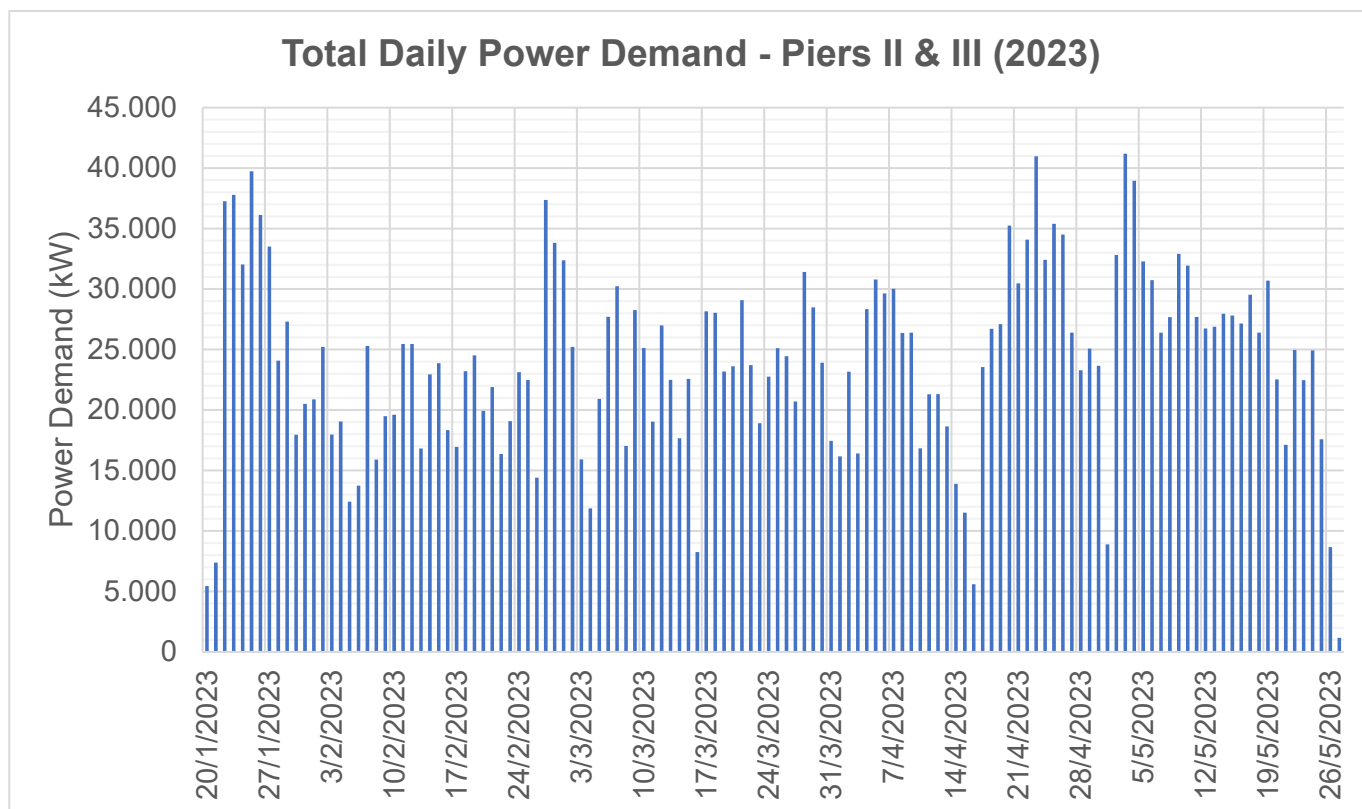
Ομοίως με την προηγούμενη παράγραφο και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.2, θα υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμων που απαιτείται στον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ισχύς κατά τον ελλιμενισμό και την εξέλιξή της μεταξύ των ετών 2021 – 2022. Οι παραπάνω καταναλώσεις δίνονται στα Διαγράμματα 34 - 35. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.5.1.



Διάγραμμα 31. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό για το έτος 2021 – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων (Προβλήτα I).



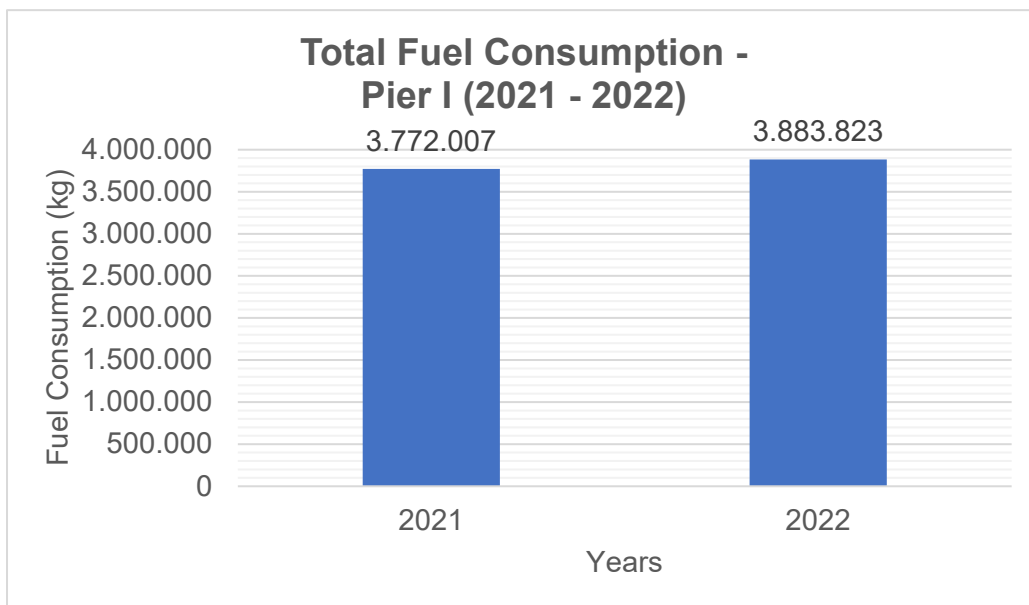
Διάγραμμα 32. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό για το έτος 2022 – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων (Προβλήτα I).



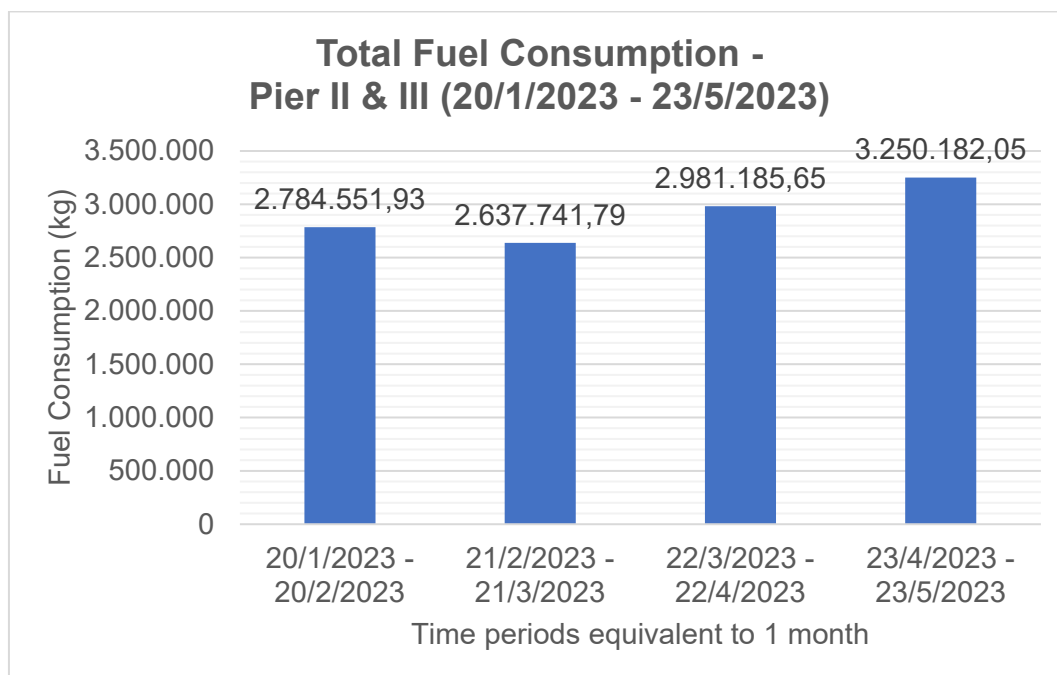
Διάγραμμα 33. Καθημερινή απαίτηση σε ισχύ για τον ελλιμενισμό για το διάστημα 20/1/2023 - 24/5/2023 – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων (Προβλήτες II & III).

4.5.4 Εκπομπές αέριων ρύπων για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων

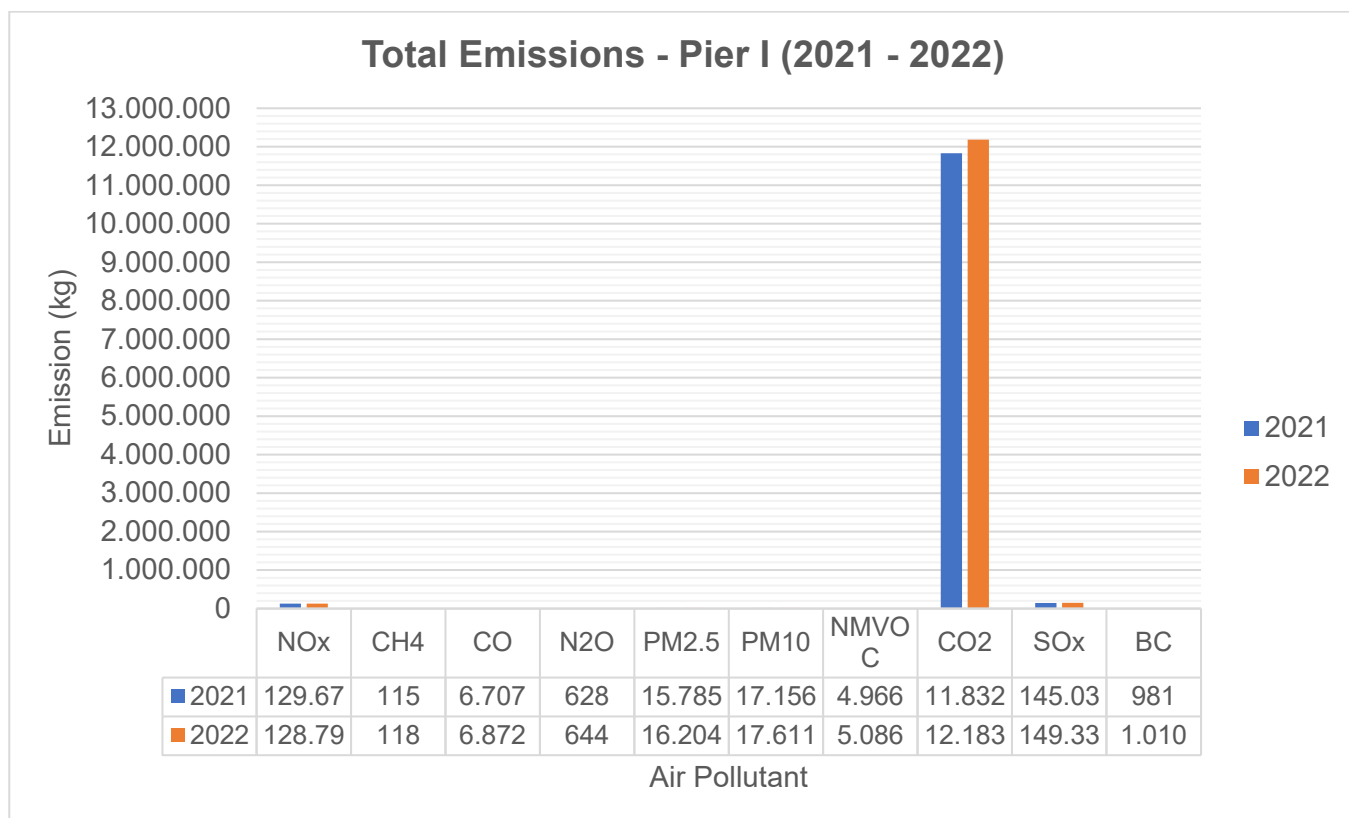
Ομοίως με τις προηγούμενες παραγράφους και λαμβάνοντας υπόψη όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1.3 θα υπολογίσουμε τις συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό, ανά ρύπο και Προβλήτα, καθώς και την διαχρονική εξέλιξή τους κατά τα έτη 2021 – 2023. Οι εκπομπές αυτές δίνονται στα παρακάτω Διαγράμματα 36 - 37. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα port calls που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.5.1.



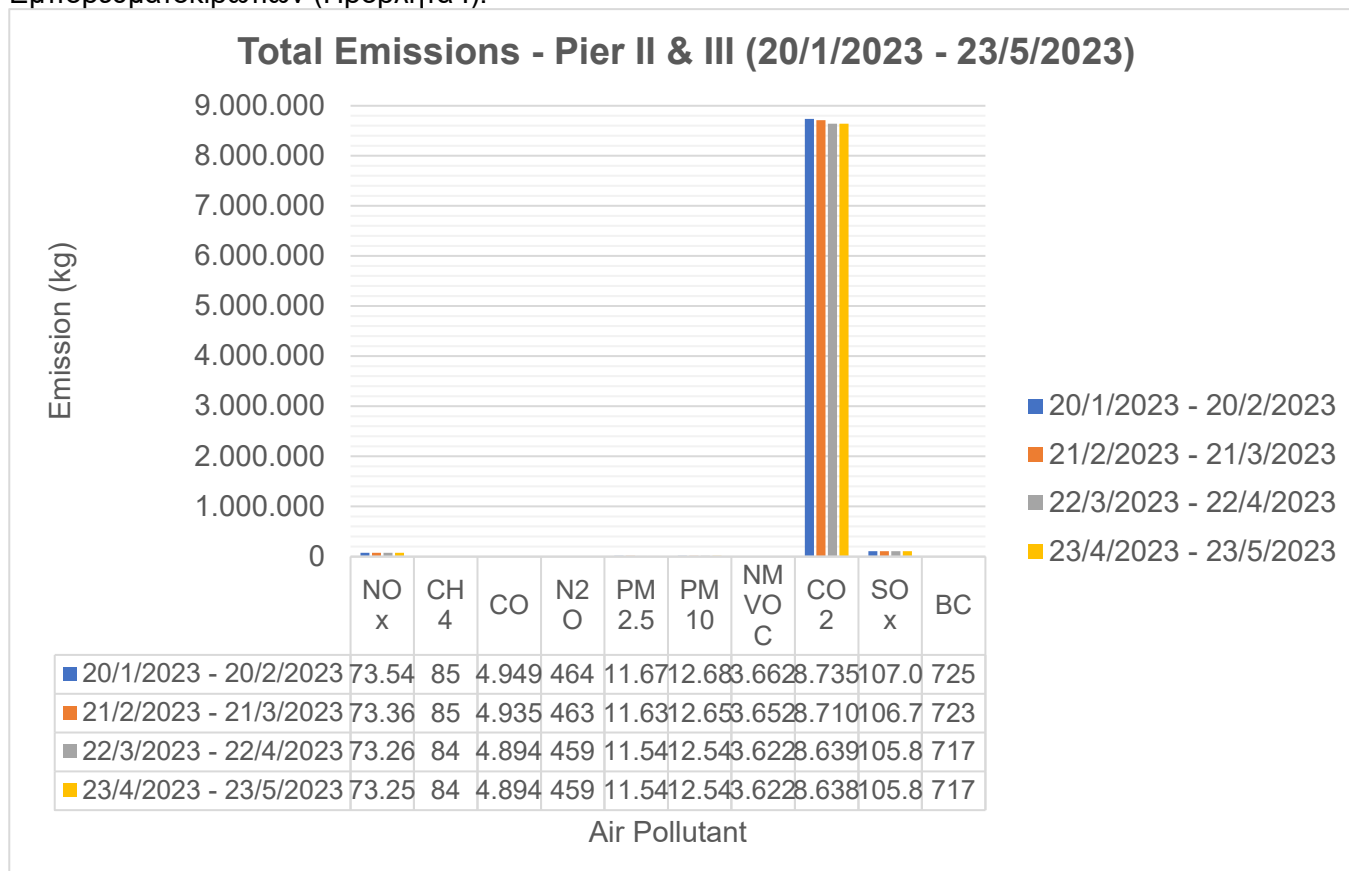
Διάγραμμα 34. Συνολική κατανάλωση καυσίμων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων (Προβλήτα I).



Διάγραμμα 35. Συνολική κατανάλωση καυσίμων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων (Προβλήτες II & III).



Διάγραμμα 36. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων (Προβλήτα I).



Διάγραμμα 37. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων (Προβλήτες II & III).

5. Cold Ironing

5.1 Εισαγωγή

Με τον όρο Cold Ironing (CI) αναφερόμαστε στην από στεριά ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων, με τις κύριες και βοηθητικές μηχανές αυτών εκτός λειτουργίας. Άλλες ονομασίες με τις οποίες το Cold Ironing συναντάται είναι οι Shore Connection (SC), Shore to Ship Power (SSP), Alternative Maritime Power (AMP) και Onshore Power Supply (OPS). Η ονομασία Cold Ironing προέρχεται από την κατάσταση στην οποία περιέρχονταν οι μηχανές των πρώτων πλοίων που χρησιμοποιούσαν κάρβουνο όταν αυτά ελλιμενίζονταν. Εκείνη την εποχή, χωρίς την ύπαρξη ανάγκης για κίνηση του πλοίου, οι μηχανές έσβηναν κατά τον ελλιμενισμό και σταδιακά κρύωναν. Στη σημερινή εποχή, κατά τον ελλιμενισμό ενός πλοίου παύεται η λειτουργία των κύριων μηχανών, που χρησιμοποιούνται για την πρόωσή του, αλλά τίθενται σε λειτουργία οι βοηθητικές μηχανές του προκειμένου να εξυπηρετηθούν βασικές ανάγκες όπως φωτισμός, θέρμανση, κλιματισμός, λειτουργία ηλεκτρονικών συστημάτων, φορτοεκφόρτωση φορτίων. Μέσω σύνδεσης με τις γεννήτριες του πλοίου οι βοηθητικές μηχανές προσφέρουν με τη λειτουργία τους την ηλεκτρική τροφοδοσία που απαιτείται για την κάλυψη των παραπάνω αναγκών, παράγοντας όμως παράλληλα τους ρύπους και τον θόρυβο που παράγει μια ναυτική μηχανή.

Σκοπός του CI είναι να προσφέρει την απαραίτητη ηλεκτρική τροφοδοσία χωρίς λειτουργία των βοηθητικών μηχανών του πλοίου (επιτυγχάνοντας έτσι ένα σύγχρονο «κρύωμα» όλων των μηχανών του πλοίου) και συνεπώς χωρίς την παραγωγή αέριων ρύπων και θορύβου. Ως εκ τούτου η από στεριά ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά τους παραγόμενους αέριους ρύπους συναρτήσει του ενεργειακού μείγματος που θα χρησιμοποιηθεί για την εν λόγω ηλεκτροπαραγωγή. Σε περίπτωση συνδυασμού του Cold Ironing με ΑΠΕ (ένα ιδιαίτερα ελκυστικό σενάριο) τότε οι εκπεμπόμενοι ρύποι κατά τον ελλιμενισμό θα μηδενίζονταν.

5.2 Ανάλυση SWOT

Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο το κίνητρο για την εφαρμογή του Cold Ironing είναι η απαλοιφή των αρνητικών συνεπειών που προκύπτουν από τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανών του πλοίου. Η εφαρμογή του όμως υπόκειται σε περιορισμούς τόσο οικονομικούς όσο και τεχνολογικούς. Το παραπάνω δυσχεραίνεται ακόμα περισσότερο ως προς την επίλυση αν αναλογιστούμε το γεγονός ότι η επιτυχής εφαρμογή του συστήματος δεν εξαρτάται μόνο από την εγκατάσταση που θα λάβει χώρα στην ακτή, αλλά προφανώς και από την εγκατάσταση που θα λάβει χώρα στο πλοίο. Οι δύο εγκαταστάσεις όμως αφορούν διαφορετικά μέρη, ήτοι την αρχή διαχείρισης του λιμένος και την πλοιοκτήτρια εταιρεία, των οποίων τα συμφέροντα, οι προτεραιότητες και οι

επιχειρησιακές στρατηγικές δεν είναι βέβαιο ότι ευθυγραμμίζονται κατάλληλα για την από κοινού συμμετοχή στο CI.

Για τον σκοπό αυτόν θα παρουσιαστεί ανάλυση SWOT για την εφαρμογή του CI, η οποία δίνεται στον παρακάτω Πίνακα 23.

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Αποτελεσματική μείωση των αέριων εκπομπών (CO₂, SO_x, NO_x, PM, κτλ), συναρτήσεϊ του ενεργειακού μείγματος της εν λόγω ηλεκτροπαραγωγής. ▪ Μείωση παραγόμενου θορύβου κατά τον ελλιμενισμό. ▪ Μείωση λειτουργικών εξόδων, λόγω μείωσης της συχνότητας συντήρησης των βοηθητικών μηχανών. ▪ Δυνατότητα φόρτισης μπαταριών κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού. ▪ Βελτίωση της υγείας του προσωπικού του πλοίου και του πληθυσμού πλησίον του χώρου ελλιμενισμού. ▪ Ύπαρξη κανονιστικού πλαισίου, προδιαγραφών, οδηγιών και προτύπων. ▪ Ύπαρξη τυποποιημένου εξοπλισμού για τη μεριά της ακτής και του πλοίου και αναγνωρισμένων εταιρειών με αναπτυγμένο "know how" στην εγκατάστασή του. ▪ Εναρμόνιση με τις σχετικές Ευρωπαϊκές οδηγίες και τον στόχο για πιο πράσινη ναυτιλία. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Θέματα ασυμβατότητας για πλοία στα οποία εγκαταστάθηκαν συστήματα CI πριν την υιοθέτηση των σχετικών προδιαγραφών ISO του 2012. ▪ Υψηλό κόστος επένδυσης των εγκαταστάσεων που απαιτούνται στη μεριά της ακτής. ▪ Υψηλό κόστος επένδυσης των εγκαταστάσεων και μετατροπών που απαιτούνται στη μεριά του πλοίου. ▪ Ασύμφορη επένδυση για ορισμένα πλοία (π.χ. πλοία μεγάλης ηλικίας) λόγω του υψηλού κόστους των εργασιών εγκατάστασης και μετατροπής. ▪ Αντιμετωπίζονται μόνο οι εκπομπές αέριων ρύπων κατά τον ελλιμενισμό και όχι κατά την πλεύση εντός λιμένος και κατά τη διάρκεια ελιγμών. ▪ Η ύπαρξη πλοίων με διαφορετικές συχνότητες (50/60 Hz) οδηγεί αναγκαστικά στην εγκατάσταση μετατροπών συχνότητας, οι οποίοι έχουν υψηλό κόστος. ▪ Ύπαρξη άλλων εναλλακτικών τεχνολογιών (π.χ. LNG) για τη μείωση ρύπων καθ' όλες τις φάσεις προσέγγισης (πλεύση εντός λιμένος, φάση ελιγμών, ελλιμενισμός). ▪ Δέσμευση χώρων πλησίον του πλοίου και πλησίον του λιμένος για την εγκατάσταση του απαιτούμενου εξοπλισμού ακτής. ▪ Δέσμευση χώρων εντός του πλοίου για την εγκατάσταση του απαιτούμενου εξοπλισμού πλοίου. ▪ Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας ενδέχεται να παρουσιάσει μεγάλες μεταβολές.
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Η αστάθεια της τιμής των καυσίμων ενδέχεται να αυξήσει τα λειτουργικά κόστη και ως εκ τούτου να καταστήσει το CI μια ελκυστική εναλλακτική από μεριάς πλοίου. ▪ Οι γρήγορες εξελίξεις στην τεχνολογία μπαταριών ενδέχεται να οδηγήσει σε ευρεία χρήση τους στον χώρο της ναυτιλίας και ως εκ τούτου το CI θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα για την φόρτισή τους. ▪ Ύπαρξη κινήτρων για πλοία που παρουσιάζουν υψηλές περιβαλλοντικές επιδόσεις, τα οποία ως εκ τούτου θα οδηγήσουν στην εγκατάσταση συστήματος CI. ▪ Ύπαρξη κινήτρων για τα πλοία λόγω αποφυγής περιβαλλοντικών προστίμων ή και αύξησης των τιμών καυσίμων μέσω εφαρμογής περιβαλλοντικών φόρων. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ύπαρξη οικονομικού και τεχνολογικού ρίσκου της επένδυσης εγκατάστασης CI σε πλοία που απαιτούν εργασίες μετατροπής. ▪ Ύπαρξη οικονομικού ρίσκου της επένδυσης εγκατάστασης CI στην ακτή, λόγω μακράς περιόδου αποπληρωμής. ▪ Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου είναι συνήθως φθηνότερη από αυτήν που παράγεται από το CI. ▪ Η διαχείριση υψηλών τιμών τάσης θέτουν θέμα ασφάλειας του προσωπικού και κατάλληλα μέτρα προστασίας.

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ύπαρξη κινήτρων για τα πλοία λόγω μειωμένης συντήρησης του εξοπλισμού περιορισμού των εκπομπών των αέριων ρύπων. ▪ Δημιουργία φήμης λόγω του περιβαλλοντικού προφίλ του πλοίου (environment friendly) και του μειωμένου αποτυπώματός του λόγω χρήσης CI. Προώθηση και ανάδειξη επιχείρησης μέσω κατάλληλων προγραμμάτων (π.χ. Sustainable Greece). ▪ Ύπαρξη κινήτρων για τη μεριά ακτής λόγω βελτίωσης της υγείας και του βιοτικού επιπέδου των πολιτών, πλησίον των λιμένων εφαρμογής του συστήματος CI. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Το CI δεν είναι διαθέσιμο σε όλα τα λιμάνια και ως εκ τούτου ένα πλοίο που διαθέτει σύστημα CI δεν μπορεί να την αξιοποιήσει πάντα. ▪ Οικονομικά συμφέροντα εταιρειών που θα πληγούν λόγω μείωσης της ζήτησης καυσίμων και εξοπλισμού περιορισμού των αέριων εκπομπών. ▪ Η ικανότητα μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων είναι συσχετισμένη με το ενεργειακό μείγμα. ▪ Ρίσκο της επένδυσης τόσο από τη μεριά της ακτής, όσο και από τη μεριά του πλοίου, λόγω των μεταβολών στις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. ▪ Μείωση διαθέσιμων χώρων στην ευρύτερη λιμενική ζώνη, με πιθανή μελλοντική χρήση (π.χ. Vehicles Terminal, Containers Terminal). ▪ Μείωση διαθέσιμων χώρων πλοίου με πιθανή μελλοντική χρήση (π.χ. εμπορεύματα, εγκατάσταση άλλου εξοπλισμού). ▪ Αύξηση της ζήτησης ισχύος από το δίκτυο.
---	--

Πίνακας 23. Ανάλυση SWOT για την εφαρμογή του CI.

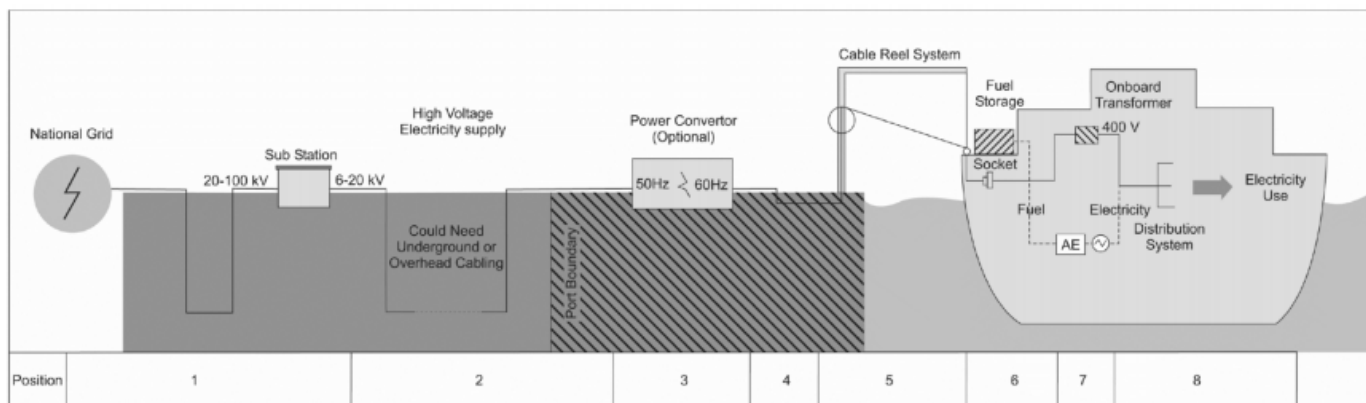
Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι η εφαρμογή του CI διαθέτει δυνατά σημεία, τα οποία οι αρχές διαχείρισης λιμένων που αποφασίζουν να επενδύσουν στην ανάπτυξή του πρέπει να μεγιστοποιήσουν, έτσι ώστε να επωφεληθούν από τις ευκαιρίες που προσφέρει. Η εφαρμογή του CI εκτός από κοινωνικά οφέλη, λόγω μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων και θορύβου, μπορεί να παρουσιάζει οικονομικά οφέλη για τις πλοιοκτήτριες εταιρείες λόγω της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμων, τον περιορισμό των λειτουργικών εξόδων, αλλά και κινήτρων που μπορεί να δίνονται για τη χρήση του CI (Arduino, G., Carrillo, D., & Ferrari, C., 2011 και Zis, 2019). Σε πιο μακροπρόθεσμο ορίζοντα, κίνητρο για την εγκατάσταση του CI στη μεριά του πλοίου αποτελεί η φήμη που μπορεί να αναπτύξει η πλοιοκτήτρια εταιρεία λόγω του περιβαλλοντικού προφίλ που θα αναπτύξει. Η ύπαρξη κανονιστικού πλαισίου, προδιαγραφών, οδηγιών, προτύπων και τυποποιημένου εξοπλισμού αποτελούν ένα ακόμα εφόδιο για την επίτευξη ωφελειών από την εφαρμογή του CI.

Στον αντίποδα, η εφαρμογή του CI παρουσιάζει κινδύνους οι οποίοι πρέπει να αντιμετωπιστούν μειώνοντας την επίδραση των αδυναμιών που διαθέτει. Συνεπώς, μέτρα όπως η οικονομική στήριξη των επενδύσεων CI μέσω θέσπισης πακέτων χρηματοδότησης θα μπορούσαν να καταστήσουν τις επενδύσεις αυτές πιο δελεαστικές. Επίσης η καλύτερη αξιοποίηση των χώρων του λιμένος (π.χ. εγκατάσταση του απαιτούμενου εξοπλισμού εντός υφιστάμενων υποσταθμών) και η μείωση του όγκου του απαιτούμενου εξοπλισμού πλοίου (π.χ. μέσω τεχνολογικής εξέλιξης) θα μπορούσε να οδηγήσει στον περιορισμό των δεσμευμένων χώρων λόγω εφαρμογής του CI.

5.3 Διεθνή Πρότυπα για την εφαρμογή του Cold Ironing

5.3.1 Πρόταση 2006/339/EC

Το 2006 η ΕΕ δημοσίευσε την πρόταση 2006/339/EC η οποία παρουσιάζει μια τυπική διαμόρφωση μιας εγκατάστασης Cold Ironing, παρουσιάζοντας το σύνολο του εμπλεκόμενου εξοπλισμού, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 28.



Εικόνα 28. Προτεινόμενη διάταξη συστήματος CI (Πρόταση 2006/339/EC).

Η εγκατάσταση αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

1. Σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας τάσεως 20-100 kV μέσω τοπικού υποσταθμού όπου η τάση θα υποβιβάζεται σε 6-20 kV.
2. Καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος υπό τάση 6-20 kV από τον κεντρικό υποσταθμό προς τον υποσταθμό αποβάθρας.
3. Μετατροπή συχνότητας, εφόσον απαιτηθεί. Γενικά η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος στην ΕΕ είναι κατά κανόνα 50 Hz. Σε πλοίο που έχει σχεδιαστεί για συχνότητα ηλεκτρικού ρεύματος 60 Hz, ενδεχομένως να απαιτηθεί μετατροπή συχνότητας από 50 Hz σε 60 Hz).
4. Καλώδια για τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στο σταθμό. Τα καλώδια αυτά είναι δυνατόν να τοποθετηθούν υπογείως, εντός ήδη υπαρχόντων ή νέων σωλήνων.
5. Σύστημα περιέλιξης καλωδίων, ώστε να αποφεύγονται οι χειρισμοί καλωδίων υψηλής τάσης. Το σύστημα αυτό, αποτελούμενο από τύμπανο περιέλιξης καλωδίων, επωτίδα και πλαίσιο, είναι δυνατόν να εγκαθίσταται στη θέση ελλιμενισμού. Η επωτίδα και το πλαίσιο πρέπει να χρησιμοποιούνται για την ανύψωση των καλωδίων στο πλοίο και την μετέπειτα απομάκρυνσή τους. Διάφοροι τύποι των παραπάνω συστημάτων θα παρουσιαστούν σε επόμενη παράγραφο.
6. Ρευματολήπτης επί του πλοίου για το καλώδιο σύνδεσης.
7. Μ/Σ επί του πλοίου για τη μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής τάσεως σε 400 V.
8. Διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στο πλοίο, με τις βοηθητικές μηχανές εκτός λειτουργίας.

Η παραπάνω διάταξη είναι ενδεικτική και ενδέχεται να τροποποιηθεί αναλόγως των αναγκών του λιμένος και των ελλιμενισμένων πλοίων. Ένα μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου είναι η απουσία γαλβανικής απομόνωσης μεταξύ του δικτύου της στεριάς και του δικτύου του πλοίου.

5.3.2 Πρότυπα ISO/IEC/IEEE 80005

Με σκοπό την επίτευξη τυποποιημένων χαρακτηριστικών της διάταξης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο έχουν θεσπιστεί σειρές προτύπων, με σημαντικότερη τη σειρά ISO/IEC/IEEE 80005. Αυτή αποτελείται από τα παρακάτω τεύχη:

IEC/IEEE 80005-1:2019+AMD1:2022+AMD2:2023

Το παραπάνω πρότυπο περιγράφει συστήματα σύνδεσης υψηλής τάσης με τη στεριά (HVSC: High Voltage Shore Connection), επί του πλοίου και επί της στεριάς. Εφαρμόζεται για το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη δοκιμή HVSC συστημάτων όπως:

- Συστήματα διανομής υψηλής τάσης (HV) στην στεριά
- Εξοπλισμός σύνδεσης και διεπαφής από στεριά σε πλοίο
- Μετασχηματιστές/αντιδραστήρες
- Μετατροπείς συχνότητας (περιστροφικοί ή στατικοί)
- Συστήματα διανομής πλοίων
- Συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης, σύμπλεξης και διαχείρισης ισχύος

Δεν εφαρμόζεται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια δεξαμενισμού και λοιπών επισκευών συντήρησης σε περίοδο εκτός λειτουργίας του πλοίου. Τα συστήματα σύνδεσης HSVC εφαρμόζονται σε πλοία που απαιτούν 1 MW ή περισσότερο.

Σε αυτό το πρότυπο δίνεται, όπως αναφέρθηκε στους Πίνακες 6 και 7, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς ανά θέση ελλιμενισμού.

IEC/IEEE 80005-2:2016

Το παραπάνω πρότυπο περιγράφει τις διεπαφές δεδομένων στεριάς και πλοίων καθώς και τις διαδικασίες για την επικοινωνία των συστημάτων χαμηλής και υψηλής τάσης με τη ξηρά εφόσον αυτά εξυπηρετούν λειτουργίες μη έκτακτης ανάγκης. Επίσης προδιαγράφει τα χαρακτηριστικά διεπαφής, τις διευθύνσεις και τον τύπο δεδομένων και στο παράρτημα Α προδιαγράφει τις απαιτήσεις επικοινωνίας για κρουαζιερόπλοια. Η εφαρμογή αυτού του προτύπου σχετίζεται με παραρτήματα του IEC/ISO/IEEE 80005-1. Σημειώνεται ότι δεν προδιαγράφει επικοινωνία για λειτουργίες έκτακτης ανάγκης, η οποία περιγράφεται στο IEC/ISO/IEEE 80005-1.

IEC PAS 80005-3:2014

Το παραπάνω πρότυπο περιγράφει συστήματα σύνδεσης χαμηλής τάσης με τη στεριά (LVSC: Low Voltage Shore Connection), επί του πλοίου και επί της στεριάς. Εφαρμόζεται για το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη δοκιμή LVSC συστημάτων όπως:

- Συστήματα διανομής χαμηλής τάσης (LV) στην στεριά
- Εξοπλισμός σύνδεσης και διεπαφής από στεριά σε πλοίο

- Μετασχηματιστές/αντιδραστήρες
- Μετατροπείς συχνότητας (περιστροφικοί ή στατικοί)
- Συστήματα διανομής πλοίων
- Συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης, σύμπλεξης και διαχείρισης ισχύος

Δεν ισχύει για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος κατά τις περιόδους σύνδεσης, π.χ. dry docking και για άλλες εργασίες συντήρησης και επισκευής εκτός λειτουργίας. Τα συστήματα σύνδεσης LVSC εφαρμόζονται σε πλοία που απαιτούν έως και 1 MVA. Τα συστήματα σύνδεσης χαμηλής τάσης που δεν υπερβαίνουν τα 250 A, με μέγιστο 125 A ανά καλώδιο και έως 300 V προς τη γείωση δεν καλύπτονται από αυτό το πρότυπο.

Τα παραπάνω πρότυπα έχουν ως κύριο στόχο την επίτευξη συμβατότητας μεταξύ πλοίου και στεριάς, την εγκατάσταση κατάλληλων λειτουργιών και τη συμμόρφωση σε ένα κοινό τυποποιημένο πλαίσιο, έτσι ώστε να διευκολυνθεί διεθνώς η διασύνδεση πλοίων με τη στεριά.

5.4 Τοπολογίες συστήματος

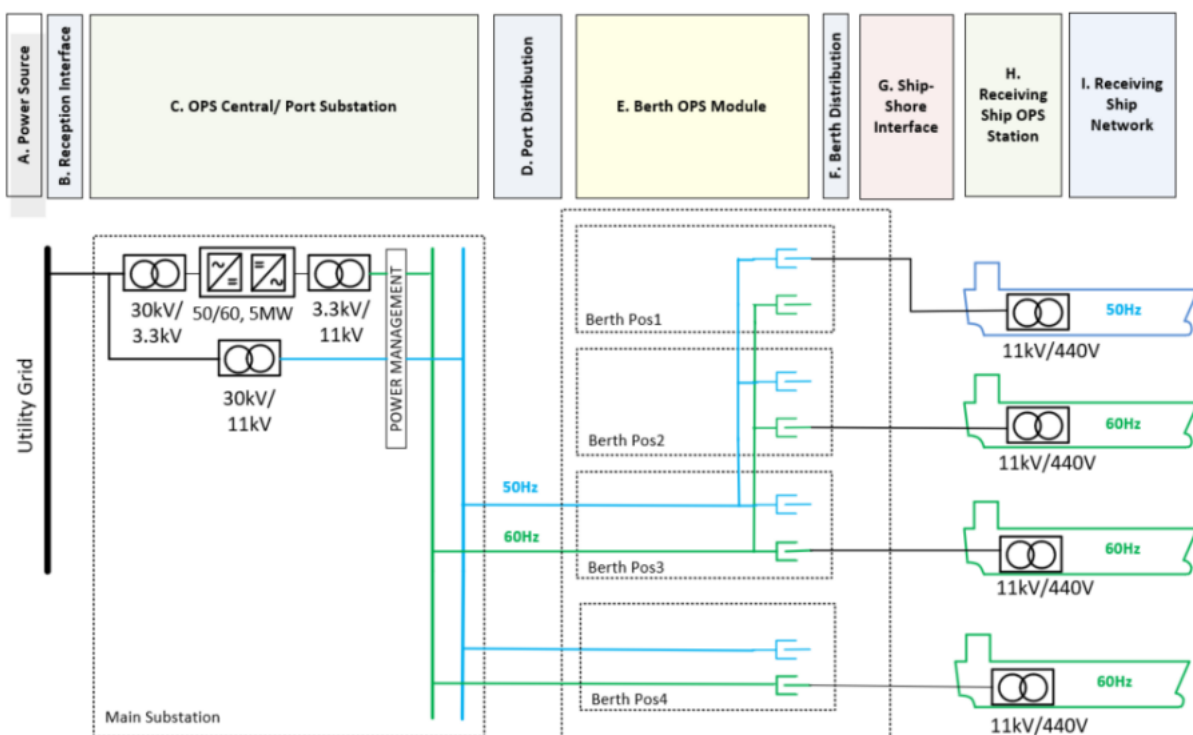
Η παροχή ενέργειας στην εγκατάσταση ενός συστήματος CI γίνεται από το τοπικό δίκτυο ηλεκτροδότησης του λιμένος, που στο πλαίσιο αυτής της εργασίας αυτό ταυτίζεται με το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η εισερχόμενη τάση από το δίκτυο είναι συνήθως της τάξης 20 – 100 kV (συνήθως 20 kV) και στη συνέχεια υποβιβάζεται στο επίπεδο που απαιτεί κάθε θέση ελλιμενισμού. Η θέση που λαμβάνει χώρα ο παραπάνω υποβιβασμός τάσης και ο τρόπος διανομής της στην ακτή, γίνεται με βάση την επιλεγμένη τοπολογία της εγκατάστασης του συστήματος CI. Οι συνηθέστερες τοπολογίες είναι οι εξής:

1. Συγκεντρωμένη τοπολογία AC.
2. Αποκεντρωμένη τοπολογία AC.
3. Τοπολογία DC.

Οι παραπάνω τοπολογίες αποτυπώνονται γραφικά στις Εικόνες 29, 30, 32 και 33. Η επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας εξαρτάται από την τοποθεσία των θέσεων ελλιμενισμού, την ανάγκη για εφεδρεία (redundancy) και την ισχύ μετατροπέα συχνότητας (EMSA, 2022). Παρακάτω περιγράφονται οι παραπάνω τοπολογίες και δίνονται τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

Συγκεντρωμένη Τοπολογία AC

Στη Συγκεντρωμένη Τοπολογία (Εικόνα 29) υπάρχει ένας μετατροπέας υψηλής ισχύος που μπορεί να παρέχει ρεύμα σε πολλές αποβάθρες ταυτόχρονα. Σε αυτή την τοπολογία τα στοιχεία του συστήματος CI βρίσκονται συγκεντρωμένα στον κεντρικό υποσταθμό CI του λιμένα, ο οποίος περιλαμβάνει: α) ένα μετατροπέα συχνότητας, β) μετασχηματιστές υποβιβασμού και ανύψωσης τάσης, γ) όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό διανομής και τον κεντρικός πίνακα του συστήματος CI.



Εικόνα 29. Τυπική διάταξη Συγκεντρωμένης Τοπολογίας [24].

Πλεονεκτήματα Συγκεντρωμένης Τοπολογίας AC

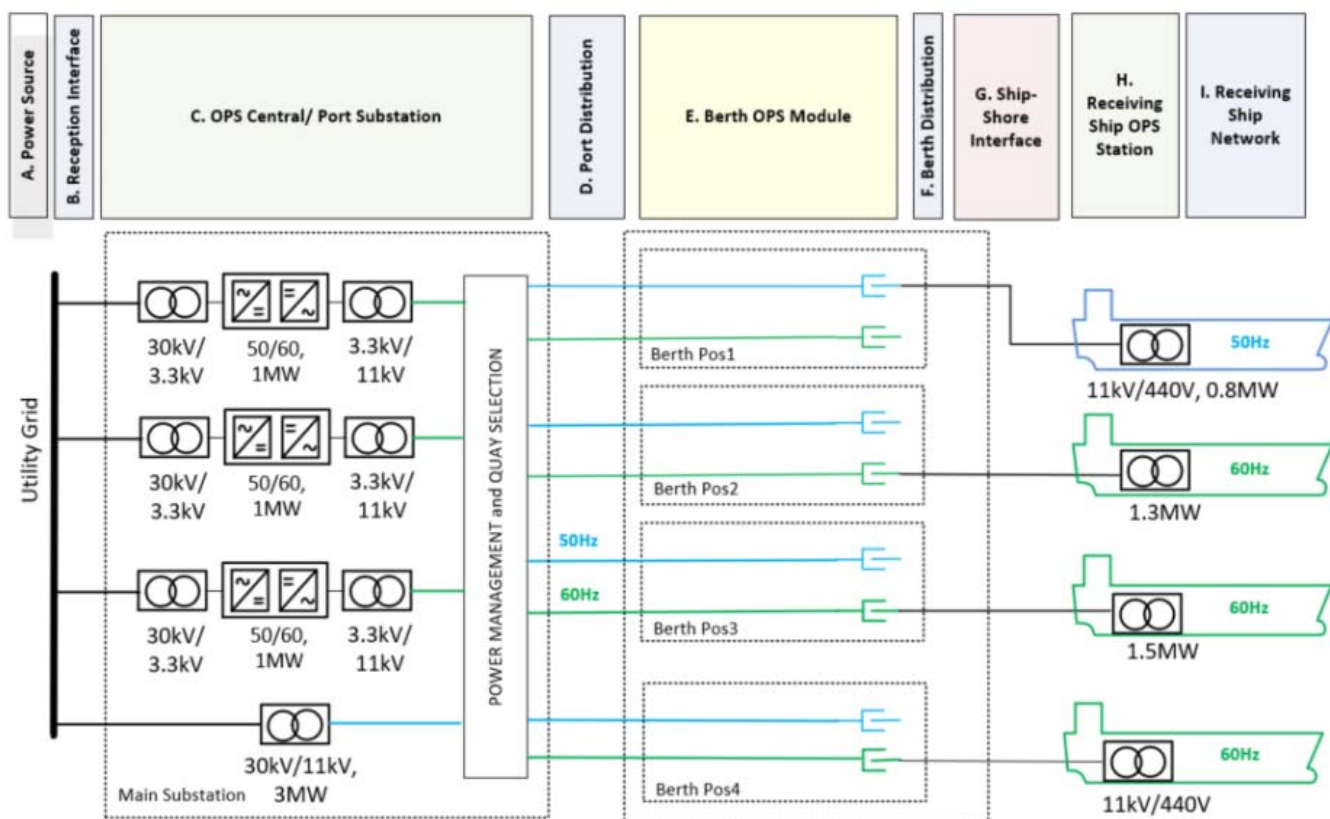
- Επιτρέπει σε πλοία διαφορετικών συχνοτήτων να τροφοδοτούνται σε οποιαδήποτε θέση ελλιμενισμού.
- Απλότητα σχεδίασης του συστήματος.
- Δυνατότητα τοποθέτησης του κεντρικού υποσταθμού σε σημείο μακριά από τις θέσεις ελλιμενισμού.
- Μικρό μέγεθος κεντρικού υποσταθμού.
- Ελκυστική επένδυση από τεχνο-οικονομική σκοπιά.

Μειονεκτήματα Συγκεντρωμένης Τοπολογίας AC

- Μειωμένη αξιοπιστία συστήματος εξαιτίας συγκέντρωσης ισχύος σε μία μονάδα τροφοδοσίας.
- Χρήση μετασχηματιστών μεγάλης ισχύος, για τους οποίους συνήθως, η εξειδικευμένη συντήρηση είναι περιορισμένη.
- Απαιτείται χρήση φίλτρων αρμονικών, λόγω μειωμένης ποιότητας της ηλεκτρικής παροχής, εξαιτίας των υψηλών αρμονικών παραμορφώσεων (μεγάλες τιμές THD).
- Δεν υπάρχει δυνατότητα συγχρονισμού των δικτύων ακτής-πλοίου μέσω inverter control.

Αποκεντρωμένη Τοπολογία AC

Στην αποκεντρωμένη τοπολογία AC (Εικόνα 30) υπάρχουν περισσότεροι του ενός, χαμηλής ισχύος μετατροπείς, οι οποίοι βρίσκονται μαζί με τους μετασχηματιστές υποβιβασμού και ανύψωσης στον κεντρικό υποσταθμό CI. Σε αυτή την τοπολογία η διανομή καλωδίων είναι ανεξάρτητη και επίσης είναι δυνατή η χρήση μετατροπένων συχνότητας σε παράλληλη λειτουργία.



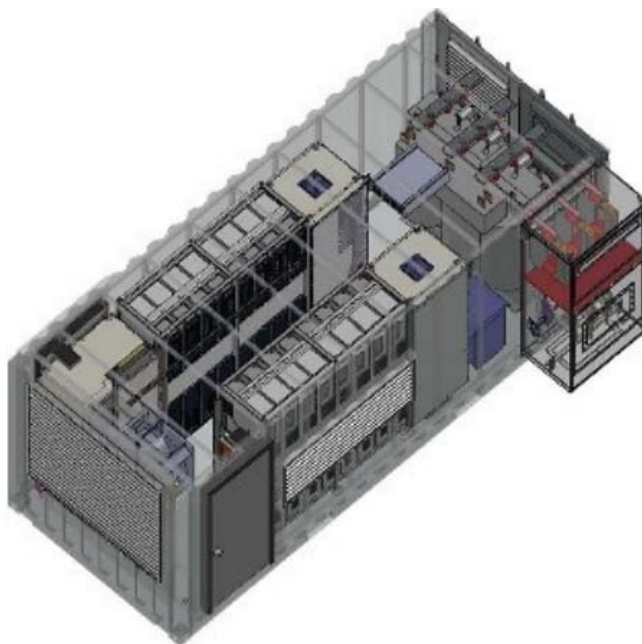
Εικόνα 30. Τυπική διάταξη Αποκεντρωμένης Τοπολογίας [24].

Πλεονεκτήματα Αποκεντρωμένης Τοπολογίας AC

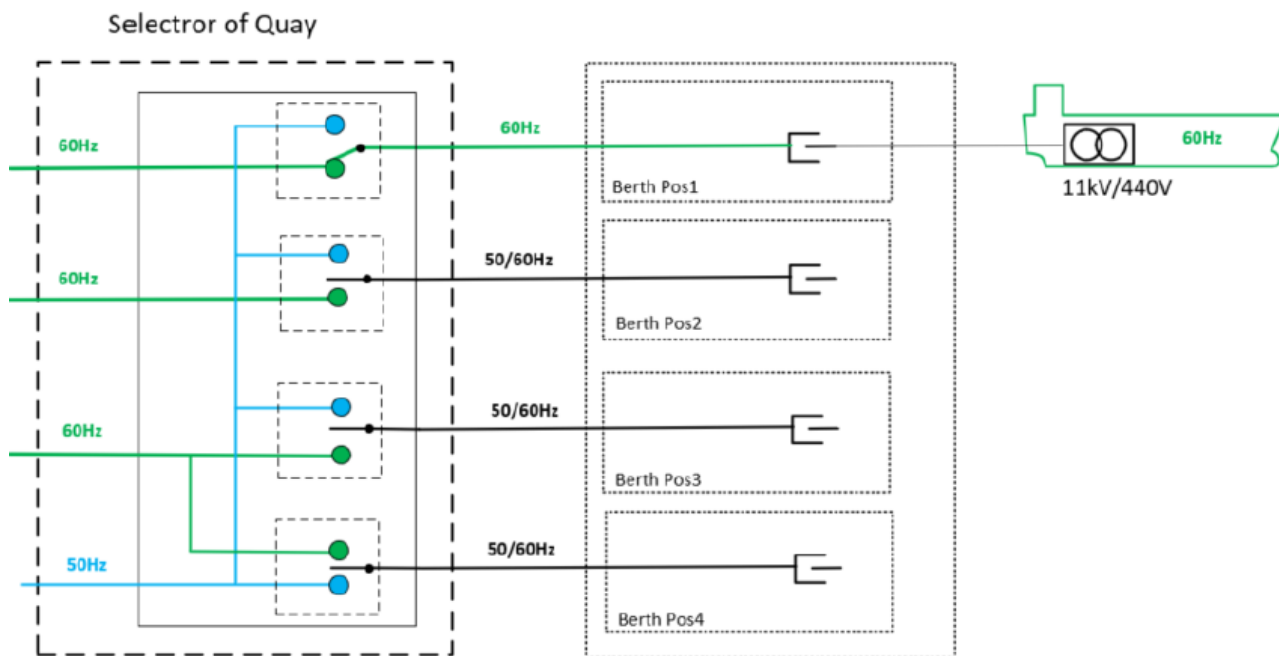
- Ανεξάρτητη λειτουργία συστημάτων με μετατροπή συχνότητας που αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία της εγκατάστασης.
- Δυνατότητα επεκτασιμότητας προσθέτοντας επιπλέον μονάδες (modules) μετατροπέα συχνότητας (χαμηλής ή υψηλής ισχύος) και μετασχηματιστών εντός υποσταθμού ή σε containers (Εικόνα 31). Το παραπάνω δίνει τη δυνατότητα εξυπηρέτησης επιπλέον θέσεων ελλιμενισμού διαφορετικών απαιτήσεων ισχύος και επίσης αυξάνει την αξιοπιστία της εγκατάστασης λόγω της ανεξάρτητης λειτουργίας.
- Δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας των modules προκειμένου να διασφαλιστεί η ισχύς για πλοία με υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ.
- Συνεχής λειτουργία του συστήματος (με μειωμένη ισχύ) σε περίπτωση βλάβης/συντήρησης.
- Υψηλή ποιότητα παροχής με χρήση IGBT transistors.
- Ευέλικτο πρόγραμμα συντήρησης/αντικατάστασης οποιουδήποτε module χωρίς διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Δυνατότητα συγχρονισμού δικτύων ακτής-πλοίου μέσω inverter control.
- Δυνατότητα μείωσης του μήκους των καλωδίων που καταλήγουν στις θέσεις ελλιμενισμού μέσω εγκατάστασης επιλογέα συχνότητας στον υποσταθμό. Η επιλογή συχνότητας στον υποσταθμό έχει ως αποτέλεσμα την αποστολή του μισού πλήθους καλωδίων/θέση (Εικόνα 32).

Μειονεκτήματα Αποκεντρωμένης Τοπολογίας AC

- Μεγάλη επιφάνεια κεντρικού υποσταθμού λόγω του μεγάλου πλήθους modules, συμπεριλαμβανομένων των πιθανών επεκτάσεων.
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης.



Εικόνα 31. Container station – modules of converters in the Rack form. [Πηγή: Budzisz and Warzyński, 2012].

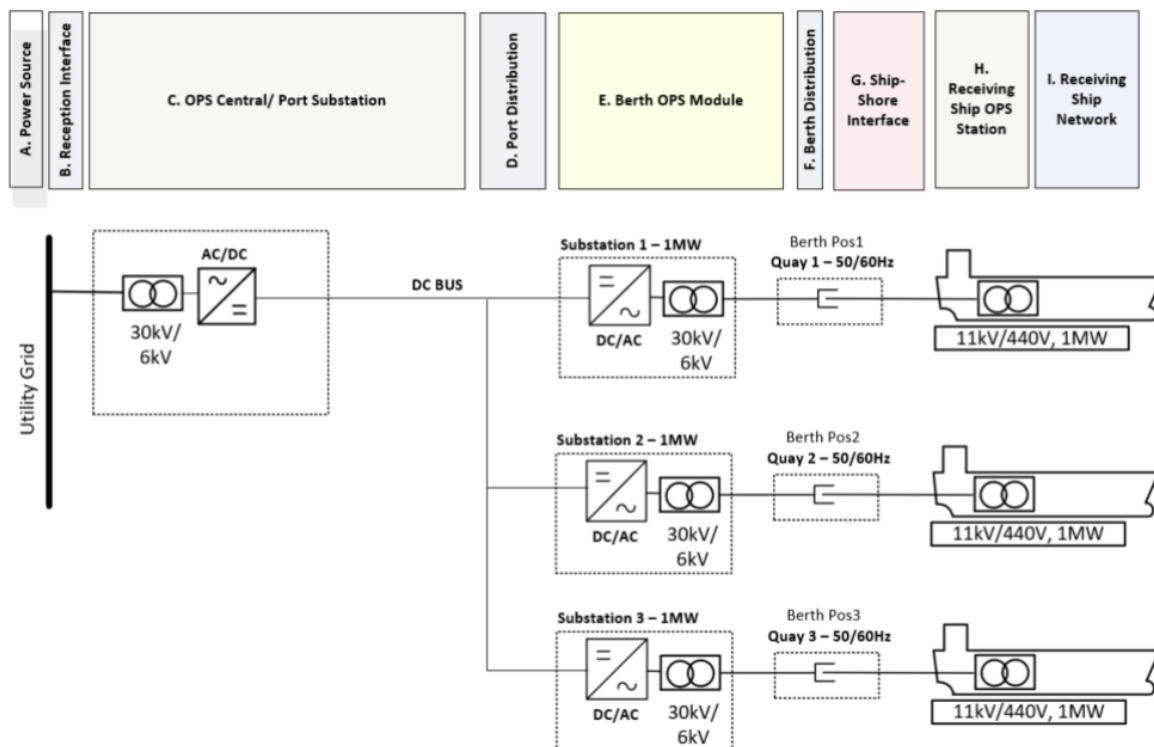


Εικόνα 32. Application of a frequency selector – saving connecting cables [24].

Τοπολογία DC

Στην Τοπολογία DC (Εικόνα 33) γίνεται μετατροπή του ρεύματος από AC σε DC στον κεντρικό υποσταθμό, το οποίο στη συνέχεια διανέμεται στους επί μέρους τοπικούς υποσταθμούς που

βρίσκονται στις αποβάθρες. Εκεί μετατρέπεται πάλι σε AC εξυπηρετώντας τις θέσεις ελλιμενισμού με τη συχνότητα που απαιτείται.



Εικόνα 33. Τυπική διάταξη Τοπολογίας DC [24].

Πλεονεκτήματα Τοπολογίας DC

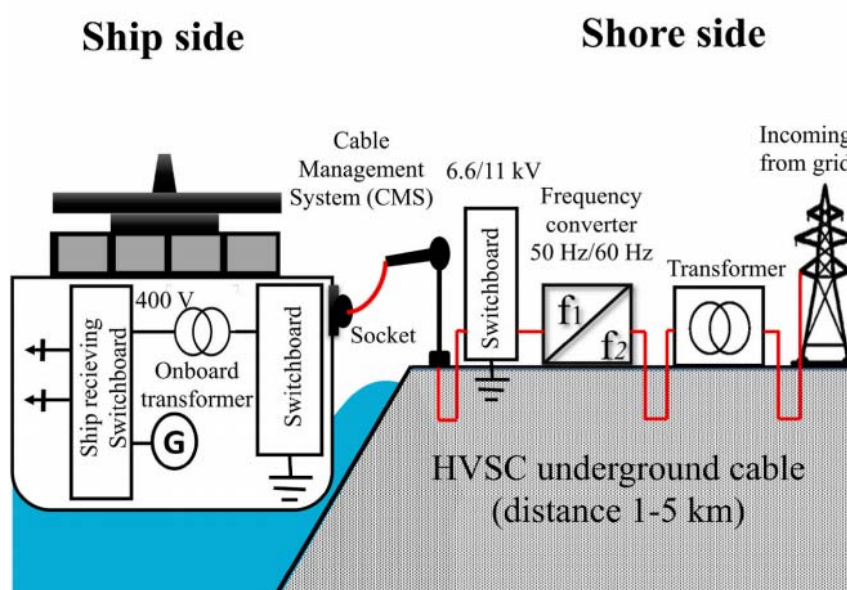
- Δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας μεταξύ συστημάτων διαφορετικής συχνότητας.
- Μείωση απωλειών μεταφοράς κατά 33% και ως εκ τούτου αυξημένη απόδοση.
- Η ισχύς που απαιτείται για τη μεταφορά είναι ανεξάρτητη της απόστασης.
- Η γραμμή μεταφοράς δεν απαιτεί αντιστάθμιση άεργου ισχύος.
- Τα συστήματα HVDC μπορούν να συνδυάζουν συστήματα ισχύος ασύγχρονης λειτουργίας.
- Τα συστήματα HVDC επιτρέπουν γρήγορο έλεγχο όγκων και κατευθύνσεων της ροής ισχύος.
- Δυνατότητα επεκτασιμότητας προσθέτοντας επιπλέον μονάδες (modules).
- Μικρότερο μέγεθος κεντρικού υποσταθμού από όλες τις υπόλοιπες τοπολογίες.

Μειονεκτήματα Τοπολογίας DC

- Μειωμένη αξιοπιστία συστήματος λόγω ύπαρξης μετατροπέα AC/DC στον κεντρικό υποσταθμό και ενός κεντρικού DC bus, η αστοχία ενός από τα οποία θα έθετε εκτός λειτουργίας την εγκατάσταση.
- Περιορισμένη διαθέσιμη τεχνολογία.
- Η τοποθέτηση των τοπικών υποσταθμών στις αποβάθρες ενδέχεται να εμποδίζει τη λειτουργία του λιμένα και στερεί τη μελλοντική χρήση του χώρου που καταλαμβάνουν.

5.5 Εξοπλισμός συστήματος

Παρακάτω παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση ενός συστήματος CI τόσο στη μεριά της ακτής, όσο και επί του πλοίου. Οι τεχνικές προδιαγραφές του εξοπλισμού πρέπει να ακολουθούν τη σειρά προτύπων ISO/IEC/IEEE 80005 και ο εξοπλισμός να είναι κατάλληλος για το περιβάλλον στο οποίο θα εγκατασταθεί (διαβρωτικό/θαλάσσιο περιβάλλον). Το πλήθος, το μέγεθος και η θέση κάθε εξοπλισμού εξαρτάται από την ζήτηση ισχύος ανά θέση ελλιμενισμού, από το πλήθος των θέσεων που εξυπηρετούνται και από την τοπολογία που θα επιλεγεί. Τα παραπάνω θα παρουσιαστούν αναλυτικά ανά Λιμενικό Σταθμό στο Κεφάλαιο 6. Στην παρακάτω Εικόνα 34 δίνεται σχηματικά ο βασικός εξοπλισμός πλοίου και ακτής.



Εικόνα 34. Βασικός εξοπλισμός συστήματος CI για την ακτή και το πλοίο [49].

5.5.1 Εξοπλισμός ακτής

Κτήρια

Τα κτήρια που απαιτούνται για την εφαρμογή του συστήματος (ανεξάρτητα τοπολογίας) είναι αυτό του κεντρικού Υ/Σ, εντός του οποίου θα εγκατασταθεί ο εξοπλισμός ακτής (Μ/Σ τάσης, μετατροπείς συχνότητας, κτλ). Στην περίπτωση επιλογής της συγκεντρωμένης τοπολογίας, απαιτούνται κτήρια Υ/Σ αποβάθρας, πλησίον των διασυνδεδεμένων θέσεων ελλιμενισμού για την στέγαση του εξοπλισμού τους. Σημειώνεται ότι τα παραπάνω κτήρια μπορούν να αντικατασταθούν από ειδικά διαμορφωμένα containers, στην περίπτωση που αυτό επιτρέπεται από το πλήθος και το μέγεθος του εξοπλισμού που θα εγκατασταθεί.

Μετασχηματιστές τάσης (transformers)

Οι μετασχηματιστές στη μεριά της ακτής βρίσκονται εντός του κτηρίου του κεντρικού Υ/Σ (υποβιβασμού & ανύψωσης) και αναλόγως της επιλεγμένης τοπολογίας, μετασχηματιστές μπορούν να υπάρχουν και στους Υ/Σ αποβάθρας. Ο μετασχηματιστής υποβιβασμού (ή step down) στη μεριά

της ακτής χρησιμοποιείται για την υποβίβαση της εισερχόμενης τάσης (συνήθως 20 kV) από το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης στο επίπεδο τάσης στην είσοδο του μετατροπέα συχνότητας (συνήθως 3,3 kV). Στη συνέχεια ακολουθεί ο μετασχηματιστής ανύψωσης (ή step up), για την ανύψωση στο επίπεδο της τάσης (συνήθως 6,6 kV ή 11 kV) που συνήθως απαιτείται στις διασυνδεδεμένες θέσεις ελλιμενισμού. Αναλόγως σχεδιασμού, είναι δυνατό να υπάρχει επιπλέον μετασχηματιστής step down για την υποβίβαση σε επίπεδο χαμηλής τάσης (400 - 440 V), για την εξυπηρέτηση πλοίων που δεν διαθέτουν μετασχηματιστή υποβίβασης.

Μετατροπέας συχνότητας (frequency converter)

Το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης λειτουργεί στα 50 Hz. Δεδομένου όμως ότι το δίκτυο των πλοίων μπορεί να λειτουργεί στα 50 Hz ή στα 60 Hz είναι απαραίτητη η ύπαρξη μετατροπέα συχνότητας, μέσω του οποίου μπορεί να παρασχεθεί η απαιτούμενη ισχύς από το δίκτυο ηλεκτροδότησης στο δίκτυο του πλοίου. Συνήθως προτιμάται η χρήση στατικού μετατροπέα συχνότητας όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 2.4, ο οποίος εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία σε περίπτωση διαταραχών στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Διακοπτικό υλικό (Switchgear)

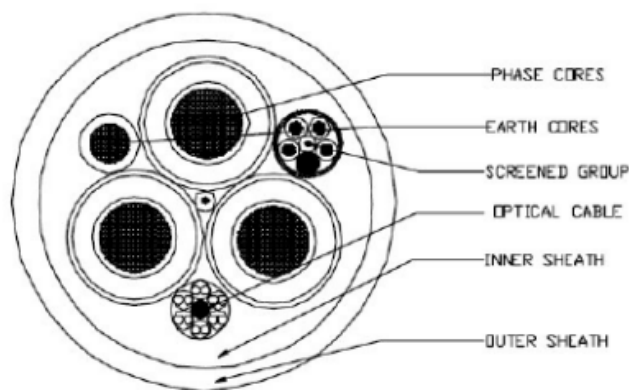
Η εγκατάσταση στο σύνολό της πρέπει να διαθέτει μια σειρά από διακόπτες και ασφάλειες. Μέσω του διακοπτικού υλικού είναι δυνατός ο έλεγχος, η απομόνωση και η προστασία των κυκλωμάτων και του εξοπλισμού της εγκατάστασης. Χρησιμοποιείται επίσης για την αντιμετώπιση βλαβών. Συνεπώς για λόγους προστασίας και ελέγχου το διακοπτικό υλικό εγκαθίσταται συνήθως πριν και μετά τον μετασχηματιστή, πριν τον μετατροπέα συχνότητας, στην αρχή των καλωδίων τροφοδοσίας των θέσεων ελλιμενισμού και στον τερματισμό τους στις εγκαταστάσεις υποδοχής (receptacle pits). Λόγω της λειτουργίας που επιτελεί, το διακοπτικό υλικό είναι κομβικής σημασίας για την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία της εγκατάστασης.

Καλώδια τροφοδοσίας (Supply cables) και ελέγχου/επικοινωνίας (Control & Communication cables)

Τα καλώδια τροφοδοσίας (υλικό κατασκευής: χαλκός ή αλουμίνιο) παρέχουν την απαιτούμενη ισχύ από το δίκτυο ακτής στο δίκτυο του πλοίου και αντιστοίχως τα καλώδια ελέγχου & επικοινωνίας (υλικό κατασκευής: οπτική ίνα) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δύο συστημάτων. Σημειώνεται ότι τα καλώδια τροφοδοσίας, ελέγχου και επικοινωνίας μπορούν να συνδυάζονται σε ένα κοινό καλώδιο (Εικόνες 35 και 36). Οι δύο ομάδες καλωδίων οδεύουν εντός κατάλληλων αγωγών (conduits) και πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να είναι κατάλληλα για το περιβάλλον στο οποίο θα εγκατασταθούν (π.χ. υπόγειο κανάλι πλησίον διαβρωτικού/θαλάσσιου περιβάλλοντος). Τα καλώδια τροφοδοσίας και οι αγωγοί τους διαστασιολογούνται και επιλέγονται ώστε να είναι κατάλληλα για τη μεταφορά της ζητούμενης ισχύς στην αντίστοιχη θέση ελλιμενισμού. Συνήθως επιλέγονται καλώδια (και οι αντίστοιχοι αγωγοί) κατάλληλα για μεταφορά μέγιστης ισχύος 4MVA/καλώδιο, λόγω του διαχειρίσιμου μεγέθους καλωδίου που προκύπτει.



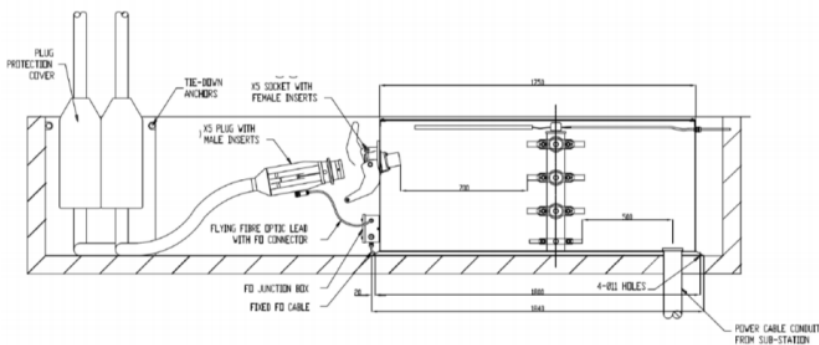
Εικόνα 35. Hybrid Power & Communication cables with blown Fibre Optics for data Transmission [Πηγή: europacable.eu]



Εικόνα 36. Εγκάρσια τομή καλωδίου $U_0/U_M = 6/10/(12)$ kV, $I_r = 369$ A [29].

Εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας (Receptacle pits)

Η εγκατάσταση υποδοχής των καλωδίων τροφοδοσίας είναι η θέση τερματισμού της όδευσής τους από τον μετασχηματιστή. Εντοπίζεται πλησίον των θέσεων ελλιμενισμού, συνήθως ανά 65m κατά μήκος της αποβάθρας και τοποθετείται σε υπόγειο χώρο εντός της ανωδομής ώστε να προστατεύεται και παράλληλα να εμποδίζεται η ελεύθερη πρόσβαση σε αυτήν. Οι υποδοχές των καλωδίων τροφοδοσίας διασυνδέονται με το διακοπτικό υλικό της αποβάθρας μέσω κλειδίων τύπου Kirk. Το κλειδί τύπου Kirk είναι ένα κλειδί ασφαλείας που χρησιμοποιείται για τον ασφαλή χειρισμό των καλωδίων και του εξοπλισμού κατά τη λειτουργία του συστήματος με σκοπό την απομόνωση πηγών ισχύος. Απελευθερώνεται από το κλειδωμα πρόσβασης μόνο με την παύση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικ. 37. Υποδοχή καλωδίων [Πηγή: Cavotec]. Εικ. 38. Υποδοχή καλωδίων - Τομή πλάγιας όψης [Πηγή: Cavotec].

Σύστημα διαχείρισης καλωδίων (CMS: Cables Management System)

Από τη μεριά της ακτής υπάρχουν δύο τρόποι διαχείρισης των καλωδίων για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο του πλοίου:

1. Μέσω ειδικά σχεδιασμένου γερανού για την ανύψωση των καλωδίων από την εγκατάσταση υποδοχής μέχρι τη θέση σύνδεσής τους επί του πλοίου. Ο γερανός συνήθως βρίσκεται

μόνιμα τοποθετημένος δίπλα στην κάθε θέση ελλιμενισμού και στην αντίστοιχη εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων.

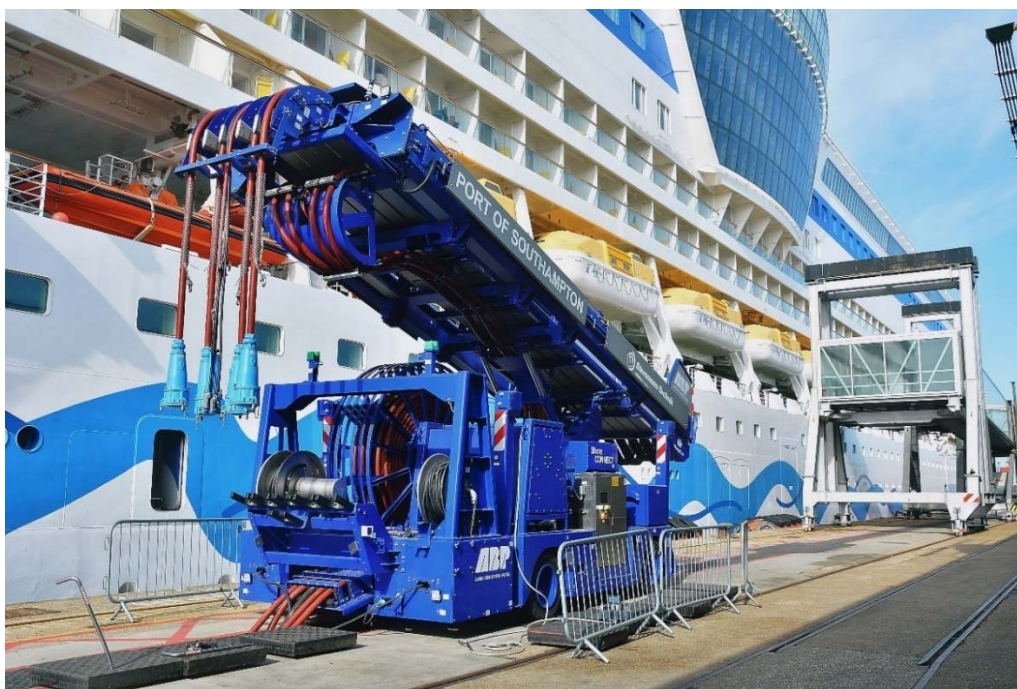


Εικ. 39. Γερανός CMS [Πηγή: Watts Marine] Εικ. 40. Γερανός CMS [Πηγή: Associated British Ports].

2. Μέσω ειδικού γερανοφόρου οχήματος, το οποίο φέρει κατάλληλο στροφέιο καλωδίων για την σύνδεσή του με τα καλώδια τροφοδοσίας που βρίσκονται στην εγκατάσταση υποδοχής. Το γερανοφόρο όχημα καταφθάνει πριν την άφιξη του πλοίου και αφού στηθεί και συνδεθεί με τα καλώδια τροφοδοσίας, τα ανυψώνει στη θέση σύνδεσής τους επί του πλοίου.



Εικόνα 41. Γερανοφόρο όχημα CMS [Πηγή: Associated British Ports].



Εικόνα 42. Γερανοφόρο όχημα CMS – Θέση εγκατάστασης [Πηγή: Associated British Ports].

Σύστημα ελέγχου και επικοινωνίας (Control & Communication System)

Το σύστημα ελέγχου και επικοινωνίας επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν τη διασύνδεση του πλοίου από τον σταθμό της στεριάς. Επίσης χρησιμοποιούνται κατά τον συγχρονισμό των δικτύων στεριάς και πλοίου, για την απομόνωση και παύση των γεννητριών του πλοίου και την παραλαβή της ισχύος από την στεριά.

5.5.2 Εξοπλισμός πλοίου

Σύστημα σύνδεσης καλωδίων

Στην περίπτωση που η ηλεκτρική διασύνδεση γίνεται μέσω CMS της ακτής, πρέπει το πλοίο να διαθέτει κατάλληλο σύστημα υποδοχής των καλωδίων που έρχονται από την ακτή και σύνδεσής τους με το δίκτυο του (Εικόνες 43 και 44).



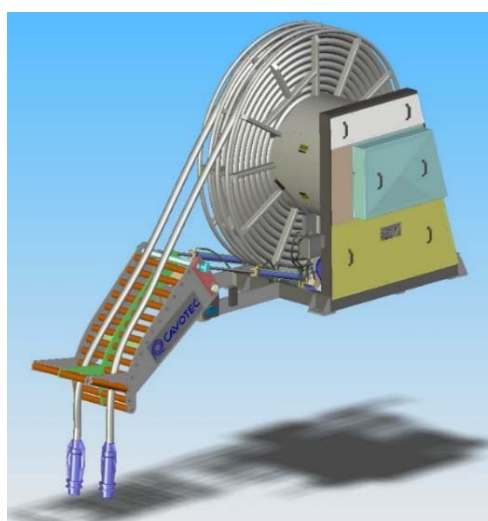
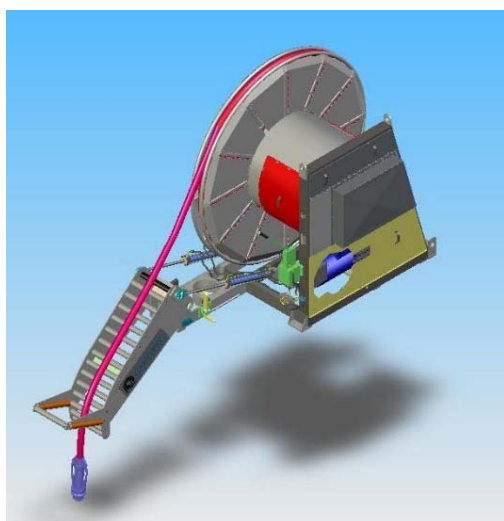
Εικ. 43. On-board cable connection [Πηγή: China Shipping]



Εικ. 44. Σύστημα σύνδεσης καλωδίων [Πηγή: Patton-Cooke-Ship-to-Shore].

Σύστημα διαχείρισης καλωδίων (CMS: Cables Management System)

Σε αντιστοιχία με τα CMS που είναι διαθέσιμα στη μεριά της ακτής, ορισμένα πλοία διαθέτουν CMS με σκοπό την ηλεκτρική διασύνδεσή τους με την ακτή. Σε αυτή την περίπτωση το CMS έχει τη μορφή στροφείου στο οποίο υπάρχουν τα καλώδια με τα οποία θα συνδεθεί το δίκτυο της ακτής. Η σύνδεση λαμβάνει χώρα επί της ακτής, εντός της εγκατάστασης υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας. Το παραπάνω σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μόνο το στροφείο (Εικόνες 45 και 46) ή να περιλαμβάνει εντός κατάλληλου εμπορευματοκιβωτίου και τον απαραίτητο παρελκόμενο εξοπλισμό, όπως το διακοπτικό υλικό, το σύστημα ελέγχου και τον πίνακα μέσης τάσης (Εικόνα 48) και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και τον μετασχηματιστή και τον μετατροπέα συχνοτήτων (Εικόνες 47 και 49).



Εικόνα 45. CMS επί του πλοίου (μόνο καλώδιο) Εικόνα 46. CMS επί του πλοίου (διπλό καλώδιο)
[Πηγή: Cavotec]. [Πηγή: Cavotec].

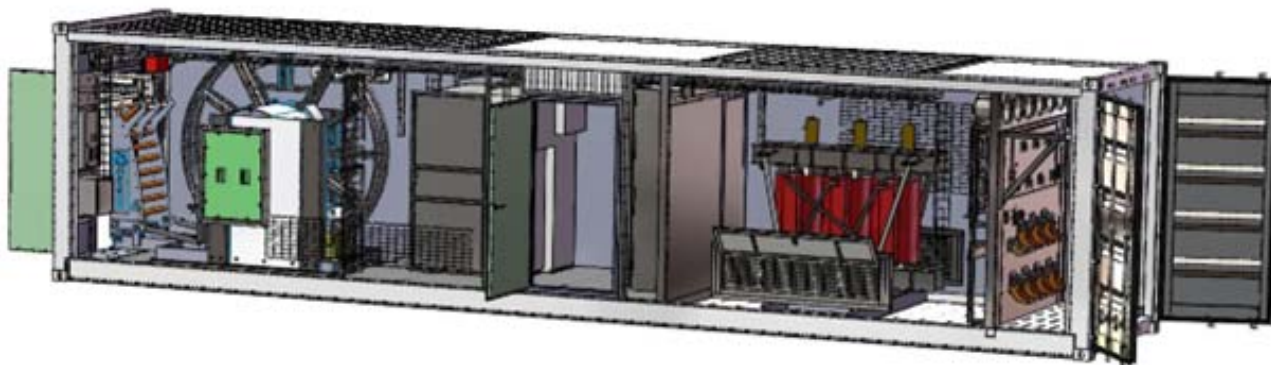
Διασύνδεση με την ακτή (Shore connection)

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη διασύνδεση με την ακτή και τη μετάβαση από την τροφοδοσία που παρέχεται από τις γεννήτριες του πλοίου, στην τροφοδοσία που παρέχεται από την ξηρά: α) η τροφοδοσία απενεργοποιείται κατά την έναρξη του ελλιμενισμού και στη συνέχεια το δίκτυο του πλοίου συνδέεται με το δίκτυο της ακτής, β) το πλοίο διατηρεί την τροφοδοσία από τις γεννήτριες του μέχρι την σύνδεση και συγχρονισμό με το δίκτυο της ακτής, επιτυγχάνοντας έτσι συνεχή ηλεκτροδότηση χωρίς διακοπές. Με την ολοκλήρωση του συγχρονισμού οι βοηθητικές μηχανές του πλοίου παύουν τη λειτουργία τους.

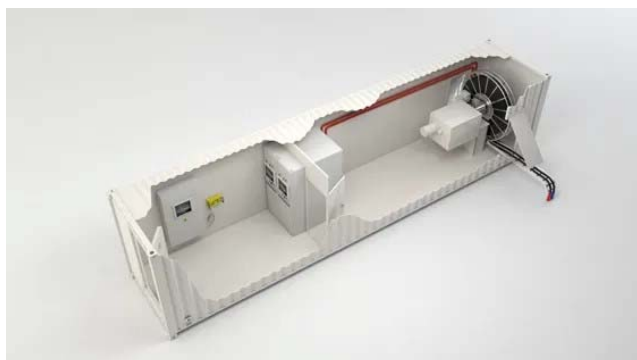
Μια ασυνεχής ηλεκτροδότηση δεν είναι επιθυμητή σε πλοία όπως τα κρουαζιερόπλοια, ενώ σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων θα μπορούσε να γίνει ανεκτή, δεδομένου ότι ακόμα και τα reefers (containers ψυγεία) που τυχόν μεταφέρουν μπορούν να παραμείνουν για σύντομο χρονικό διάστημα χωρίς τροφοδοσία. Δεδομένου όμως ότι λόγω διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδοσίας υπάρχει πιθανότητα να προκληθούν βλάβες σε ευπαθές εξοπλισμό (ψηφιακά συστήματα πλοίου, υπολογιστές, κ.α.), σχεδόν πάντα προτιμάται η δεύτερη μέθοδος.

Σύστημα διανομής (Distribution system)

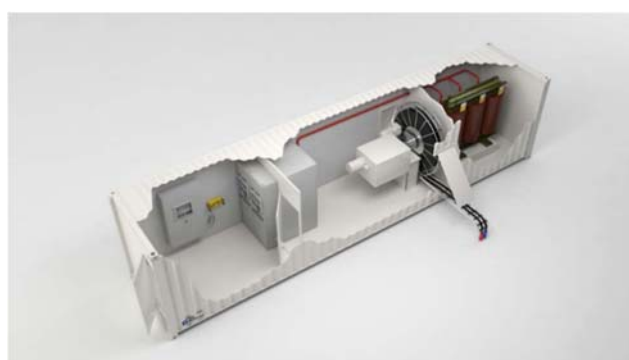
Η πλειοψηφία των υφιστάμενων πλοίων διαθέτει επίπεδο λειτουργίας 400 - 440 V σε συχνότητα 60 Hz. Συνήθως δεν προτιμάται η διανομή σε επίπεδο χαμηλής τάσης, από την ακτή μέχρι τις θέσεις ελλιμενισμού, εξαιτίας των μεγάλων απωλειών. Για αυτό τον λόγο η διανομή μέχρι το πλοίο γίνεται σε επίπεδο μέσης τάσης (6,6 kV ή 11 kV) και στη συνέχεια ο μετασχηματιστής επί του πλοίου, εξοπλισμένος με το αντίστοιχο διακοπτικό υλικό, υποβιβάζει την τάση στο επιθυμητό επίπεδο λειτουργίας (Εικόνες 47 και 49).



Εικόνα 47. CAVOTEC PowerFit HV [Πηγή www.cavotec.com].



Εικόνα 48. WÄRTSILÄ SAMCon
[Πηγή: www.wartsila.com]



Εικόνα 49. WÄRTSILÄ SAMCon με Μετασχηματιστή.
[Πηγή: www.wartsila.com]

6. Cold Ironing - Εφαρμογή στους Λιμενικούς Σταθμούς Πειραιά

6.1 Περιγραφή τεχνικής σχεδίασης της εγκατάστασης

Η τεχνική σχεδίαση του συστήματος σε κάθε Λιμενικό Σταθμό, θα ξεκινήσει με την επιλογή της τιμής ισχύος σε κάθε διασυνδεδεμένη θέση ελλιμενισμού. Αυτή η επιλογή θα κινηθεί εντός των αντικειμενικών ορίων που διαμορφώνονται αφενός από την απαίτηση σε ισχύ, των πλοίων που επισκέπτονται την θέση (όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.1.1) η οποία θα αποτελέσει το κάτω όριο επιλογής και αφετέρου από τη μέγιστη τιμή που μπορεί να απαιτηθεί μελλοντικά με βάση το

μέγεθος κάθε θέσης ελλιμενισμού. Η τελευταία τιμή θα αποτελέσει το άνω όριο επιλογής, για την εκτίμηση του οποίου θα χρησιμοποιηθεί η σχετική βιβλιογραφία (Πίνακες 6 και 7) και σε συνδυασμό με το κάτω όριο, θα αποτελέσουν το διάστημα εντός του οποίου η επιλεγμένη παρεχόμενη ισχύς πρέπει να βρίσκεται. Προφανώς μια ενδεχόμενη επιλογή παροχής με βάση το κάτω όριο, θα οδηγήσει στο ελάχιστο κόστος εγκατάστασης, με δυνατότητα εξυπηρέτησης πλοίων παρόμοιων απαιτήσεων με αυτά των πλοίων που εξετάστηκαν, αλλά χωρίς τη δυνατότητα εξυπηρέτησης πλοίων με μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ισχύ, το οποίο θα είχε ως αποτέλεσμα τη μειωμένη αξιοποίηση του συστήματος (μειωμένη χρήση λόγω τεχνολογικών περιορισμών). Αντιστοίχως, η επιλογή παροχής με βάση το άνω όριο, θα οδηγήσει στο μέγιστο κόστος εγκατάστασης, που εξαιτίας της μικρής επισκεψιμότητας πλοίων μεγάλων απαιτήσεων σε ισχύ, θα είχε ως αποτέλεσμα τη μειωμένη αξιοποίηση του συστήματος (μειωμένη χρήση λόγω μειωμένης ζήτησης). Η μειωμένη αξιοποίηση του συστήματος θα οδηγούσε σε μια ασύμφορη επένδυση λόγω της δέσμευσης πάγιου εξοπλισμού υψηλής αξίας και ως εκ τούτου η διερεύνηση της επιλεγμένης παρεχόμενης ισχύος σε κάθε θέση ελλιμενισμού κρίνεται σκόπιμη.

Στους Σταθμούς Κρουαζιέρας, Διακίνησης Οχημάτων και Εμπορευματοκιβωτίων μπορούν να ελλιμενιστούν ταυτοχρόνως πλοία διαφορετικών διαστάσεων, καθιστώντας έτσι απαραίτητη την εξέταση των σχετικών σεναρίων συνδυασμού μεγεθών/απαιτήσεων ισχύος σε συνδυασμό με το αντίστοιχο διαθέσιμο μήκος ακτής. Συνεπώς, με στόχο τη βέλτιστη επιλογή, κρίνεται σκόπιμη η ανάλυση επισκεψιμότητας στους παραπάνω Σταθμούς (εξέταση σεναρίων και συχνότητα ελλιμενισμού συναρτήσει του μεγέθους). Ειδική περίπτωση αποτελεί ο Σταθμός Ακτοπλοΐας, λόγω του γεγονότος ότι ο στόλος που ελλιμενίζεται είναι σχεδόν σταθερός (τουλάχιστον ως προς την απαίτηση ισχύος) και η συχνότητα επισκέψεων επίσης σταθερή ακολουθώντας κυκλικά δρομολόγια. Κατά τη σχεδίαση των συστημάτων θα ληφθεί επίσης υπόψιν ο τρόπος ελλιμενισμού κάθε τύπου πλοίου, όσον αφορά την αποβίβαση στην ακτή και τις απαιτούμενες αποστάσεις με γειτονικά πλοία.

Μετά την επιλογή της παρεχόμενης ισχύος σε κάθε διασυνδεδεμένη θέση ελλιμενισμού, θα ακολουθήσει ομαδοποίηση των επιλογών σε κεντρικούς Υ/Σ, με κριτήρια την απόστασή των θέσεων από διαθέσιμο χώρο προς ανάπτυξη Υ/Σ και την μεταξύ των θέσεων γεινίαση. Η επιλογή της βέλτιστης τοπολογίας (μεταξύ των δύο συνηθέστερων: συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία) θα προκύψει από την κοστολόγηση του απαιτούμενου εξοπλισμού σε συνδυασμό με την αξιοπιστία και τη λειτουργικότητα της εγκατάστασης εν συνόλω. Βασικός εξοπλισμός των κεντρικών Υ/Σ των παραπάνω τοπολογιών αποτελεί η συστοιχία Μ/Σ υποβίβασης – Μετατροπέα συχνότητας – Μ/Σ ανύψωσης (απομόνωσης), με τη λειτουργία τους όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 5.5.1. Η ηλεκτροδότηση κάθε κεντρικού Υ/Σ θεωρείται ότι θα γίνει από το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης μέσω ζυγού 20 kV/50 Hz. Κατά την τεχνική σχεδίαση του συστήματος, οι εγκαταστάσεις θα εξεταστούν από την άφιξη των 20 kV/50 Hz στους κεντρικούς Υ/Σ μέχρι την τροφοδότηση των πλοίων. Οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις για την σύνδεση των Υ/Σ με το δίκτυο διανομής θα ληφθούν υπόψιν κατά την κοστολόγηση του συστήματος στην παράγραφο 6.6 με σκοπό να αξιολογηθεί η επένδυση.

Η άφιξη της παροχής 20 kV/50 Hz υποβιβάζεται μέσω Μ/Σ στην τάση λειτουργίας των μετατροπέων συχνότητας και στη συνέχεια ανυψώνεται μέσω Μ/Σ στο επίπεδο διανομής (6,6 ή 11 ή 20 kV). Η παρεχόμενη τάση στις θέσεις ελλιμενισμού μπορεί να ποικίλει μεταξύ 400-440 V, 6,6 kV και 11 kV. Για αυτό τον λόγο, οι Μ/Σ που θα τροφοδοτούν τις διασυνδεδεμένες θέσεις θα είναι διπλής λήψης 11/6,6 kV και οι αναχωρήσεις των καλωδίων θα καταλήγουν μέσω διακοπών (για την επιλογή του επιθυμητού επιπέδου τάσης) σε κοινό ζυγό, από τον οποίο θα αναχωρεί καλώδιο υπολογισμένο για την υψηλότερη τιμή έντασης ρεύματος (εν προκειμένω για την τάση 6,6 kV). Σύμφωνα με το πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005-1, σε απαιτήσεις ισχύος άνω των 1 MW θα γίνεται σύνδεση υψηλής τάσης (HVSC) και συνεπώς η παρεχόμενη τάση θα είναι των επιπέδων 6,6 ή 11 kV. Αντιστοίχως, σύμφωνα με το πρότυπο IEC PAS 80005-3, σε απαιτήσεις ισχύων κάτω του 1 MVA θα γίνεται σύνδεση χαμηλής τάσης (LVSC) και συνεπώς θα απαιτείται ύπαρξη Μ/Σ υποβίβασης τάσης πλησίον της θέσης.

Η διαστασιολόγηση των καλωδίων θα γίνει προσδιορίζοντας αρχικά την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το καλώδιο μέσω της σχέσης $I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$, όπου S η φαινόμενη ισχύς σε kVA που μεταφέρει και V η τάση υπό την οποία βρίσκεται. Στη συνέχεια θα επιλεγεί η κατάλληλη διατομή, σύμφωνα με όσα ορίζονται στα πρότυπα IEC 60364-5-52 (για τα καλώδια 400-440 V) και IEC 60502-2 (για τα καλώδια 6,6 kV και 11 kV), προσδιορίζοντας τον αντίστοιχο συντελεστή μείωσης f_{TOT} της φέρουσας ικανότητας των καλωδίων (σε σχέση με την ικανότητα που αναφέρουν οι πίνακες των προτύπων), ο οποίος θα προκύψει ως γινόμενο των συντελεστών διόρθωσης που περιγράφονται στα παραπάνω πρότυπα και αφορούν τη θερμοκρασία και θερμική αντίσταση του εδάφους, τον τρόπο όδευσης και διάταξης των καλωδίων, την ύπαρξη κοινών οδεύσεων και των αποστάσεων αυτών. Στις εγκαταστάσεις που θα εξεταστούν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, τα καλώδια σύνδεσης θα οδεύουν υπογείως σε βάθος 0,8 m (συντελεστής 1,0) από την επιφάνεια του εδάφους, τοποθετημένα ελεύθερα και εφαιπτόμενα μεταξύ τους (για καλώδια διαφορετικών κυκλωμάτων), εντός ορυγμάτων μέχρι την αποβάθρα και στη συνέχεια εντός κλειστών καναλιών μέχρι την υποδοχή καλωδίων κάθε θέσης (συντελεστής f_{tot} Πίνακα 26) σε διάταξη trefoil. Η θερμοκρασία εδάφους θεωρήθηκε ίση με 25 °C (συντελεστής διόρθωσης 0,96) και η θερμική αντίστασή του ίση με 1,5 K.m/W (συντελεστής διόρθωσης 1,0). Μετά τον προσδιορισμό του f_{TOT} , αυτό θα πολλαπλασιάζεται σειριακά με τη φέρουσα ικανότητα των διατομών των προτύπων για τον τρόπο όδευσης και διάταξης που έχει επιλεγεί και θα επιλέγεται η διατομή που θα εμφανίσει ίση ή μεγαλύτερη ένταση ρεύματος με την υπολογισμένη από την παραπάνω σχέση. Γενικά θα χρησιμοποιηθούν καλώδια χαλκού με μόνωση XLPE. Παράλληλα με τα καλώδια ισχύος θα εγκατασταθούν και τα καλώδια επικοινωνίας. Η σύνδεση των καλωδίων σύνδεσης από το κουτί υποδοχής μέχρι το πλοίο θα γίνεται μέσω ειδικού γερανοφόρου οχήματος ή συστήματος CMS επί του πλοίου.

Σε κάθε θέση ελλιμενισμού πρέπει να παρέχεται ηλεκτρικό ρεύμα συχνότητας 50 Hz και 60 Hz ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση πλοίων που το δίκτυό τους λειτουργεί σε οποιαδήποτε από τις δύο

συχνότητες. Για αυτό τον λόγο στον κεντρικό Υ/Σ θα επιλέγεται η κατάλληλη συχνότητα που απαιτείται από την κάθε θέση. Για να επιτευχθεί αυτό, στην συγκεντρωμένη τοπολογία απαιτείται η εγκατάσταση διπλού ζυγού ο οποίος από τη μια μεριά θα είναι συνδεδεμένος με το εθνικό δίκτυο 20 kV/50 Hz και από την άλλη με την έξοδο του μετατροπέα συχνότητας 20 kV/60 Hz.

6.2 Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας

Στα παρακάτω Διαγράμματα 38 - 43 δίνεται το πλήθος των ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα για όλες τις Πύλες, έχοντας εξαιρέσει τις ημέρες χωρίς παρουσία πλοίου, δεδομένου ότι εξετάζουμε μόνο τις λειτουργικές περιόδους του Σταθμού. Από αυτά θα προκύψει το πλήθος των θέσεων που θα διασυνδεθεί ηλεκτρικά σε κάθε Πύλη. Συγκεκριμένα:

- Στην Πύλη E1 εμφανίζεται μέσος όρος ελλιμενισμένων πλοίων 1,95/ημέρα. Από το Διάγραμμα 38 και δεδομένης της αυξητικής τάσης, επιλέγονται 3 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση.
- Στην Πύλη E2 εμφανίζεται μέσος όρος ελλιμενισμένων πλοίων 1,74/ημέρα. Από το Διάγραμμα 39 και δεδομένης της μειωτικής τάσης, επιλέγονται 2 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση.
- Στην Πύλη E3 εμφανίζεται μέσος όρος ελλιμενισμένων πλοίων 1,75/ημέρα. Από το Διάγραμμα 40 και δεδομένης της αυξητικής τάσης, επιλέγονται 3 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση. Σημειώνεται ότι επιλέχθηκαν 3 αντί 2 θέσεις, αφενός λόγω της τάσης και αφετέρου για λόγους ευελιξίας και εφεδρείας, αφού σε αυτή την θέση θα μπορεί να ελλιμενιστεί κάποιο πλοίο των Πυλών E1 ή E2 σε περίπτωση πληρότητας θέσεων.
- Στις Πύλες E4, E5, E6 ελλιμενίζεται ένα πλοίο ανά Πύλη και συνεπώς θα διασυνδεθεί 1 θέση σε κάθε Πύλη.
- Στην Πύλη E7 εμφανίζεται μέσος όρος ελλιμενισμένων πλοίων 1,49/ημέρα. Από το Διάγραμμα 41 και δεδομένης της αυξητικής τάσης, επιλέγονται 2 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση, που συμπίπτει με τον μέγιστο αριθμό ελλιμενισμένων πλοίων/ημέρα.
- Στην Πύλη E8 εμφανίζεται μέσος όρος ελλιμενισμένων πλοίων 4,30/ημέρα. Από το Διάγραμμα 42 και δεδομένης της αυξητικής τάσης, επιλέγονται 6 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση, που συμπίπτει με τον μέγιστο αριθμό ελλιμενισμένων πλοίων/ημέρα. Σημειώνεται ότι επιλέχθηκαν 6 αντί 5 θέσεις, αφενός λόγω της τάσης και αφετέρου για λόγους ευελιξίας και εφεδρείας, αφού σε αυτή την θέση θα μπορεί να ελλιμενιστεί κάποιο πλοίο των Πύλης E9 σε περίπτωση πληρότητας θέσεων.
- Στην Πύλη E9 εμφανίζεται μέσος όρος ελλιμενισμένων πλοίων 1,04/ημέρα. Από το Διάγραμμα 43 και δεδομένης της έλλειψης εμφανούς τάσης, επιλέγεται 1 θέση ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση.

Από την επεξεργασία των δρομολογίων του Σταθμού Ακτοπλοΐας προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 24, στον οποίο απεικονίζονται οι συχνότητες εμφάνισης των απαιτήσεων σε ισχύ ανά Πύλη, βάσει των οποίων θα αποδοθούν οι απαιτήσεις ισχύος σε κάθε θέση ελλιμενισμού.

Gate	Demanded Power (kW)	Demanded Power (kVA)	Number of port calls	Frequency	Number of berth positions
E1	1.490	1.862,50	79	45,66%	1
	2.340	2.925,00	94	54,34%	2
E2	1.490	1.862,50	10	8,06%	1
	2.340	2.925,00	114	91,94%	1
E3	2.340	2.925,00	96	100,00%	3
E4	1.490	1.862,50	62	100,00%	1
E5	1.490	1.862,50	96	100,00%	1
E6	1.490	1.862,50	110	100,00%	1
E7	1.490	1.862,50	197	100,00%	2
E8	590	737,50	436	52,59%	3
	365	456,25	393	47,41%	3
E9	590	737,50	88	100,00%	1

Πίνακας 24. Συχνότητα εμφάνισης απαιτήσεων σε ισχύ ανά Πύλη.

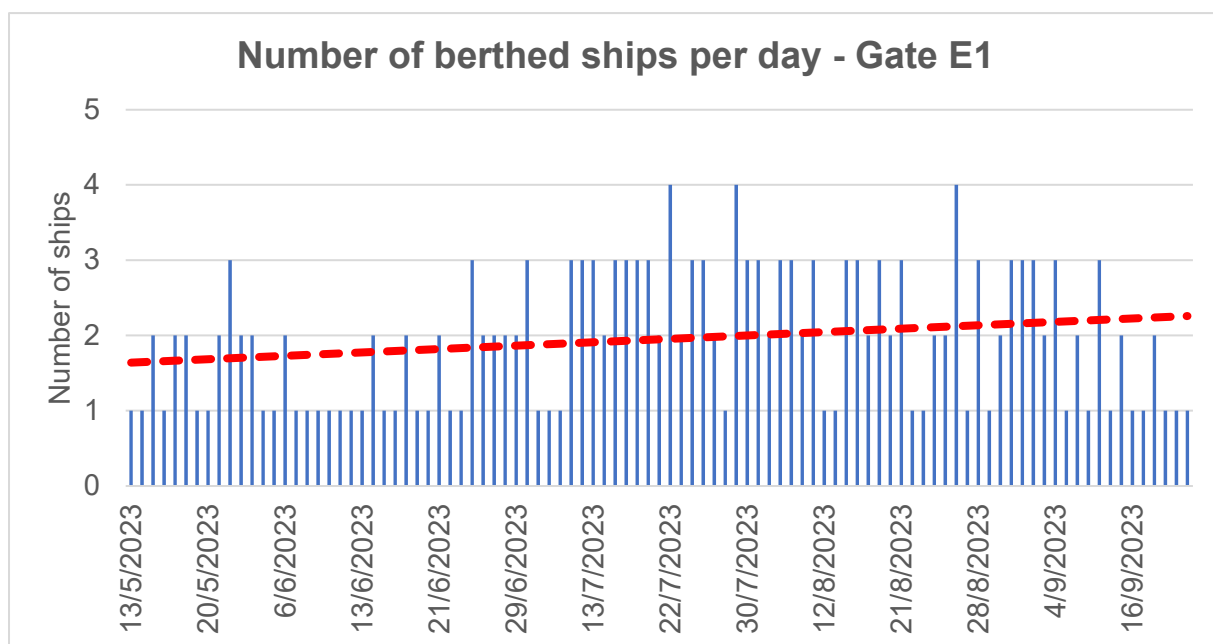
Συνεπώς με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορούμε να καταλήξουμε στο πλήθος και στο μέγεθος των θέσεων ελλιμενισμού που θα διασυνδεθούν σε κάθε Πύλη. Όπως διατυπώθηκε στην παράγραφο 6.1 οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 24 αποτελούν το κάτω όριο επιλογής. Με τη βοήθεια των τιμών του Πινάκων 6 και 7 θα επιλέξουμε κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας ο οποίος θα εφαρμοστεί στο κάτω όριο επιλογής. Η επιλεγμένη τιμή ισχύος που θα παρασχεθεί στην κάθε θέση ελλιμενισμού θα πρέπει να ανταποκρίνεται στα τυποποιημένα μεγέθη μετασχηματιστών και μετατροπέων συχνότητας και δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 6.500 kVA, όπως ορίζεται στο IEC/ISO/IEEE 80005-1.

Οι επιλεγμένες τιμές ισχύος θα ομαδοποιηθούν σε κεντρικούς Υ/Σ, με κριτήρια την απόστασή τους από διαθέσιμο χώρο για την ανάπτυξη Υ/Σ και την μεταξύ τους γεινίαση τους. Συνεπώς στις Πύλες E1, E2 και E3 θα κατασκευαστεί από 1 Υ/Σ για την εξυπηρέτηση των αναγκών τους. Στην Πύλη E5 θα κατασκευαστεί 1 Υ/Σ για την εξυπηρέτηση των Πυλών 4, 5, 6 και στην Πύλη E8 θα κατασκευαστεί 1 Υ/Σ για την εξυπηρέτηση των Πυλών 7,8, 9. Από τα παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 25.

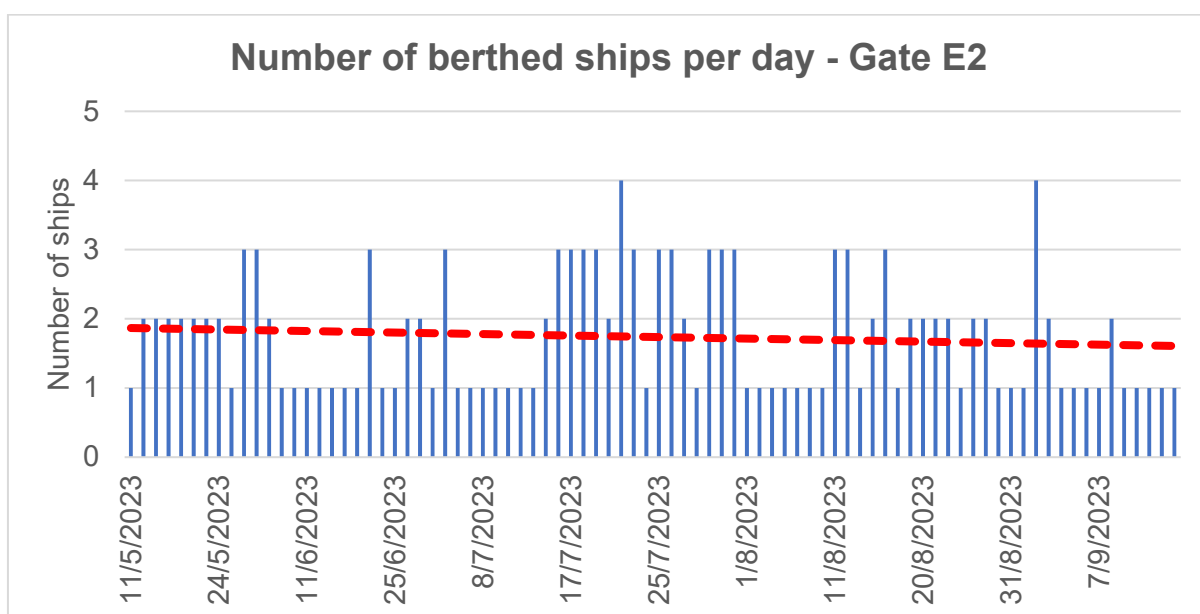
Central Substation	Berth	Calculated power demand (kVA)	Ericsson & Fazlagic' (kVA)	Radu & Grandidier (kVA)	Stolz et al (kVA)	EMSA (kVA)	Selected power at berth (kVA)	Safety factor
S.E1	E1.1	2.925,00	2.250	3.000	3.750	8.125	3.500	1,197
	E1.2	1.862,50	2.250	3.000	3.750	8.125	2.500	1,342
	E1.3	2.925,00	2.250	3.000	3.750	8.125	3.500	1,197
S.E2	E2.1	2.925,00	2.250	3.000	3.750	8.125	3.500	1,197
	E2.2	2.925,00	2.250	3.000	3.750	8.125	3.500	1,197
S.E3	E3.1	2.925,00	2.250	3.000	3.750	8.125	3.500	1,197
	E3.2	2.925,00	2.250	3.000	3.750	8.125	3.500	1,197
	E3.3	2.925,00	2.250	3.000	3.750	8.125	3.500	1,197

S.E5	E4.1	1.862,50	2.250	3.000	3.750	8.125	2.500	1,342
	E5.1	1.862,50	2.250	3.000	3.750	8.125	2.500	1,342
	E6.1	1.862,50	2.250	3.000	3.750	8.125	2.500	1,342
S.E8	E7.1	1.862,50	2.250	3.000	3.750	8.125	2.500	1,342
	E7.2	1.862,50	2.250	3.000	3.750	8.125	2.500	1,342
	E8.1	737,50	2.250	3.000	3.750	8.125	1.000	1,356
	E8.2	737,50	2.250	3.000	3.750	8.125	1.000	1,356
	E8.3	737,50	2.250	3.000	3.750	8.125	1.000	1,356
	E8.4	456,25	2.250	3.000	3.750	8.125	630	1,381
	E8.5	456,25	2.250	3.000	3.750	8.125	630	1,381
	E8.6	456,25	2.250	3.000	3.750	8.125	630	1,381
	E9.1	737,50	2.250	3.000	3.750	8.125	1.000	1,356

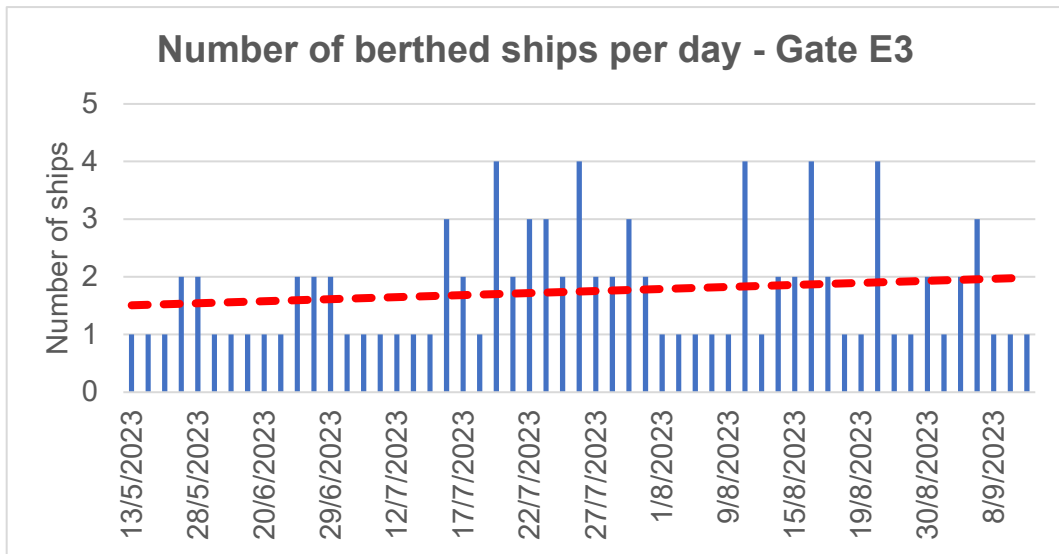
Πίνακας 25. Πλήθος θέσεων ελλιμενισμού του Σταθμού Ακτοπλοΐας και επιλεγμένη ισχύς.



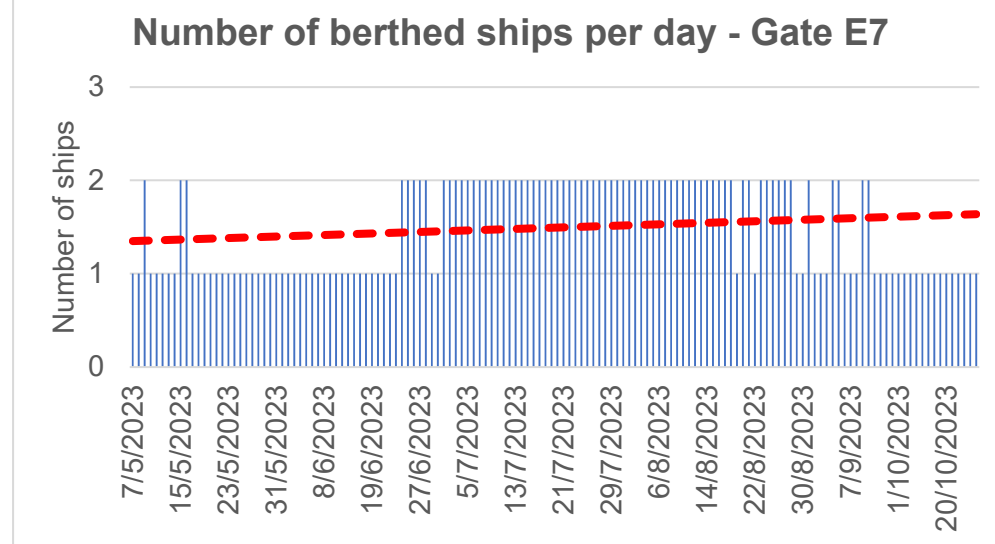
Διάγραμμα 38. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στην Πύλη E1.



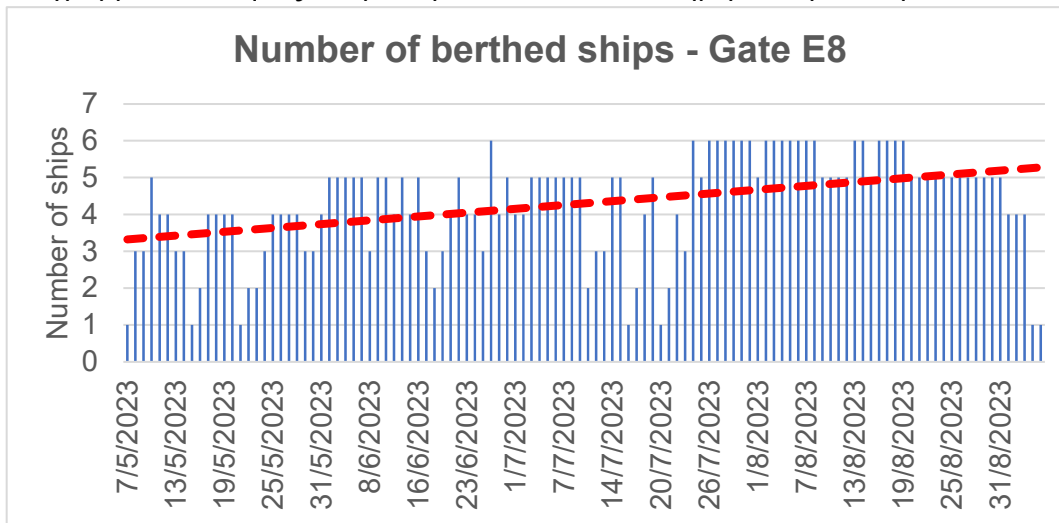
Διάγραμμα 39. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στην Πύλη E2.



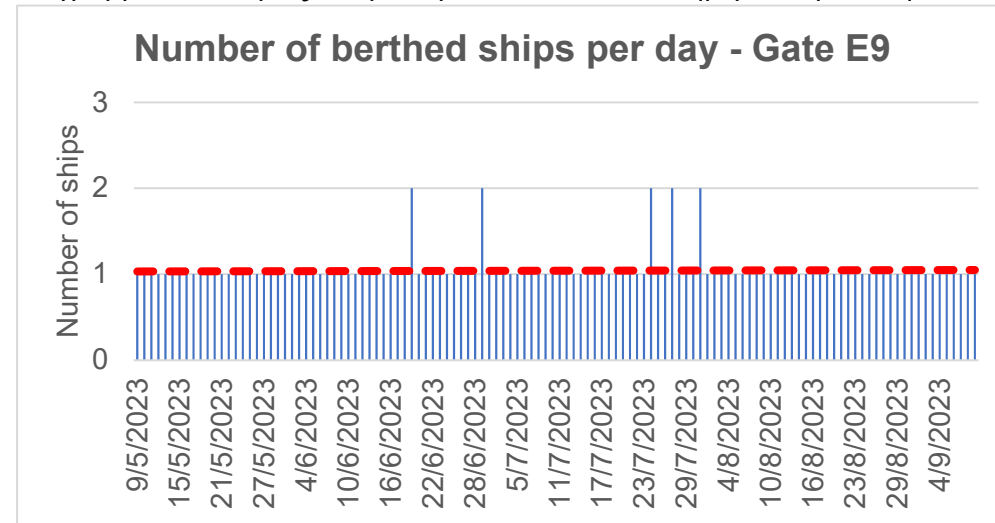
Διάγραμμα 40. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στην Πύλη Ε3.



Διάγραμμα 41. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στην Πύλη Ε7.



Διάγραμμα 42. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στην Πύλη Ε8.



Με βάση τις επιλεγμένες τιμές ισχύος του Πίνακα 25 και την τεχνική περιγραφή της παραγράφου 6.1 προκύπτει ο Πίνακας 26 έπειτα από εφαρμογή της αποκεντρωμένης τοπολογίας και ο Πίνακας 27 ύστερα από εφαρμογή της συγκεντρωμένης τοπολογίας, στους οποίους δίνεται ο υπολογισμός των καλωδίων διανομής. Σημειώνεται ότι το πλήθος των παράλληλων καλωδίων στο ίδιο κανάλι μπορεί να φανεί στην Εικόνα 53. Επίσης η οριζοντιογραφία της εγκατάστασης του Σταθμού Ακτοπλοΐας δίνεται στην Εικόνα 50.

Θέση	Τάση διαστασ. V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	f _{tot}	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
E1.1	6,6	745	306,17	2	0,73	0,70	3(1x35 mm ²)	730
E1.2	6,6	546	218,69	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	
E1.3	6,6	84	306,17	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	69
E2.1	6,6	332	306,17	2	0,73	0,70	3(1x35 mm ²)	433
E2.2	6,6	160	306,17	2	0,73	0,70	3(1x35 mm ²)	
E3.1	6,6	246	306,17	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	231
E3.2	6,6	66	306,17	2	0,73	0,70	3(1x35 mm ²)	145
E3.3	6,6	102	306,17	2	0,73	0,70	3(1x35 mm ²)	
E4.1	6,6	227	218,69	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	208
E5.1	6,6	206	218,69	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	
E6.1	6,6	86	218,69	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	71
E7.1	6,6	152	218,69	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	137
E7.2	6,6	188	218,69	3	0,60	0,58	3(1x50 mm ²)	253
E8.1	6,6	268	87,48	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	
E8.2	6,6	262	87,48	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	
E8.3	6,6	79	87,48	4	0,54	0,52	3(1x16 mm ²)	
E8.4	0,44	32	826,66	1	1,00	0,96	2(3x240 mm ²)	34
E8.5	0,44	42	826,66	3	0,60	0,58	2(3x300 mm ²)	100
E8.6	0,44	69	826,66	3	0,60	0,58	2(3x300 mm ²)	
E9.1	6,6	557	87,48	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	492

Πίνακας 26. Διαστασιολόγηση συστ. CI για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας (Αποκεντρωμένη Τοπολογία).

Θέση	Τάση διαστασ. V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	f _{tot}	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
E1.1	20	745	101,04	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	730
E1.2	20	546	72,17	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	
E1.3	20	84	101,04	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	69
E2.1	20	332	101,04	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	433
E2.2	20	160	101,04	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	
E3.1	20	246	101,04	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	231
E3.2	20	66	101,04	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	145

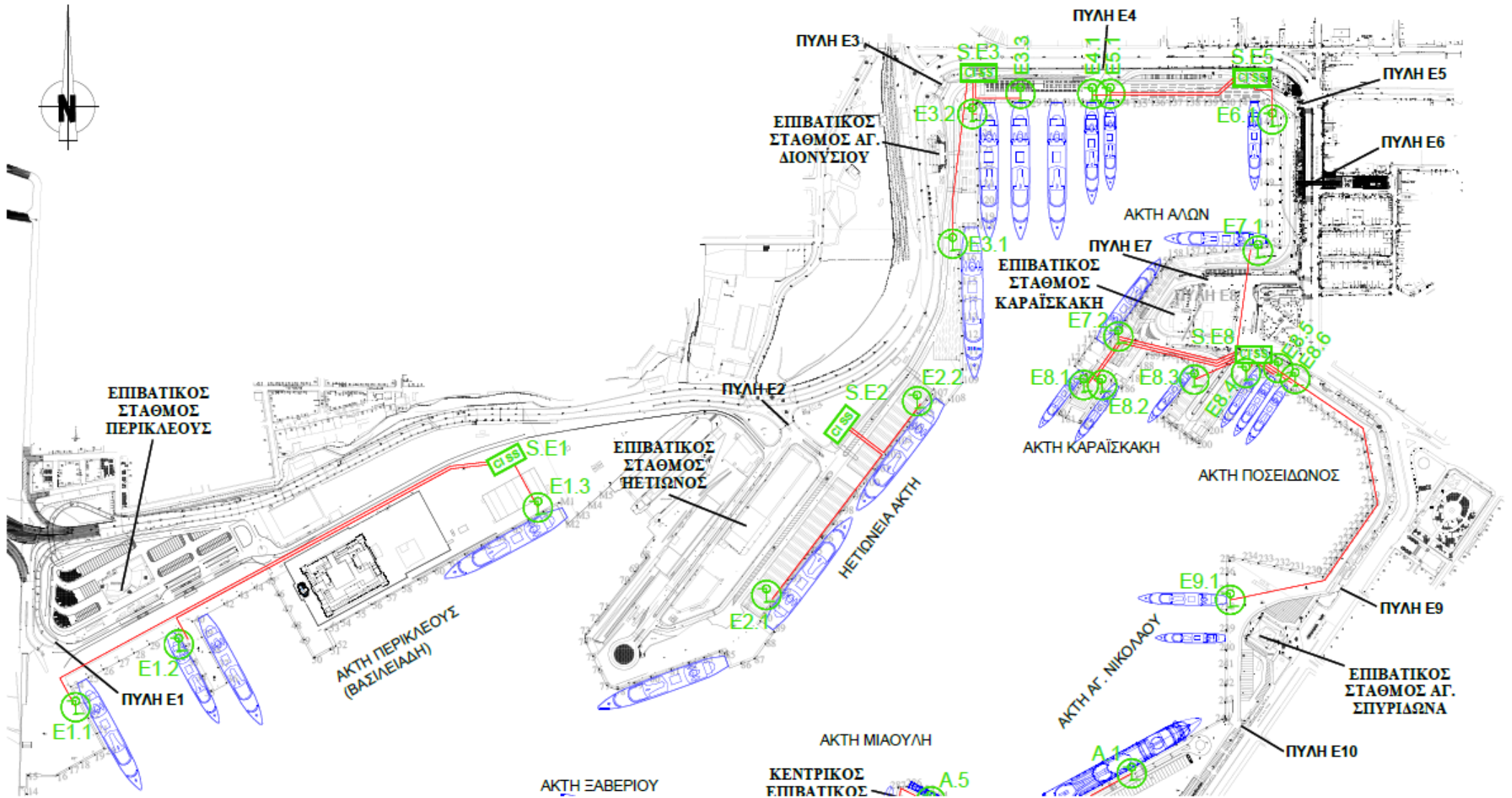
E3.3	20	102	101,04	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	
E4.1	20	227	72,17	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	208
E5.1	20	206	72,17	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	
E6.1	20	86	72,17	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	71
E7.1	20	152	72,17	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	137
E7.2	20	188	72,17	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	253
E8.1	20	268	28,87	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	
E8.2	20	262	28,87	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	
E8.3	20	79	28,87	4	0,54	0,52	3(1x16 mm ²)	
E8.4	20	32	18,19	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	17
E8.5	20	42	18,19	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	50
E8.6	20	69	18,19	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	
E9.1	20	557	28,87	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	492

Πίνακας 27. Διαστασιολόγηση συστ. CI για τον Σταθμό Ακτοπλοΐας (Συγκεντρωμένη Τοπολογία).

Στη συνέχεια θα κοστολογηθεί ο βασικός εξοπλισμός των παραπάνω τοπολογιών, με σκοπό να επιλεγεί η καταλληλότερη τοπολογία.

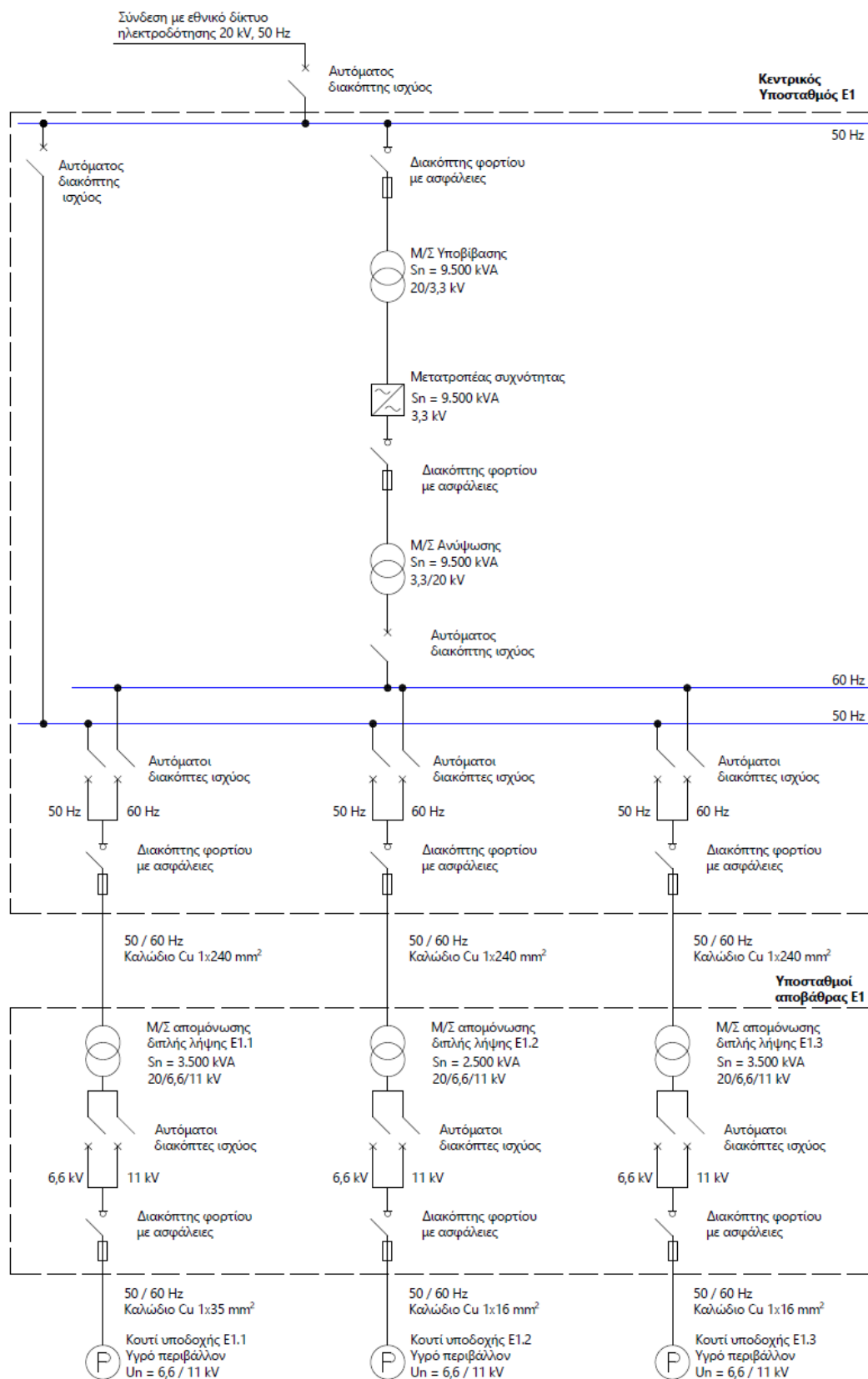
S.E1 (9,5 MVA)	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ	ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 10 MVA (τεμ)	1	0	435.000
M/Σ 3,5 MVA (τεμ)	2	4	152.250
M/Σ 2,5 MVA (τεμ)	1	2	108.750
Μετατροπέας Συχνότητας 10 MVA (τεμ)	1	0	1.625.000
Μετατροπέας Συχνότητας 3,5 MVA (τεμ)	0	2	568.750
Μετατροπέας Συχνότητας 2,5 MVA (τεμ)	0	1	406.250
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	150.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	150.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	228	228	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	38.000
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	799	799	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	1.375	1.375	60
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	3	3	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	3	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	3.635.240 €	3.364.240 €	

Πίν. 28. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.E1).

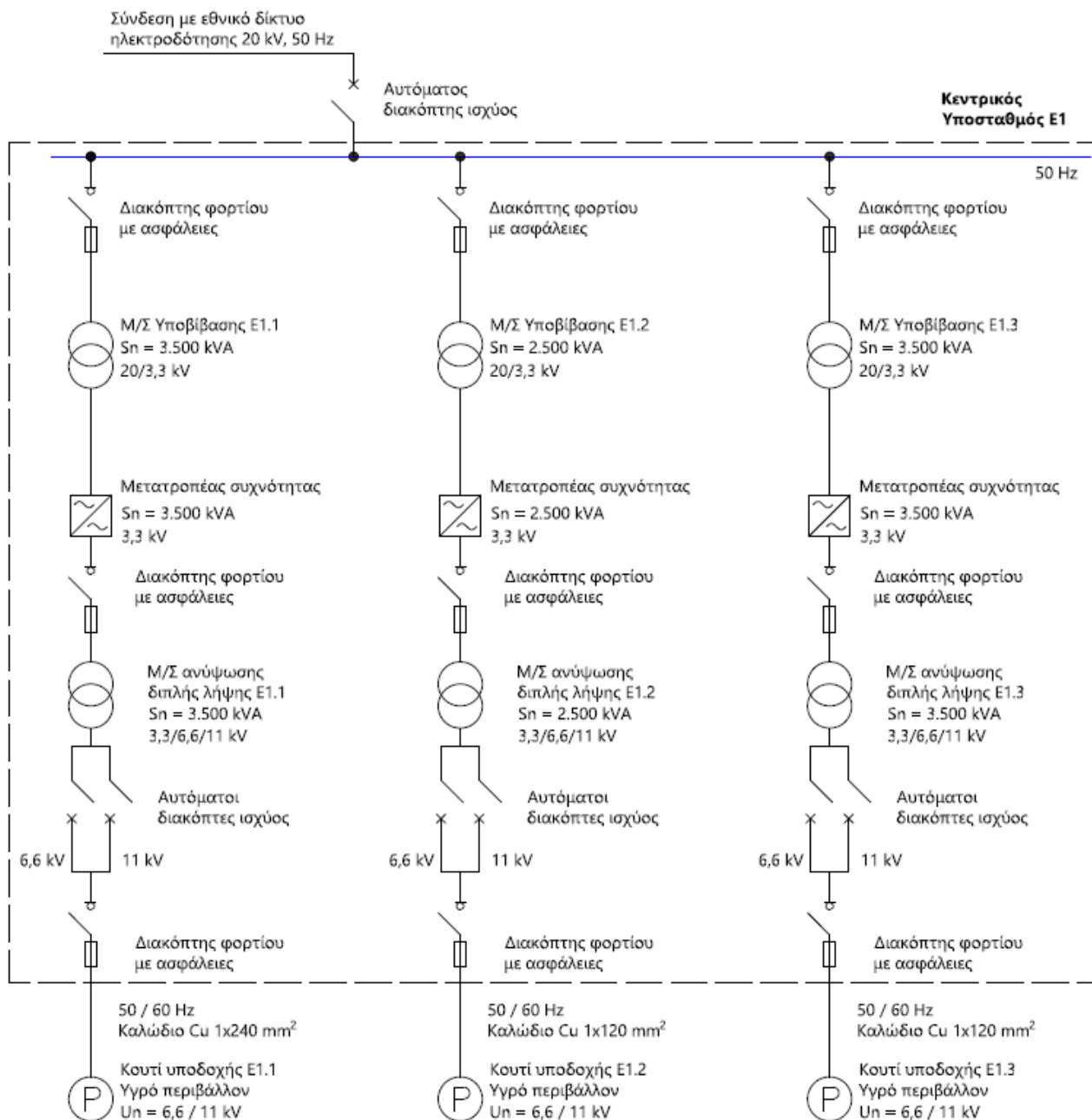


Εικόνα 50. Οριζοντιογραφία συστήματος CI στον Σταθμό Ακτοπλοΐας, [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

Με σκοπό να αποτυπωθεί η παραπάνω ανάλυση και να παρουσιαστεί ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε τοπολογία, δίνονται στις Εικόνες 51 και 52 τα μονογραμμικά διαγράμματα της εγκατάστασης του Υ/Σ Ε1.



Εικόνα 51. Μονογραμμικό διάγραμμα συγκεντρωμένης τοπολογίας Υ/Σ S.E1.



Εικόνα 52. Μονογραμμικό διάγραμμα αποκεντρωμένης τοπολογίας Y/Σ S.E1.

S.E2 (7 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 7 MVA (τεμ)	1	0	304.500
M/Σ 3,5 MVA (τεμ)	2	4	152.250
Μετατροπέας Συχνότητας 7 MVA (τεμ)	1	0	1.137.500
Μετατροπέας Συχνότητας 3,5 MVA (τεμ)	0	2	568.750
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Y/Σ (τεμ)	1	1	100.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	105.000
Κτήριο κεντρικού Y/Σ (m ²)	168	168	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	28.000

Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	433	433	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	492	492	60
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	2	2	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	2	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	2.549.610 €	2.432.610 €	

Πίν. 29. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.E2).

S.E3 (10,5 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 11 MVA (τεμ)	1	0	478.500
M/Σ 3,5 MVA (τεμ)	3	6	152.250
Μετατροπέας Συχνότητας 11 MVA (τεμ)	1	0	1.787.500
Μετατροπέας Συχνότητας 3,5 MVA (τεμ)	0	3	568.750
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	150.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	165.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	252	252	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	42.000
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	376	376	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	414	414	60
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	3	3	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	3	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	3.704.750 €	3.418.750 €	

Πίν. 30. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.E3).

S.E5 (7,5 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 8 MVA (τεμ)	1	0	348.000
M/Σ 2,5 MVA (τεμ)	3	6	108.750
Μετατροπέας Συχνότητας 8 MVA (τεμ)	1	0	1.300.000
Μετατροπέας Συχνότητας 2,5 MVA (τεμ)	0	3	406.250
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	150.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	120.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	180	180	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	30.000
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	279	279	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	519	519	60
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	3	3	50.000

Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	3	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	2.851.440 €	2.610.440 €	

Πίν. 31. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.E5).

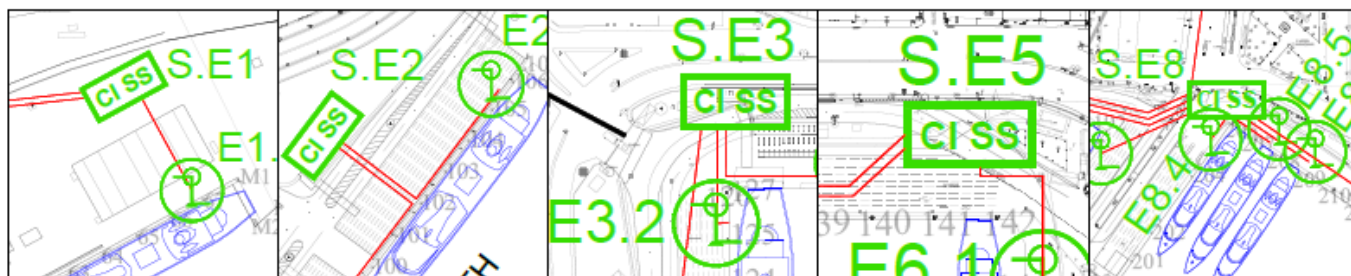
S.E8 (10,89 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	Κόστος μονάδας (€)
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	
M/Σ 11 MVA (τεμ)	1	0	478.500
M/Σ 2,5 MVA (τεμ)	2	4	108.750
M/Σ 1 MVA (τεμ)	4	8	43.500
M/Σ 0,63 MVA (τεμ)	3	6	27.405
Μετατροπέας Συχνότητας 11 MVA (τεμ)	1	0	1.787.500
Μετατροπέας Συχνότητας 2,5 MVA (τεμ)	0	2	406.250
Μετατροπέας Συχνότητας 1 MVA (τεμ)	0	4	162.500
Μετατροπέας Συχνότητας 0,63 MVA (τεμ)	0	3	102.375
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	450.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	165.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	262	262	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	43.560
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	949	1.016	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	1.649	1.792	60
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	9	9	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	9	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	4.636.725 €	4.427.095 €	

Πίν. 32. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.E1).

Όπως φαίνεται από τις κοστολόγησεις των Πινάκων 28 – 32, η εφαρμογή της αποκεντρωμένης τοπολογίας οδηγεί σε μικρότερο κόστος εγκατάστασης:

- Συγκεντρωμένη τοπολογία: **17.377.765 €**
- Αποκεντρωμένη τοπολογία: **16.253.135 €**

Το παραπάνω μειωμένο κόστος της αποκεντρωμένης τοπολογίας σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στη παράγραφο 5.4 , οδηγούν στην επιλογή της.



Εικ. 53. Παράλληλες οδεύσεις καλωδίων Σταθμού Ακτοπλοΐας, [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

6.3 Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Κρουαζιέρας

Στο Διάγραμμα 44 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων για τα έτη 2021 – 2023 και στα Διαγράμματα 45 - 47 δίνεται το πλήθος των ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα (εκφρασμένο σε βάση μήνα) για τους Σταθμούς Α, Β, C. Στην ανάλυση που θα ακολουθήσει θα ληφθεί υπόψιν ότι πρόκειται για Σταθμό που εξυπηρετεί αποκλειστικά τουρίστες και συνεπώς θα πρέπει να εξεταστεί η επισκεψιμότητα κυρίως κατά την τουριστική περίοδο. Στο παραπάνω πρέπει να συμπεριληφθεί (επίσης λόγω της φύσης του Σταθμού) και η επίδραση της νόσου Covid-19, ειδικά κατά την εξέταση των ετών 2021 και 2022. Με τη βοήθεια των παραπάνω, θα προκύψει το πλήθος των θέσεων που θα διασυνδεθεί ηλεκτρικά σε κάθε Σταθμό. Συγκεκριμένα:

- Από το Διάγραμμα 44 είναι εμφανής η αυξητική τάση των ελλιμενισμών μεταξύ των ετών 2021 – 2023. Εμφανές είναι επίσης ότι οι ελλιμενισμοί αυξάνονται στην έναρξη της τουριστικής περιόδου (Απρίλιος – Μάιος) και αρχίζουν να μειώνονται κατά τη λήξη της (Νοέμβριος – Δεκέμβριος). Η αυξητική τάση αποδίδεται στην περιορισμένη κίνηση κρουαζιερόπλοιων λόγω της νόσου Covid-19 και συνεπώς κατά την επιλογή θέσεων πρέπει να δοθεί βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δεδομένα, ως πιο αντιπροσωπευτικά.
- Από το Διάγραμμα 45 είναι εμφανής η αυξητική τάση των ελλιμενισμών μεταξύ των ετών 2021 – 2023. Ο μέσος όρος των ελλιμενισμένων πλοίων για την τουριστική περίοδο του 2023 (4/2023 – 10/2023) είναι 5,57/ημέρα. Συνεπώς επιλέγονται 6 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση.
- Από το Διάγραμμα 46 παρατηρείται ελαφρά αυξητική τάση και δεδομένου του μέσου όρου των ελλιμενισμένων πλοίων 1,5/ημέρα για το διάστημα 5/2023 – 10/2023, επιλέγονται 2 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση. Σημειώνεται ότι στην παραπάνω επιλογή οδηγούν και οι μέσοι όροι του 2022 (2/ημέρα) και του 2021 (2/ημέρα).
- Από το Διάγραμμα 47 δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση και δεδομένου του μέσου όρου των ελλιμενισμένων πλοίων 2,33/ημέρα για το διάστημα 5/2023 – 10/2023, επιλέγονται 3 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση. Σημειώνεται ότι στην παραπάνω επιλογή οδηγούν και οι μέσοι όροι του 2022 (2,83/ημέρα) και του 2021 (2,2/ημέρα).
- Η επέκταση του Σταθμού Κρουαζιέρας είναι υπό κατασκευή. Για την εκτίμηση της επισκεψιμότητας που αναμένεται θα εξεταστεί η συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων μεγεθών στον Σταθμό Κρουαζιέρας. Από την επεξεργασία των δεδομένων ελλιμενισμού στον Σταθμό Κρουαζιέρας για τα έτη 2021 – 2023 προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 33:

Μήκος πλοίου	2021			2022			2023		
	No of port calls	Max demanded power (kW)	Frequency	No of port calls	Max demanded power (kW)	Frequency	No of port calls	Max demanded power (kW)	Frequency
≤65 m	13	190	3,43%	24	1.550	3,54%	40	1.550	5,14%

66-100 m	1	1.550	0,26%	12	1.550	1,77%	9	1.550	1,16%
101-110 m	20	1.550	5,28%	41	1.550	6,05%	42	1.550	5,40%
111-120 m	2	1.550	0,53%	30	1.550	4,42%	25	1.550	3,21%
121-140 m	42	1.550	11,08%	43	4.600	6,34%	58	4.600	7,46%
141-160 m	19	4.600	5,01%	64	4.600	9,44%	36	4.600	4,63%
161-190 m	18	4.600	4,75%	58	4.600	8,55%	103	4.600	13,24%
191-230 m	72	4.600	19,00%	95	4.600	14,01%	111	4.600	14,27%
231-240 m	2	12.600	0,53%	10	12.600	1,47%	10	12.600	1,29%
241-300 m	157	12.600	41,42%	222	12.600	32,74%	237	12.600	30,46%
301-330 m	28	12.600	7,39%	69	12.600	10,18%	78	12.600	10,03%
331-360 m	5	12.600	1,32%	10	12.600	1,47%	29	12.600	3,73%

Πίνακας 33. Συχνότητα εμφάνισης πλοίων συναρτήσει του μήκους τους και μέγιστη ισχύς κατά τον ελλιμενισμό στον Σταθμό Κρουαζιέρας για τα έτη 2021 – 2023.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 33, τα πλοία με μήκος 241 – 300 m είναι οι συχνότεροι επισκέπτες του Σταθμού Κρουαζιέρας. Στην τρίτη θέση, από άποψη επισκεψιμότητας, βρίσκονται τα αμέσως επόμενα μεγέθη (301 – 330 m). Από τα παραπάνω θα επιλέξουμε 2 θέσεις ελλιμενισμού για ηλεκτρική διασύνδεση στην επέκταση του Σταθμού Κρουαζιέρας, για εξυπηρέτηση των μεγεθών 241 – 300 m και (301 – 330 m).

Από την επεξεργασία των δεδομένων ελλιμενισμού, προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 34, στον οποίο απεικονίζονται οι συχνότητες εμφάνισης των απαιτήσεων σε ισχύ ανά Σταθμό, βάσει των οποίων θα αποδοθούν οι απαιτήσεις ισχύος σε κάθε θέση ελλιμενισμού.

Terminal	Demanded Power (kW)	Demanded Power (kVA)	Number of port calls	Frequency	Number of berth positions
A	190	237,5	40	4,24%	
	520	650,0	34	3,61%	
	1.550	1.937,5	222	23,54%	2
	4.600	5.750,0	440	46,66%	3
	12.600	15.750,0	207	21,95%	1
B	190	237,5	1	0,19%	
	520	650,0	3	0,58%	
	1.550	1.937,5	20	3,85%	
	4.600	5.750,0	51	9,83%	1
	12.600	15.750,0	444	85,55%	3
C	190	237,5	1	0,27%	
	1.550	1.937,5	71	19,09%	
	4.600	5.750,0	100	26,88%	1
	12.600	15.750,0	200	53,76%	2

Πίνακας 34. Συχνότητα εμφάνισης των απαιτήσεων σε ισχύ στον Σταθμό Κρουαζιέρας για τα έτη 2021 – 2023 και επιλογή πλήθους θέσεων.

Όπως διατυπώθηκε στην παράγραφο 6.1 οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 34 αποτελούν το κάτω όριο επιλογής. Με τη βοήθεια των τιμών των Πινάκων 6 και 7 θα επιλέξουμε κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας ο οποίος θα εφαρμοστεί στο κάτω όριο επιλογής. Η επιλεγμένη τιμή ισχύος

που θα παρασχεθεί στην κάθε θέση ελλιμενισμού θα πρέπει να ανταποκρίνεται στα τυποποιημένα μεγέθη μετασχηματιστών και μετατροπέων συχνότητας και δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 20.000 kVA, όπως ορίζεται στο IEC/ISO/IEEE 80005-1.

Οι επιλεγμένες τιμές ισχύος θα ομαδοποιηθούν σε κεντρικούς Υ/Σ, με κριτήρια την απόστασή τους από διαθέσιμο χώρο για την ανάπτυξη Υ/Σ και την μεταξύ τους γειννίαση τους. Συνεπώς σε κάθε Σταθμό θα κατασκευαστεί από 1 Υ/Σ για την εξυπηρέτηση των πλοίων που ελλιμενίζονται σε αυτόν. Από τα παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 35.

Central Substation	Berth	Calculated power demand (kVA)	Ericsson & Fazlagic' (kVA)	Radu & Grandidier (kVA)	Stolz et al (kVA)	EMSA (kVA)	Selected power at berth (kVA)	Safety factor
S.A	A.1	15.750,00	11.875	20.000	N/A	25.000	18.000	1,14
	A.2	5.750,00	8.375	20.000	N/A	25.000	7.000	1,22
	A.3	1.937,50	8.375	20.000	N/A	25.000	2.500	1,29
	A.4	5.750,00	8.375	20.000	N/A	25.000	7.000	1,22
	A.5	1.937,50	8.375	20.000	N/A	25.000	2.500	1,29
	A.6	5.750,00	8.375	20.000	N/A	25.000	7.000	1,22
S.B	B.1	15.750,00	11.875	20.000	N/A	25.000	18.000	1,14
	B.2	5.750,00	8.375	20.000	N/A	25.000	7.000	1,22
	B.3 (new)	15.750,00	11.875	20.000	N/A	25.000	18.000	1,14
	B.4 (new)	15.750,00	11.875	20.000	N/A	25.000	18.000	1,14
S.C	C.1	5.750,00	8.375	20.000	N/A	25.000	7.000	1,22
	C.2	15.750,00	11.875	20.000	N/A	25.000	18.000	1,14
	C.3	15.750,00	11.875	20.000	N/A	25.000	18.000	1,14

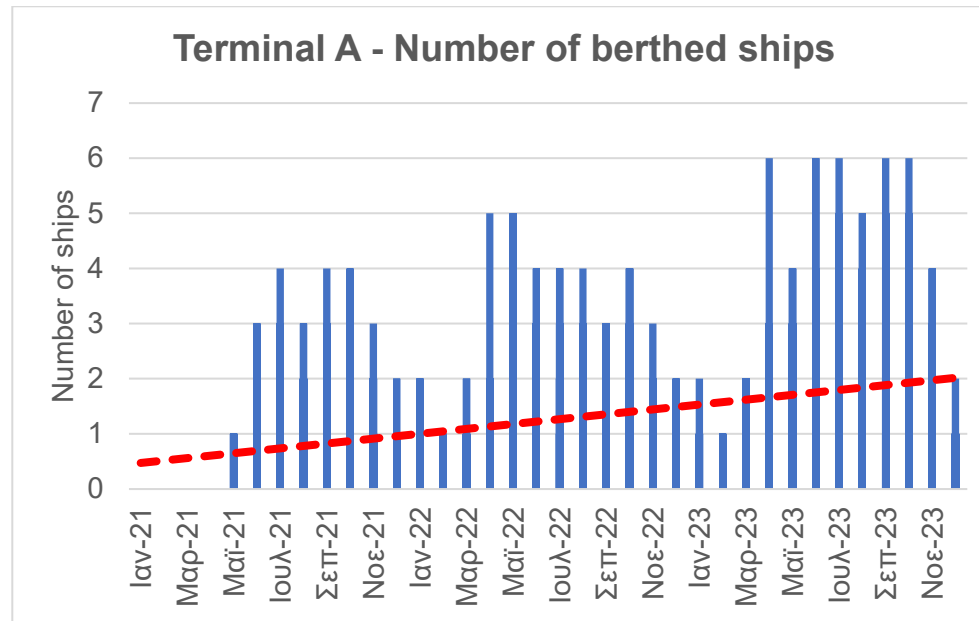
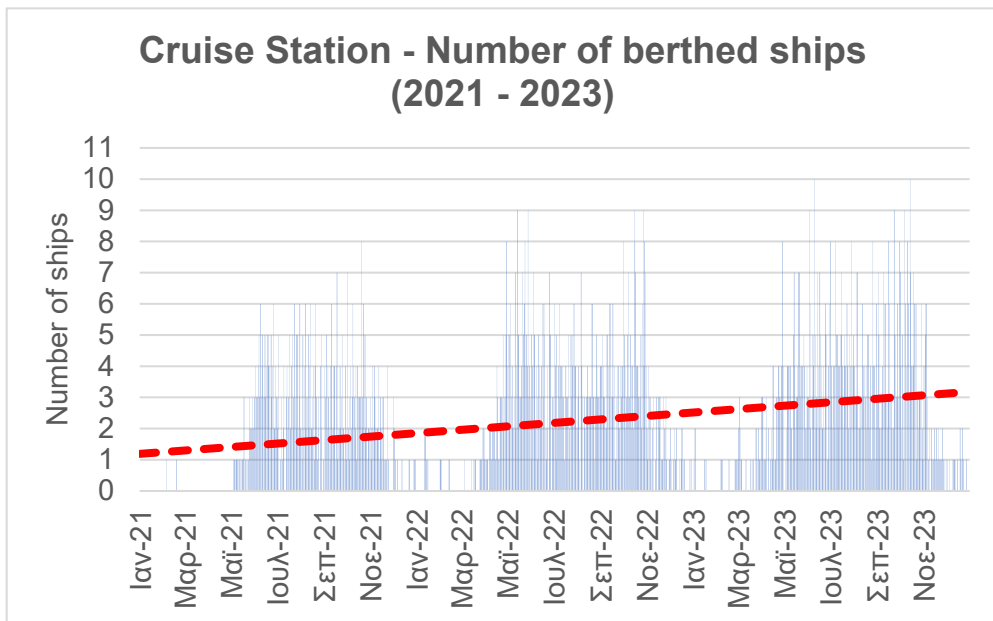
Πίνακας 35. Πλήθος θέσεων ελλιμενισμού του Σταθμού Κρουαζιέρας και επιλεγμένη ισχύς.

Με βάση τις επιλεγμένες τιμές ισχύος του Πίνακα 35 και την τεχνική περιγραφή της παραγράφου 6.1 προκύπτει ο Πίνακας 36 έπειτα από εφαρμογή της αποκεντρωμένης τοπολογίας και ο Πίνακας 37 ύστερα από εφαρμογή της συγκεντρωμένης τοπολογίας, στους οποίους δίνεται ο υπολογισμός των καλωδίων διανομής. Σημειώνεται ότι το πλήθος των παράλληλων καλωδίων στο ίδιο κανάλι μπορεί να φανεί στην Εικόνα 55. Επίσης σημειώνεται ότι στις λήψεις μεγάλης ισχύος 18 MVA και 7 MVA, θεωρήθηκε ότι τα ελλιμενίζοντα πλοία διαθέτουν Μ/Σ υποβίβασης και ότι τροφοδοτούνται αποκλειστικά με 11 kV. Συνεπώς τα αντίστοιχα καλώδια διαστασιολογήθηκαν για τάση 11 kV. Τέλος, η οριζοντιογραφία της εγκατάστασης του Σταθμού Κρουαζιέρας δίνεται στην Εικόνα 54.

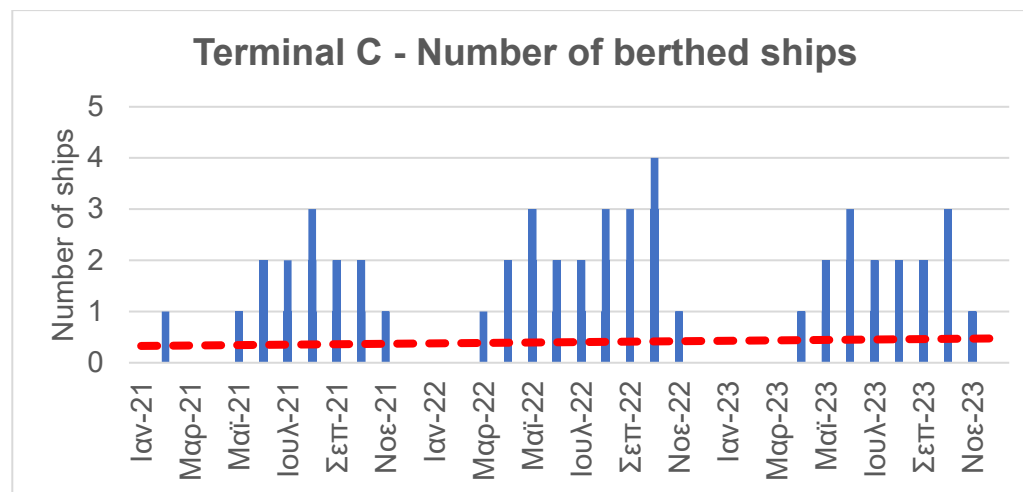
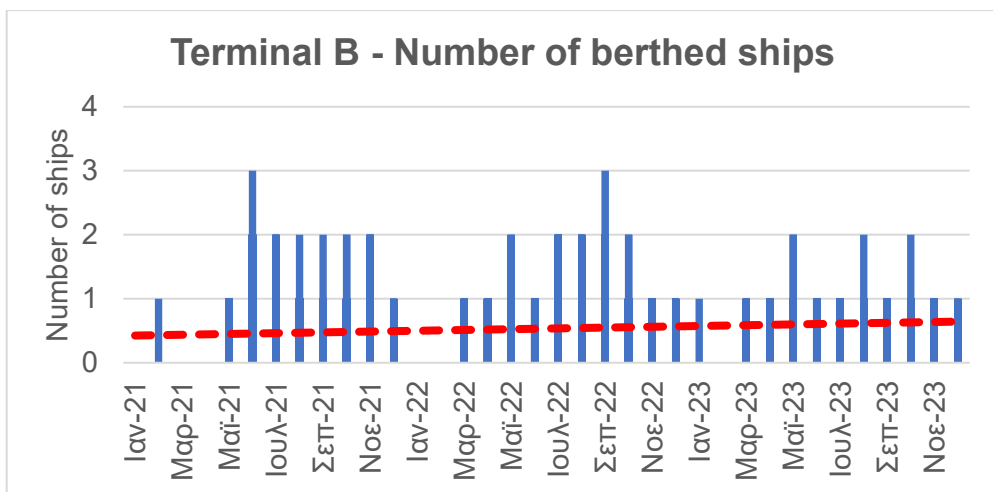
Από την κοστολόγηση που δίνεται στους Πίνακες 38 – 40 προκύπτει το συνολικό κόστος εγκατάστασης του CI για τον Σταθμό Κρουαζιέρας, ανά εφαρμοζόμενη τοπολογία:

- Συγκεντρωμένη τοπολογία: **44.857.540 €**
- Αποκεντρωμένη τοπολογία: **42.017.410 €**

Το παραπάνω μειωμένο κόστος της αποκεντρωμένης τοπολογίας σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στη παράγραφο 5.4, οδηγούν στην επιλογή της.



Διάγραμμα 44. Διαχρονική εξέλιξη πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων (2021 - 2023). Διάγραμμα 45. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στον Σταθμό Α.



Διάγραμμα 46. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στον Σταθμό Β. Διάγραμμα 47. Πλήθος ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα στον Σταθμό C.

Θέση	Τάση διαστασ. V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	f _{tot}	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
A.1	11,0	465	944,75	2	0,73	0,70	3(1x240 mm ²)	465
A.2	11,0	248	367,40	2	0,73	0,70	3(1x50 mm ²)	
A.3	6,6	165	218,69	4	0,54	0,52	3(1x35 mm ²)	678
A.4	11,0	389	367,40	4	0,54	0,52	3(1x70 mm ²)	
A.5	6,6	535	218,69	4	0,54	0,52	3(1x35 mm ²)	
A.6	11,0	693	367,40	4	0,54	0,52	3(1x70 mm ²)	
B.1	11,0	223	944,75	2	0,73	0,70	3(1x240 mm ²)	223
B.2	11,0	254	367,40	2	0,73	0,70	3(1x50 mm ²)	254
B.3 (new)	11,0	328	944,75	2	0,73	0,70	3(1x240 mm ²)	328
B.4 (new)	11,0	665	944,75	2	0,73	0,70	3(1x240 mm ²)	665
C.1	11,0	348	367,40	3	0,60	0,58	3(1x70 mm ²)	348
C.2	11,0	123	944,75	3	0,60	0,58	3(1x400 mm ²)	123
C.3	11,0	316	944,75	3	0,60	0,58	3(1x400 mm ²)	316

Πίνακας 36. Διαστασιολόγηση συστ. CI για τον Σταθμό Κρουαζιέρας (Αποκεντρωμένη Τοπολογία).

Θέση	Τάση διαστασ. V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	f _{tot}	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
A.1	20	465	519,62	2	0,73	0,70	3(1x95 mm ²)	465
A.2	20	248	202,07	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	678
A.3	20	165	72,17	4	0,54	0,52	3(1x16 mm ²)	
A.4	20	389	202,07	4	0,54	0,52	3(1x25 mm ²)	
A.5	20	535	72,17	4	0,54	0,52	3(1x16 mm ²)	
A.6	20	693	202,07	4	0,54	0,52	3(1x25 mm ²)	
B.1	20	223	519,62	2	0,73	0,70	3(1x95 mm ²)	223
B.2	20	254	202,07	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	254
B.3 (new)	20	328	519,62	2	0,73	0,70	3(1x95 mm ²)	328
B.4 (new)	20	665	519,62	2	0,73	0,70	3(1x95 mm ²)	665
C.1	20	348	202,07	3	0,60	0,58	3(1x25 mm ²)	348
C.2	20	123	519,62	3	0,60	0,58	3(1x120 mm ²)	123
C.3	20	316	519,62	3	0,60	0,58	3(1x120 mm ²)	316

Πίνακας 37. Διαστασιολόγηση συστ. CI για τον Σταθμό Κρουαζιέρας (Συγκεντρωμένη Τοπολογία).

Στη συνέχεια θα κοστολογηθεί ο βασικός εξοπλισμός των παραπάνω τοπολογιών, με σκοπό να επιλεγεί η καταλληλότερη τοπολογία.

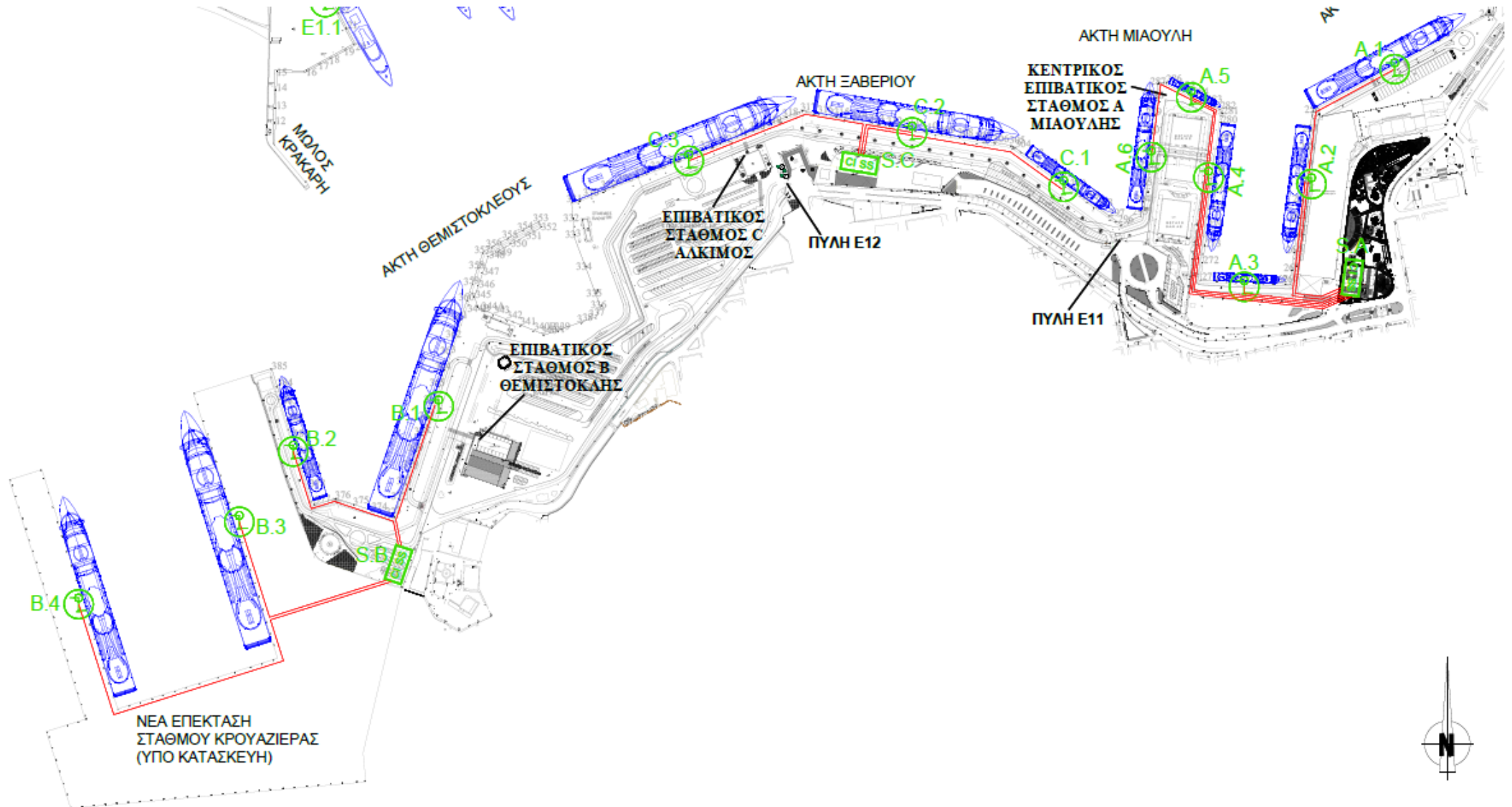
S.A (44 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)

Μ/Σ 45 MVA (τεμ)	1	0	1.957.500
Μ/Σ 18 MVA (τεμ)	1	2	783.000
Μ/Σ 7 MVA (τεμ)	3	6	304.500
Μ/Σ 2,5 MVA (τεμ)	2	4	108.750
Μετατροπέας Συχνότητας 45 MVA (τεμ)	1	0	7.312.500
Μετατροπέας Συχνότητας 18 MVA (τεμ)	0	1	2.925.000
Μετατροπέας Συχνότητας 7 MVA (τεμ)	0	3	1.137.500
Μετατροπέας Συχνότητας 2,5 MVA (τεμ)		2	406.250
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	300.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	675.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	528	528	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	176.000
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	1.143	1.143	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	2.495	4.507	85
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	6	6	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	6	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	13.660.965 €	12.914.985 €	

Πίν. 38. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.A).

S.B (61 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
Μ/Σ 62,5 MVA (τεμ)	1	0	2.718.750
Μ/Σ 18 MVA (τεμ)	3	6	783.000
Μ/Σ 7 MVA (τεμ)	1	2	304.500
Μετατροπέας Συχνότητας 62,5 MVA (τεμ)	1	0	10.156.250
Μετατροπέας Συχνότητας 18 MVA (τεμ)	0	3	2.925.000
Μετατροπέας Συχνότητας 7 MVA (τεμ)	0	1	1.137.500
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	200.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	937.500
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	610	610	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	244.000
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	1.470	1.470	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	1.470	3.902	85
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	4	4	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	4	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	18.174.250 €	17.110.470 €	

Πίν. 39. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.B).



Εικόνα 54. Οριζοντιογραφία συστήματος CI στον Σταθμό Κρουαζιέρας [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

S.C (43 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 45 MVA (τεμ)	1	0	1.957.500
M/Σ 18 MVA (τεμ)	2	4	783.000
M/Σ 7 MVA (τεμ)	1	2	304.500
Μετατροπέας Συχνότητας 45 MVA (τεμ)	1	0	7.312.500
Μετατροπέας Συχνότητας 18 MVA (τεμ)	0	2	2.925.000
Μετατροπέας Συχνότητας 7 MVA (τεμ)	0	1	1.137.500
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	150.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	675.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	516	516	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	172.000
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	787	787	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	787	1.665	85
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	3	3	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	3	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	13.022.325 €	11.991.955 €	

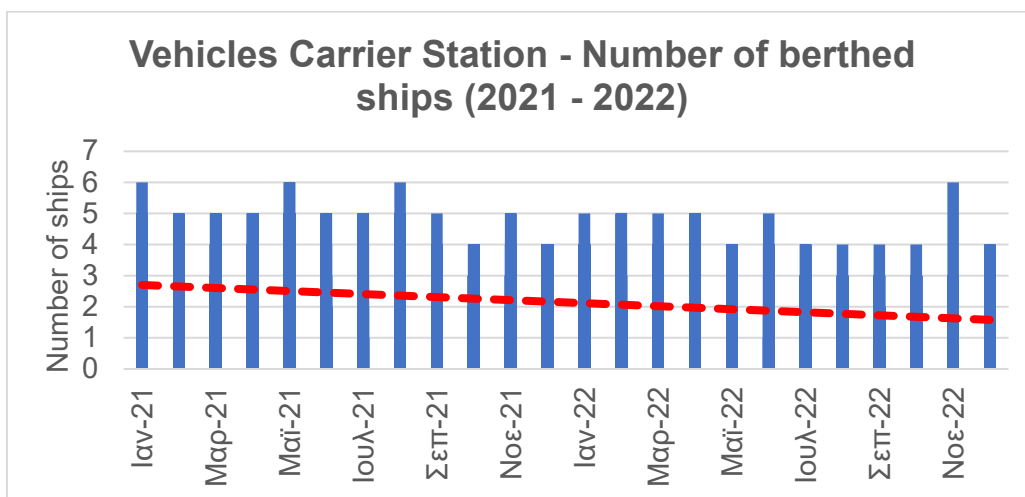
Πίν. 40. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.C).



Εικ. 55. Παράλληλες οδεύσεις καλωδίων Σταθμού Κρουαζιέρας [Πηγή αρχ. σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

6.4 Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων

Στο Διάγραμμα 48 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων ανά ημέρα (εκφρασμένο σε βάση μήνα) για τα έτη 2021 – 2022, με τη βοήθεια του οποίου θα προκύψει το πλήθος των θέσεων που θα διασυνδεθεί ηλεκτρικά σε κάθε Σταθμό.



Διάγραμμα 48. Χρονική εξέλιξη πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων για τα έτη 2021 – 2022.

Από την επεξεργασία των δεδομένων ελλιμενισμού του Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων για τα έτη 2021 – 2022, προκύπτουν τα παρακάτω:

- Ο μέσος όρος ελλιμενισμένων πλοίων είναι 2,45/ημέρα για το έτος 2021 και 1,83/ημέρα για το έτος 2022. Συνεπώς με βάση το παραπάνω και δεδομένης της μειωτικής τάσης του Διαγράμματος 48, επιλέγουμε 3 θέσεις ελλιμενισμού.

Στον παρακάτω Πίνακα 41 απεικονίζονται οι συχνότητες εμφάνισης των απαιτήσεων σε ισχύ ανά έτος για τον Σταθμό Γ2, βάσει των οποίων θα αποδοθούν οι απαιτήσεις ισχύος σε κάθε θέση ελλιμενισμού του Σταθμού.

Year	Demanded Power (kW)	Demanded Power (kVA)	Number of port calls	Frequency	Number of berth positions
2021	90,0	112,5	1	0,18%	
	870,0	1.087,5	1	0,18%	
	1.160,0	1.450,0	548	99,46%	3
	1.590,0	1.987,5	1	0,18%	
2022	90,0	112,5	2	0,36%	
	870,0	1.087,5	0	0,00%	
	1.160,0	1.450,0	420	76,23%	3
	1.360,0	1.700,0	1	0,18%	
	1.590,0	1.987,5	4	0,73%	

Πίνακας 41. Συχνότητα εμφάνισης των απαιτήσεων σε ισχύ στον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων για τα έτη 2021 – 2022 και επιλογή πλήθους θέσεων.

Για την εκτίμηση των διασυνδεδεμένων θέσεων ελλιμενισμού του νέου Σταθμού Γ3 στη Προβλήτα Ηρακλέους, θα θεωρήσουμε ότι αυτός θα παρουσιάζει παρόμοια επισκεψιμότητα με τον υφιστάμενο Σταθμό Γ2. Για τον Σταθμό Γ1 θα επιλέξουμε 1 θέση ελλιμενισμού, όπως αναφέρεται στον ιστότοπο της Ο.Λ.Π. Α.Ε., το μέγεθος της οποίας από άποψη ισχύος θα προκύψει από τον Πίνακα 41.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορούμε να καταλήξουμε στο πλήθος και στο μέγεθος των θέσεων ελλιμενισμού που θα διασυνδεθούν σε κάθε Σταθμό. Όπως διατυπώθηκε στην παράγραφο

6.1 οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 41 αποτελούν το κάτω όριο επιλογής. Με τη βοήθεια των τιμών των Πινάκων 6 και 7 θα επιλέξουμε κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας ο οποίος θα εφαρμοστεί στο κάτω όριο επιλογής. Η επιλεγμένη τιμή ισχύος που θα παρασχεθεί στην κάθε θέση ελλιμενισμού θα πρέπει να ανταποκρίνεται στα τυποποιημένα μεγέθη μετασχηματιστών και μετατροπών συχνότητας και δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 6.500 kVA, όπως ορίζεται στο IEC/ISO/IEEE 80005-1.

Οι επιλεγμένες τιμές ισχύος θα ομαδοποιηθούν σε κεντρικούς Υ/Σ, με κριτήρια την απόστασή τους από διαθέσιμο χώρο για την ανάπτυξη Υ/Σ και την μεταξύ τους γειννίαση τους. Συνεπώς στους Σταθμούς Γ2 και Γ3 θα κατασκευαστεί από 1 Υ/Σ για την εξυπηρέτηση των πλοίων που ελλιμενίζονται σε αυτούς, ενώ η 1 θέση του Σταθμού Γ1 θα εξυπηρετηθεί από τον Υ/Σ του Γ2. Από τα παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 42.

Central Substation	Berth	Calculated power demand (kVA)	Ericsson & Fazlagic' (kVA)	Radu & Grandidier (kVA)	Stolz et al (kVA)	EMSA (kVA)	Selected power at berth	Safety factor
S.Γ2	Γ2.1	1.450	2.250	3.000	1.625	8.125	1.800	1,24
	Γ2.2	1.450	2.250	3.000	1.625	8.125	1.800	1,24
	Γ2.3	1.450	2.250	3.000	1.625	8.125	1.800	1,24
S.Γ3	Γ3.1 (new)	1.450	2.250	3.000	1.625	8.125	1.800	1,24
	Γ3.2 (new)	1.450	2.250	3.000	1.625	8.125	1.800	1,24
	Γ3.3 (new)	1.450	2.250	3.000	1.625	8.125	1.800	1,24
	Γ1.1	1.450	2.250	3.000	1.625	8.125	1.800	1,24

Πίν. 42. Πλήθος θέσεων ελλιμενισμού του Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων και επιλεγμένη ισχύς.

Με βάση τις επιλεγμένες τιμές ισχύος του Πίνακα 42 και την τεχνική περιγραφή της παραγράφου 6.1 προκύπτει ο Πίνακας 43 έπειτα από εφαρμογή της αποκεντρωμένης τοπολογίας και ο Πίνακας 44 ύστερα από εφαρμογή της συγκεντρωμένης τοπολογίας, στους οποίους δίνεται ο υπολογισμός των καλωδίων διανομής. Σημειώνεται ότι το πλήθος των παράλληλων καλωδίων στο ίδιο κανάλι μπορεί να φανεί στην Εικόνα 56. Επίσης η οριζοντιογραφία της εγκατάστασης του Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων δίνεται στην Εικόνα 57.

Θέση	Τάση διασασ . V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	ftot	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
Γ2.1	6,6	307	157,46	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	292
Γ2.2	6,6	191	157,46	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	95
Γ2.3	6,6	269	157,46	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	173
Γ3.1	6,6	387	157,46	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	373
Γ3.2	6,6	152	157,46	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	372
Γ3.3	6,6	391	157,46	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	
Γ1.1	6,6	849	157,46	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	834

Πίν. 43. Διαστασιολόγηση συστ. CI για τον Σταθμό Διακίν. Οχημάτων (Αποκεντρωμένη Τοπολογία).

Θέση	Τάση διαστασ. V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	ftot	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
Γ2.1	20	307	51,96	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	292
Γ2.2	20	191	51,96	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	95
Γ2.3	20	269	51,96	2	0,73	0,70	3(1x16 mm ²)	173
Γ3.1	20	387	51,96	1	1,00	0,96	3(1x16 mm ²)	373
Γ3.2	20	152	51,96	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	372
Γ3.3	20	391	51,96	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	
Γ1.1	20	849	51,96	3	0,60	0,58	3(1x16 mm ²)	834

Πίν 44. Διαστασιολόγηση συστ. CI για τον Σταθμό Διακίν. Οχημάτων (Συγκεντρωμένη Τοπολογία).

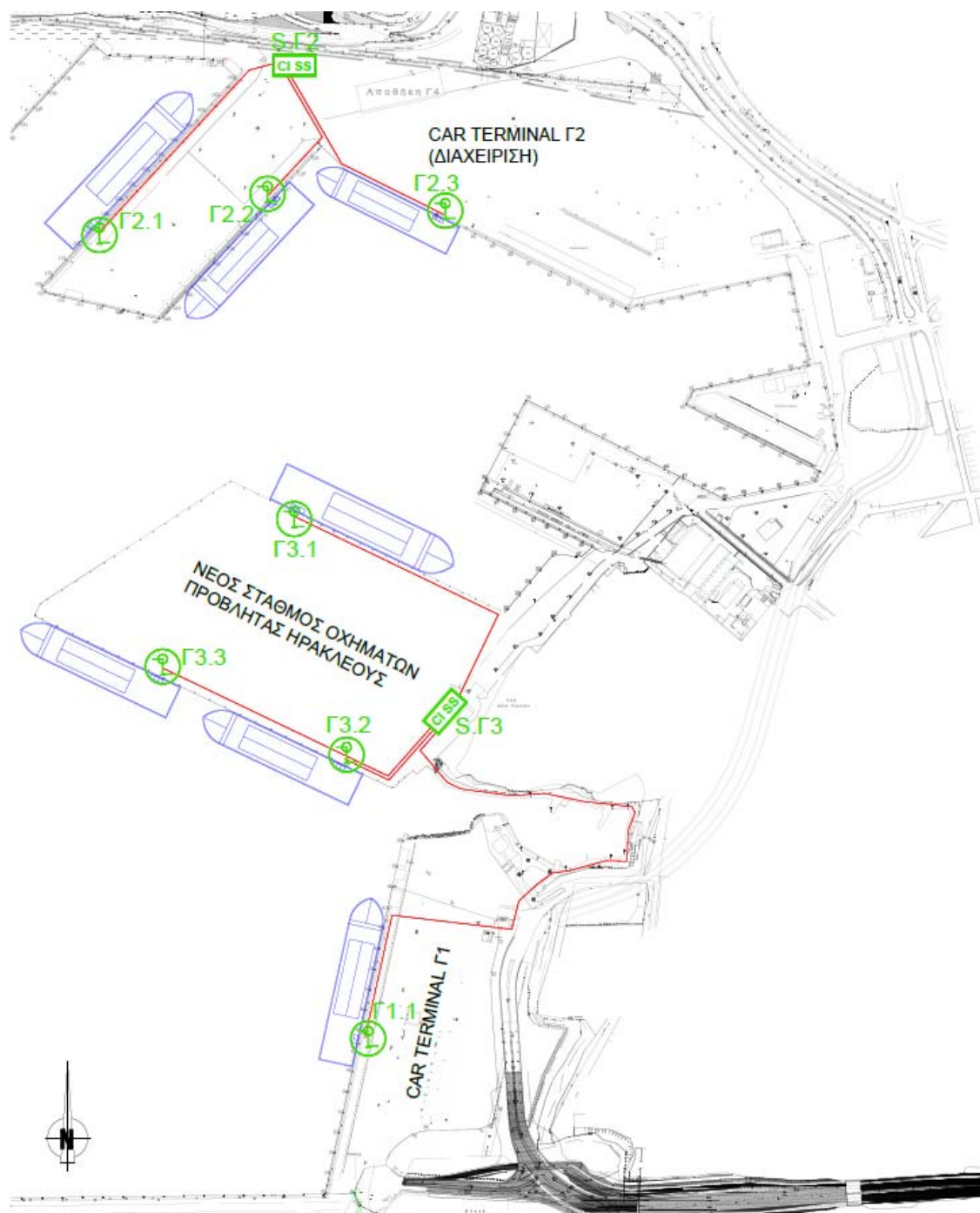
Στη συνέχεια θα κοστολογηθεί ο βασικός εξοπλισμός των παραπάνω τοπολογιών, με σκοπό να επιλεχθεί η καταλληλότερη τοπολογία.

S.Γ2 (5,4 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	Κόστος μονάδας (€)
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	
Μ/Σ 6 MVA (τεμ)	1	0	261.000
Μ/Σ 1,8 MVA (τεμ)	3	6	78.300
Μετατροπέας Συχνότητας 6 MVA (τεμ)	1	0	975.000
Μετατροπέας Συχνότητας 1,8 MVA (τεμ)	0	3	292.500
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	150.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	90.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	129,6	129,6	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	21.600
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	560	560	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	767	767	50
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	3	3	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	3	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	2.401.138 €	2.169.538 €	

Πίν. 45. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.Γ2).



Εικ. 56. Παράλ. οδεύσεις καλωδίων Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων [Πηγή αρχ. σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.]



Εικόνα 57. Οριζοντιογραφία συστήματος CI στον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

S.Γ3 (7,2 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 7,5 MVA (τεμ)	1	0	326.250
M/Σ 1,8 MVA (τεμ)	4	8	78.300
Μετατροπέας Συχνότητας 7,5 MVA (τεμ)	1	0	1.218.750
Μετατροπέας Συχνότητας 1,8 MVA (τεμ)	0	4	292.500

Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	200.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	112.500
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	172,8	172,8	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	28.800
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	1.579	1.579	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	1.779	1.779	50
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	4	4	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	4	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	3.343.484 €	3.145.184 €	

Πίν. 46. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ Σ.Γ3).

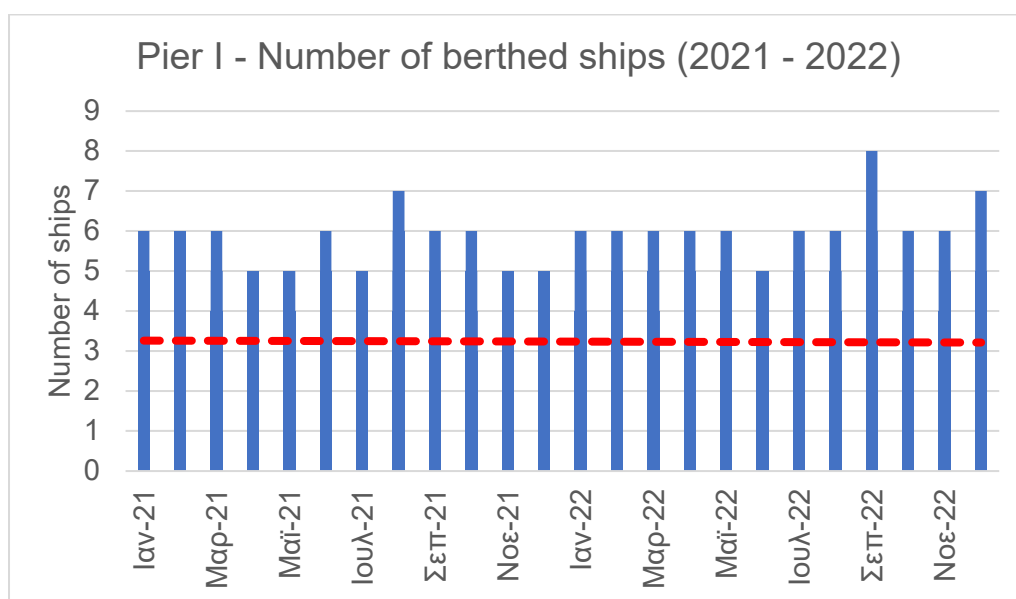
Από την κοστολόγηση που δίνεται στους Πίνακες 45 και 46 προκύπτει το συνολικό κόστος εγκατάστασης του CI για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων, ανά εφαρμοζόμενη τοπολογία:

- Συγκεντρωμένη τοπολογία: **5.744.622 €**
- Αποκεντρωμένη τοπολογία: **5.314.722 €**

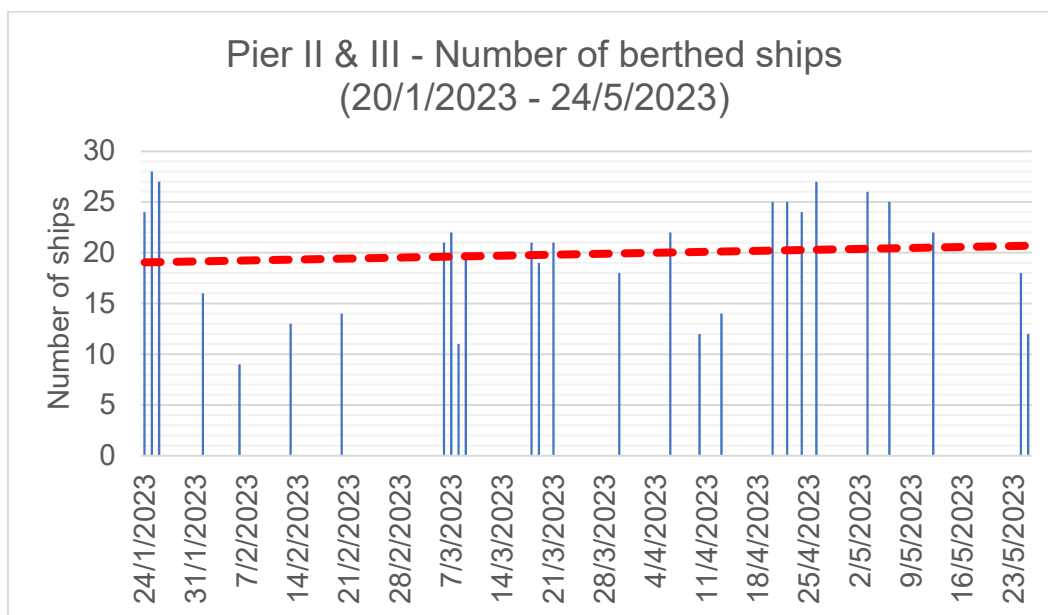
Το παραπάνω μειωμένο κόστος της αποκεντρωμένης τοπολογίας σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στη παράγραφο 5.4, οδηγούν στην επιλογή της.

6.5 Σχεδίαση συστήματος για τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων

Στο Διάγραμμα 49 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων στην Προβλήτα I, ανά ημέρα (εκφρασμένο σε βάση μήνα) για τα έτη 2021 – 2022 και στο Διάγραμμα 50 η διαχρονική εξέλιξη του πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων στις Προβλήτες II και III, ανά ημέρα για το διάστημα 20/1/2023 – 24/5/2023.



Διάγραμμα 49. Διαχρονική εξέλιξη πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων στην Προβλήτα I (2021 – 2022).



Διάγραμμα 50. Διαχρονική εξέλιξη πλήθους ελλιμενισμένων πλοίων στις Προβλήτες II και III.

Από την επεξεργασία των δεδομένων ελλιμενισμού στον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων για τα χρονικά διαστήματα εξέτασης που αναφέρθηκαν, προκύπτουν οι Πίνακες 47 και 48:

Period: 2021	≤130 m	131-150 m	151-200	201-280 m	281-300 m	301-400 m	≤250 m
No of port calls	9	141	253	153	57	7	494
Max demanded power (kW)	620	1.160	1.580	1.690	1.690	2.030	1.580
Frequency	1,45%	22,74%	40,81%	24,68%	9,19%	1,13%	79,68%
Period: 2022	≤130 m	131-150 m	151-200 m	201-280 m	281-300 m	301-400 m	≤250 m
No of port calls	2	132	217	148	77	21	433
Max demanded power (kW)	620	1.160	1.160	1.690	1.690	2.030	1.580
Frequency	0,34%	22,11%	36,35%	24,79%	12,90%	3,52%	72,53%

Πίνακας 47. Συχνότητα εμφάνισης των απαιτήσεων σε ισχύ στην Προβλήτα I για τα έτη 2021 – 2022.

Period: 20/1/2023 – 24/5/2023	≤130 m	131-170 m	171-180 m	181-200 m	201-260 m	261-300 m	301-330 m	331-360 m	361-400 m
No of port calls	86	154	27	61	157	95	15	25	133
Max demanded power (kW)	870	1.160	1.160	1.160	1.690	1.770	1.770	1.770	2.100
Frequency	11,42%	20,45%	3,59%	8,10%	20,85%	12,62%	1,99%	3,32%	17,66%

Πίνακας 48. Συχνότητα εμφάνισης των απαιτήσεων σε ισχύ στις Προβλήτες II και III.

Στον Πίνακα 49 δίνονται τα συνηθέστερα σενάρια επισκεψιμότητας στις Προβλήτες του Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων, η αναμενόμενη μέγιστη ισχύς που αναμένεται να ζητηθεί κατά την πραγματοποίηση κάθε σεναρίου, σύμφωνα με τους Πίνακες 6 και 7, καθώς και τη δυνατότητα συνδυασμού των σεναρίων αυτών μέσω διασύνδεσης αντίστοιχων θέσεων ελλιμενισμού.

Pier	Given Scenarios		Estimated Power (kW)	Combined Scenarios	Number of CI berth positions
Pier I (East)	S1E.1	1x400	2.030	✓	2
	S1E.2	1x300 + 1x130	2.310		
	S1E.3	1x280 + 1x150	2.850		
	S1E.4	2x200	3.160	✓	
Pier I (West)	S1W.1	1x250	1.580	✓	1
Pier II (East)	S2E.1	1x300 + 1x200 + 1x180	4.090	✓	5
	S2E.2	1x260 + 1x180 + 1x130	3.720	✓	
	S2E.3	2x260 + 1x180	4.540	✓	
	S2E.4	4x170	4.640	✓	
Pier II (West)	S2W.1	1x360 + 1x260	3.460	✓	3
	S2W.2	1x360 + 2x130	3.510		
	S2W.3	2x260	3.380	✓	
	S2W.4	1x260 + 2x180	4.010	✓	
	S2W.5	3x200	3.480	✓	
Pier III (East)	S3E.1	1x400 + 1x130	2.970	✓	3
	S3E.2	1x360 + 1x130	2.640	✓	
	S3E.3	1x330 + 1x180	2.930	✓	
	S3E.4	3x170	3.480	✓	
Pier III (West)	S3W.1	1x400 + 1x260	3.790	✓	4
	S3W.2	1x360 + 1x300	3.540	✓	
	S3W.3	3x200	3.480	✓	
	S3W.4	3x170 + 1x130	4.350	✓	

Πίνακας 49. Συνηθέστερα σενάρια επισκεψιμότητας Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων και πλήθος θέσεων ελλιμενισμού.

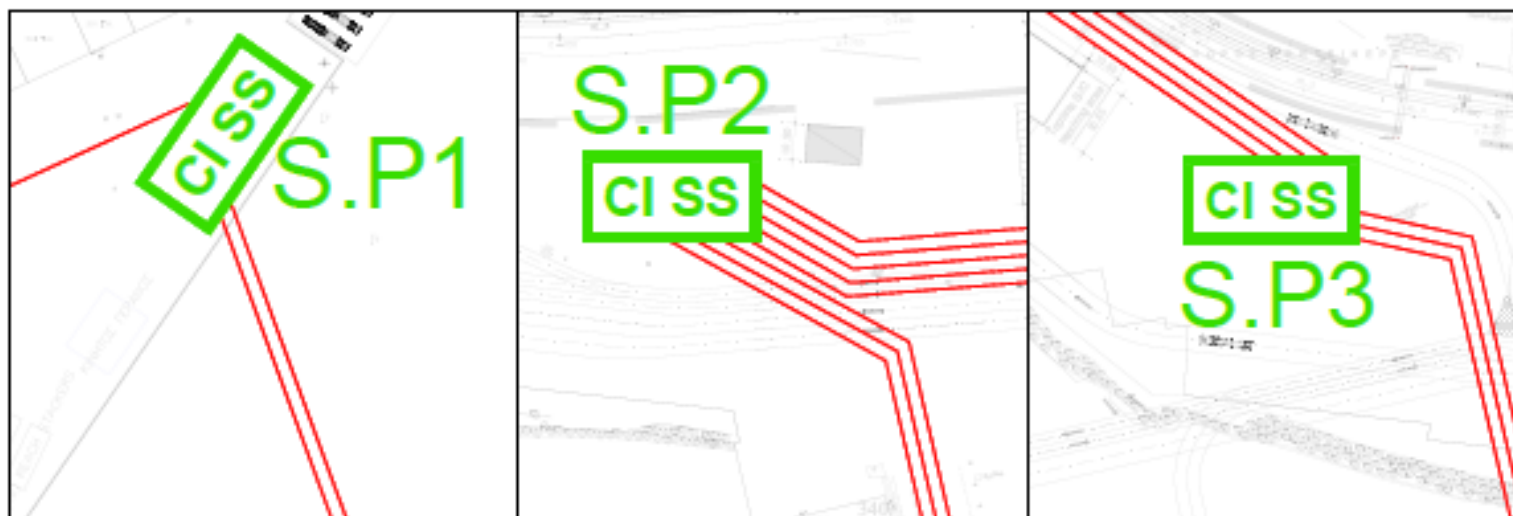
Ο Πίνακας 49 αποτυπώνει επίσης το πλήθος διασυνδεδεμένων θέσεων ανά Προβλήτα με σκοπό την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση των σεναρίων. Η δυνατότητα ταυτόχρονης εξυπηρέτησης αυτών των σεναρίων προέκυψε από την οριζοντιογραφία της εγκατάστασης που δίνεται στην Εικόνα 59. Κατά την αποτύπωση των σεναρίων τηρήθηκε ελάχιστη απόσταση 20 m μεταξύ των πλοίων. Επίσης η μέγιστη απόσταση μεταξύ λήψεων ταυτόχρονων σεναρίων είναι 60 m, η οποία μπορεί να καλυφθεί με χρήση ειδικού γερανοφόρου οχήματος και επέκτασης κατά πλάτος του καναλιού της προβλήτας. Η ισχύς κάθε διασυνδεδεμένης θέσης θα προκύψει από τη μέγιστη απαίτηση των ελλιμενιζόντων πλοίων που μπορούν να ελλιμενιστούν στην θέση με βάση τα παραπάνω σενάρια.

Η εκτίμηση των παραπάνω απαιτήσεων σε ισχύ των πλοίων του Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων, έγινε χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι ενεργειακές ανάγκες των reefers. Σύμφωνα με την «Preparatory study on Refrigerated Containers» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η μέση ζήτηση ισχύος των πλεούμενων reefers κυμαίνεται στα 2,7 kW/TEU. Δεδομένου ότι η χωρητικότητα των σύγχρονων reefers μπορεί να ξεπεράσει τα 2.000 TEU, κρίνεται σκόπιμο να αυξηθεί η ισχύς κάθε διασυνδεδεμένης θέσης τουλάχιστον κατά 3.375 kVA (2.362,5 kVA για πλοία μήκους ≤130 m). Τελικά οι επιλεγμένες τιμές ισχύος κάθε διασυνδεδεμένης θέσης, με βάση την παραπάνω ανάλυση, δίνονται στον Πίνακα 50.

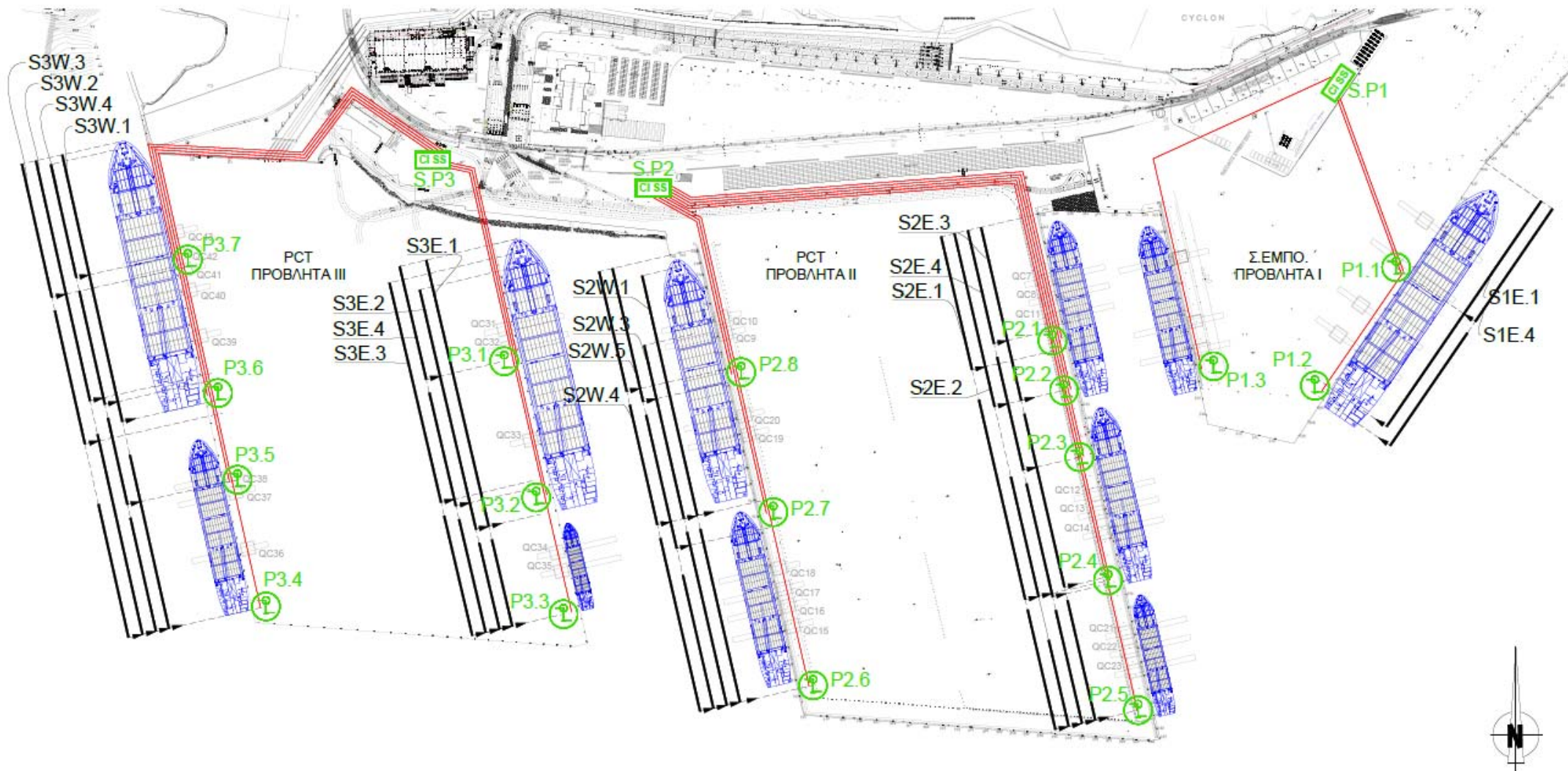
Central Substation	Berth	Calculated power demand (kVA)		Reefer power demand (kVA)	Ericsson & Fazlagic' (kVA)	Radu & Grandidier (kVA)	Stolz et al (kVA)	EMSA (kVA)	Selected power at berth (kVA)	Safety factor
S.P1	P1.1	max(151-200)	1.975,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,12
	P1.2	max(max(151-200);max(301-400))	2.537,5	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.300	1,07
	P1.3	max(\leq 250)	1.975,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,12
S.P2	P2.1	max(max(131-170);max(181-200))	1.450,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,24
	P2.2	max(201-260)	2.112,5	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,09
	P2.3	max(131-170)	1.450,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,24
	P2.4	max(max(131-170);max(171-180);max(201-260);max(261-300))	2.212,5	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,07
	P2.5	max(max(\leq 130);max(131-170);max(171-180))	1.450,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,24
	P2.6	max(max(181-200);max(201-260))	2.112,5	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,09
	P2.7	max(max(171-180);max(181-200);max(201-260);max(331-360))	2.212,5	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,07
	P2.8	max(max(171-180);max(181-200))	1.450,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,24
S.P3	P3.1	max(131-170)	1.450,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,24
	P3.2	max(max(131-170);max(301-330);max(331-360);max(361-400))	2.625,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.300	1,05

P3.3	$\max(\max(\leq 130); \max(131-170); \max(171-180))$	1.450,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,24
P3.4	$\max(\max(131-170); \max(181-200); \max(201-260); \max(261-300))$	2.212,5	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,07
P3.5	$\max(\leq 130)$	1.087,5	2.362,5	1.000	6.000	2.312,5	7.500	4.000	1,16
P3.6	$\max(\max(131-170); \max(181-200); \max(331-360); \max(361-400))$	2.625,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.300	1,05
P3.7	$\max(\max(131-170); \max(181-200))$	1.450,0	3.375,0	6.250	6.000	2.312,5	7.500	6.000	1,24

Πίνακας 50. Επιλεγμένη ισχύς στις θέσεις ελλιμενισμού του Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων.



Εικόνα 58. Παράλληλες οδεύσεις καλωδίων Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].



Εικόνα 59. Οριζοντιογραφία συστήματος CI στον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων [Πηγή αρχικού σχεδίου: Ο.Λ.Π. Α.Ε.].

Με βάση τις επιλεγμένες τιμές ισχύος του Πίνακα 50 και την τεχνική περιγραφή της παραγράφου 6.1 προκύπτει ο Πίνακας 51 έπειτα από εφαρμογή της αποκεντρωμένης τοπολογίας και ο Πίνακας 52 ύστερα από εφαρμογή της συγκεντρωμένης τοπολογίας, στους οποίους δίνεται ο υπολογισμός των καλωδίων διανομής. Σημειώνεται ότι το πλήθος των παράλληλων καλωδίων στο ίδιο κανάλι μπορεί να φανεί στην Εικόνα 58. Επίσης η οριζοντιογραφία της εγκατάστασης του Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων δίνεται στην Εικόνα 59.

Θέση	Τάση διαστασ. V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	ftot	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
P1.1	6,6	288	524,86	4	0,54	0,52	3(1x150 mm ²)	273
P1.2	6,6	494	551,11	4	0,54	0,52	3(1x150 mm ²)	206
P1.3	6,6	618	524,86	1	1	0,96	3(1x50 mm ²)	603
P2.1	6,6	787	524,86	5	0,49	0,47	3(1x150 mm ²)	1.303
P2.2	6,6	859	524,86	5	0,49	0,47	3(1x150 mm ²)	
P2.3	6,6	956	524,86	5	0,49	0,47	3(1x150 mm ²)	
P2.4	6,6	1.138	524,86	5	0,49	0,47	3(1x150 mm ²)	
P2.5	6,6	1.334	524,86	5	0,49	0,47	3(1x150 mm ²)	
P2.6	6,6	789	524,86	3	0,6	0,58	3(1x120 mm ²)	766
P2.7	6,6	528	524,86	3	0,6	0,58	3(1x120 mm ²)	
P2.8	6,6	318	524,86	3	0,6	0,58	3(1x120 mm ²)	
P3.1	6,6	336	524,86	3	0,6	0,58	3(1x120 mm ²)	689
P3.2	6,6	539	551,11	3	0,6	0,58	3(1x120 mm ²)	
P3.3	6,6	712	524,86	3	0,6	0,58	3(1x120 mm ²)	
P3.4	6,6	1.176	524,86	4	0,54	0,52	3(1x150 mm ²)	1.149
P3.5	6,6	1.002	349,91	4	0,54	0,52	3(1x70 mm ²)	
P3.6	6,6	888	551,11	4	0,54	0,52	3(1x150 mm ²)	
P3.7	6,6	699	524,86	4	0,54	0,52	3(1x150 mm ²)	

Πίν.51. Διαστασιολόγηση συστ. CI για Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων (Αποκεντρωμένη Τοπολογία).

Θέση	Τάση διαστασ. V (kV)	Μήκος καλωδίου παροχής από Υ/Σ (m)	Ένταση ρεύματος I (A)	// καλώδια στο κανάλι	Συντ. διόρθωσης // όδευσης	ftot	Καλώδιο (3 phases)	Μήκος καναλιού (m)
P1.1	20	288	173,21	4	0,54	0,52	3(1x25 mm ²)	273
P1.2	20	494	181,87	4	0,54	0,52	3(1x25 mm ²)	206
P1.3	20	618	173,21	1	1	0,96	3(1x16 mm ²)	603
P2.1	20	787	173,21	5	0,49	0,47	3(1x25 mm ²)	1.303
P2.2	20	859	173,21	5	0,49	0,47	3(1x25 mm ²)	
P2.3	20	956	173,21	5	0,49	0,47	3(1x25 mm ²)	
P2.4	20	1.138	173,21	5	0,49	0,47	3(1x25 mm ²)	
P2.5	20	1.334	173,21	5	0,49	0,47	3(1x25 mm ²)	

P2.6	20	789	173,21	3	0,6	0,58	3(1x16 mm ²)	766
P2.7	20	528	173,21	3	0,6	0,58	3(1x16 mm ²)	
P2.8	20	318	173,21	3	0,6	0,58	3(1x16 mm ²)	
P3.1	20	336	173,21	3	0,6	0,58	3(1x16 mm ²)	689
P3.2	20	539	181,87	3	0,6	0,58	3(1x16 mm ²)	
P3.3	20	712	173,21	3	0,6	0,58	3(1x16 mm ²)	
P3.4	20	1.176	173,21	4	0,54	0,52	3(1x25 mm ²)	1.149
P3.5	20	1.002	115,47	4	0,54	0,52	3(1x16 mm ²)	
P3.6	20	888	181,87	4	0,54	0,52	3(1x25 mm ²)	
P3.7	20	699	173,21	4	0,54	0,52	3(1x25 mm ²)	

Πίν.52. Διαστασιολόγηση συστ. CI για Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων (Αποκεντρωμένη Τοπολογία).

Στη συνέχεια θα κοστολογηθεί ο βασικός εξοπλισμός των παραπάνω τοπολογιών, με σκοπό να επιλεγεί η καταλληλότερη τοπολογία.

S.P1 (18,3 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 20 MVA (τεμ)	1	0	870.000
M/Σ 6,3 MVA (τεμ)	1	2	274.050
M/Σ 6 MVA (τεμ)	3	4	261.000
Μετατροπέας Συχνότητας 20 MVA (τεμ)	1	0	3.250.000
Μετατροπέας Συχνότητας 6,3 MVA (τεμ)	0	1	1.023.750
Μετατροπέας Συχνότητας 6 MVA (τεμ)	0	2	975.000
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	150.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	300.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	329,4	329,4	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	73.200
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	1.082	1.082	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	1.400	1.400	85
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	3	3	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	3	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	6.688.182 €	5.758.982 €	

Πίν.53. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.P1)

S.P2 (48 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 50 MVA (τεμ)	1	0	2.175.000
M/Σ 6 MVA (τεμ)	8	16	261.000
Μετατροπέας Συχνότητας 50 MVA (τεμ)	1	0	8.125.000
Μετατροπέας Συχνότητας 6 MVA (τεμ)	0	8	975.000

Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	400.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	750.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	576	576	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	192.000
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	2.069	2.069	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	6.709	6.709	85
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	8	8	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	8	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	15.863.695 €	14.653.695 €	

Πίν.54. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.P1)

S.P3 (40,6 MVA)	Συγκεντρωμένη τοπολογία	Αποκεντρωμένη τοπολογία	
Εξοπλισμός	Ποσότητα	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)
M/Σ 45 MVA (τεμ)	1	0	1.957.500
M/Σ 6,3 MVA (τεμ)	2	4	274.050
M/Σ 6 MVA (τεμ)	4	8	261.000
M/Σ 4 MVA (τεμ)	1	2	174.000
Μετατροπέας Συχνότητας 45 MVA (τεμ)	1	0	7.312.500
Μετατροπέας Συχνότητας 6,3 MVA (τεμ)	0	2	1.023.750
Μετατροπέας Συχνότητας 6 MVA (τεμ)	0	4	975.000
Μετατροπέας Συχνότητας 4 MVA (τεμ)	0	1	650.000
Σύνολο διακοπτικού υλικού, πινάκων, καλωδίων Υ/Σ (τεμ)	1	1	350.000
Διπλός ζυγός (τεμ)	1	0	675.000
Κτήριο κεντρικού Υ/Σ (m ²)	487,2	487,2	280
Κλιματισμός, αερισμός, φωτισμός, πυρανίχνευση (τεμ)	1	1	162.400
Εκσκαφές, κατασκευή καναλιών (m)	1.838	1.838	350
Καλώδια διανομής ισχύος και επικοινωνίας (m)	5.352	5.352	85
Υποδοχή καλωδίων (τεμ)	7	7	50.000
Κτήριο Υ/Σ αποβάθρας (τεμ)	7	0	6.000
Γερανοφόρο όχημα CMS (τεμ)	1	1	230.000
	14.080.136 €	12.456.736 €	

Πίν.55. Κοστολόγηση συστήματος CI για συγκεντρωμένη και αποκεντρωμένη τοπολογία (Υ/Σ S.P1)

Από την κοστολόγηση που δίνεται στους Πίνακες 53 – 55 προκύπτει το συνολικό κόστος εγκατάστασης του CI για τον Σταθμό Διακίνησης Οχημάτων, ανά εφαρμοζόμενη τοπολογία:

- Συγκεντρωμένη τοπολογία: **36.632.013 €**
- Αποκεντρωμένη τοπολογία: **32.869.413 €**

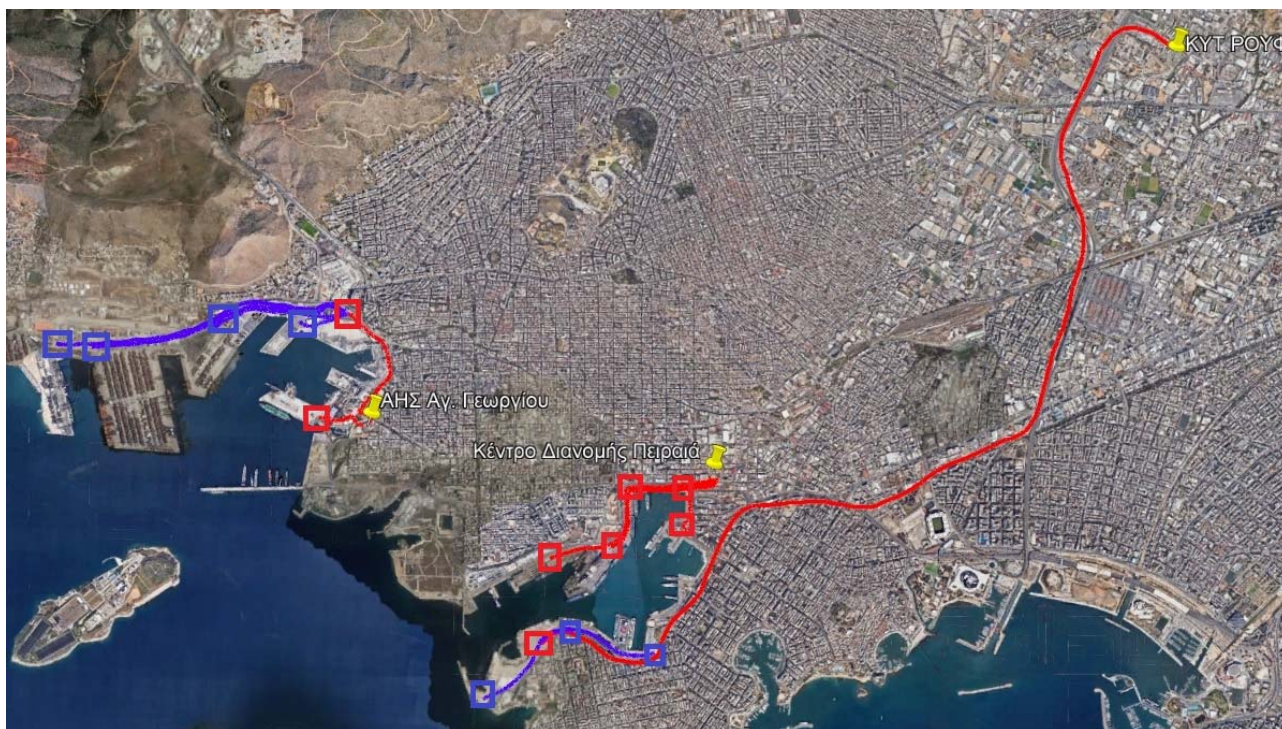
Το παραπάνω μειωμένο κόστος της αποκεντρωμένης τοπολογίας σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στη παράγραφο 5.4 , οδηγούν στην επιλογή της.

6.6 Κοστολόγηση (εγκατάσταση - λειτουργία - συντήρηση) - Μεριά ακτής

Η τροφοδότηση των κεντρικών Υ/Σ CI από το εθνικό δίκτυο θα γίνει ως εξής:

- Σύνδεση των κεντρικών Υ/Σ του Σταθμού Ακτοπλοΐας με το Κέντρο Διανομής Πειραιά. Συνολική απαίτηση 45,39 MVA με διανομή στα 20 kV.
- Σύνδεση του Υ/Σ Γ3 με τον Α.Η.Σ. Αγ. Γεωργίου. Συνολική απαίτηση 7,2 MVA με διανομή στα 20 kV.
- Σύνδεση του Υ/Σ Γ2 και των Υ/Σ S.P1, S.P2, S.P3 μέσω Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ με διανομή από τον Α.Η.Σ. Αγ. Γεωργίου στα 150 kV. Συνολική απαίτηση 112,3 MVA με διανομή στα 20 kV από τον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ.
- Σύνδεση των Υ/Σ S.A, S.B, S.C μέσω Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ με διανομή από το Κ.Υ.Τ. Ρουφ στα 150 kV. Συνολική απαίτηση 148 MVA με διανομή στα 20 kV από τον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ.

Τα παραπάνω φαίνονται σχηματικά στην παρακάτω Εικόνα.



Εικόνα 60. Σύνδεση Υ/Σ CI με το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης [Πηγή: Google Earth].

Οι παραπάνω εργασίες σύνδεσης με το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης και ο απαιτούμενος εξοπλισμός, κοστολογούνται στον παρακάτω Πίνακα 56.

ΔΙΑΝΟΜΗ ΑΠΟ ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ				
Υποσταθμός	Κ.Δ. ΠΕΙΡΑΙΑ (Απόσταση σε m)	Α.Η.Σ. ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ (Απόσταση σε m)	Κ.Υ.Τ. ΡΟΥΦ (Απόσταση σε m)	Κόστος (€)
S.E1 (20 kV)	1.712			1.712.000
S.E2 (20 kV)	1.218			1.218.000
S.E3 (20 kV)	700			700.000
S.E5 (20 kV)	272			272.000

S.E8 (20 kV)	612		612.000
S.Γ3 (20 kV)		421	421.000
Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων (115 MVA, 150 kV)		1.199	1.199.000
Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ Σταθμού Κρουαζιέρας (150 MVA, 150 kV)			8.759 8.759.000
ΔΙΑΝΟΜΗ ΑΠΟ Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ			ΣΥΝΟΛΟ Α: 14.893.000 €
Υποσταθμός	Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων (150 kV) (Απόσταση σε m)	Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ Σταθμού Κρουαζιέρας (150 kV) (Απόσταση σε m)	Κόστος (€)
S.P1	1.118		167.700
S.P2	2.129		319.350
S.P3	2.427		364.050
S.A		1.029	154.350
S.B		646	96.900
S.C		313	46.950
			ΣΥΝΟΛΟ Β: 1.149.300 €
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ			
Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων (115 MVA, 150 kV)			10.350.000
Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ Σταθμού Κρουαζιέρας (150 MVA, 150 kV)			13.500.000
			ΣΥΝΟΛΟ Γ: 23.850.000 €
			ΣΥΝΟΛΟ Α+Β+Γ: 39.892.300 €

Πίνακας 56. Κοστολόγηση εργασιών και εξοπλισμού σύνδεσης με το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης

Λαμβάνοντας υπόψιν το συνολικό κόστος εγκατάστασης του CI που υπολογίστηκε στις προηγούμενες παραγράφους, για την αποκεντρωμένη τοπολογία, προκύπτει το συνολικό κόστος της επένδυσης: $K_0 = 96.454.680 \text{ €} + 39.892.300 \text{ €} = 136.346.980 \text{ €}$.

Για τη λειτουργία της εγκατάστασης του CI απαιτείται η ύπαρξη εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού (μηχανικοί, τεχνικοί, χειριστές). Επίσης απαιτείται ετήσια συντήρηση του εξοπλισμού, η οποία θα θεωρηθεί ίση με το 1% του κόστους εγκατάστασης σε κάθε Σταθμό. Το σημαντικότερο λειτουργικό κόστος είναι προφανώς το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Στον παρακάτω Πίνακα 57 απεικονίζονται οι χρεώσεις ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας για την αρχή διαχείρισης του Λιμένος Πειραιώς. Το τιμολόγιο που επιλέχθηκε είναι το ΒΥ (υψηλού συντελεστή χρησιμοποίησης) για εμπορική χρήση. Βάσει αυτού θα προκύψει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή (συμπεριλαμβανομένου φόρου 6%), όπως εξηγείται στη συνέχεια.

Στον Πίνακα 58 δίνονται οι εκτιμώμενες μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Οι οποίες προέκυψαν από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για τον ελλιμενισμό πλοίων στους Λιμενικούς

Σταθμούς Πειραιά κατά τη διάρκεια των ετών 2021, 2022, 2023 και από τη διαχρονική εξέλιξη της απαίτησης σε ισχύ που απεικονίζεται στα διαγράμματα του Κεφαλαίου 4. Στην περίπτωση των επεκτάσεων του Σταθμού Κρουαζιέρας και του Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων, ελλείψει δεδομένων, οι υπολογισμοί έγιναν αναλογικά με βάση την εγκατεστημένη ισχύ που διαθέτουν, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα δεδομένα κάθε Σταθμού. Εκτός της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας χρεώνεται η μέγιστη τιμή της ισχύος που παρατηρείται κατά το διάστημα 7:00 - 23:00. Δεδομένου ότι δεν είναι δυνατή η εκ των προτέρων εκτίμηση της μηνιαίας αιχμής ισχύος, θα την προσεγγίσουμε θεωρώντας ταυτόχρονη ζήτηση της μέγιστης ισχύος που μπορεί να παρασχεθεί από 1 θέση/Υ/Σ για όλους τους Υ/Σ, όλων των Λιμενικών Σταθμών του Πειραιά.

Χρέωση προμήθειας ρεύματος		Ρυθμιζόμενες χρεώσεις		Λοιπά τέλη	
Χρέωση ισχύος (€/kW/month)	8,88	Σύστημα μεταφοράς - Χρέωση ισχύος (€/kW/month)	1,3840	ΕΦΚ (€/kWh)	0,005
Χρέωση ενέργειας ημέρας (€/kWh)	0,06470	Δίκτυο διανομής - Χρέωση ισχύος (€/kW/month)	1,0970	Ειδικό τέλος Ν.2093/92	5‰
Χρέωση ενέργειας νύχτας (€/kWh)	0,05057	Δίκτυο διανομής - Χρέωση ενέργειας (€/kW/month)	0,0028		
		ΥΚΩ (€/kWh)	0,01790		
		ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	0,00878		
		Λοιπές χρεώσεις (€/kWh)	0,00007		

Πίνακας 57. Χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το τιμολόγιο ΒΥ (εμπορική χρήση).

Υποσταθμός	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας 2021 (kWh/month)	Μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας 2022 (kWh/month)	Μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας 2023 (kWh/month)	Εκτιμώμενη μηνιαία κατανάλωση ενέργειας (kWh/month)
S.E1	9,50			548.333	548.333
S.E2	7,00			675.741	675.741
S.E3	10,50			464.838	464.838
S.E5	7,50			617.317	617.317
S.E8	10,89			1.018.882	1.018.882
S.A	44,00	*1.463.950	3.007.818	3.050.667	3.029.243
S.B	61,00	2.697.855	2.250.722	2.344.290	**5.931.532
S.C	43,00	1.147.119	1.335.299	1.247.490	1.243.303
S.Γ2	5,40	892.060	640.113		***766.086
S.Γ3	7,20	1.189.413	853.484		1.021.448
S.P1	18,30	1.305.520	1.340.105		1.322.813
S.P2	48,00			11.452.447	11.452.447
S.P3	40,60				
Συνολική Ισχύς (MW):	312,89	Συνολική εκτιμώμενη μηνιαία κατανάλωση (kWh/month):			28.091.982

Πίνακας 58. Εκτιμώμενες μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας. *Το έτος 2021 δεν λήφθηκε υπόψιν λόγω Covid19, **Προσαύξηση σε σχέση με τον μ.ο. των ετών 2021-2023 κατά 36/25, ***Προσαύξηση σε σχέση με τον μ.ο. των ετών 2021-2022 του Υ/Σ S.Γ2 κατά 7,2/5,4.

Με βάση τα παραπάνω και με τις τιμές των Πινάκων 57 και 58, προκύπτουν τα ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης των εγκαταστάσεων CI, που δίνονται στους Πίνακες 59 – 61.

Κόστος συντήρησης (σύστημα ακτής)		
Σταθμός	$K_{0,i}$ (€)	$1\% \cdot K_{0,i}$ (€/year)
Ακτοπλοΐας	16.253.135	162.531
Κρουαζιέρας	42.017.410	420.174
Διακίνησης Οχημάτων	5.314.722	53.147
Εμπορευματοκιβωτίων	32.869.413	328.694
Κόστος (€/year):		964.547 €

Πίνακας 59. Ετήσιο κόστος συντήρησης συστημάτων CI.

Κόστος λειτουργίας – Προσωπικό (σύστημα ακτής)						
Σταθμός	Μηχανικοί		Τεχνικοί		Χειριστές	
	Πλήθος	(€/year)	Πλήθος	(€/year)	Πλήθος	(€/year)
Ακτοπλοΐας	1	24.000	2	16.000	1	16.000
Κρουαζιέρας			2	16.000	1	16.000
Διακίνησης Οχημάτων	1	24.000	6	16.000	3	16.000
Εμπορευματοκιβωτίων			6	16.000	3	16.000
Κόστος (€/year):		48.000 €		256.000 €		128.000 €
Συν. Κόστος (€/year):						432.000 €

Πίνακας 60. Ετήσιο κόστος απασχολούμενου προσωπικού στα συστήματα CI.

Κόστος λειτουργίας – Κατανάλωση ενέργειας (σύστημα ακτής)					
Σταθμός	Χρέωση Ισχύος		Χρέωση Ενέργειας		Ειδικό τέλος Ν.2093/92 (€/month)
	Μηνιαία αιχμή ισχύος (kW)	(€/kW/month)	Εκτιμώμενη μηνιαία κατανάλωση ενέργειας (kWh/month)	(€/kWh)	
Ακτοπλοΐας	10.000	11,364	3.325.112	0,089385	2.054
Κρουαζιέρας	37.800	11,364	10.204.077	0,089385	6.708
Διακίνησης Οχημάτων	2.320	11,364	1.787.535	0,089385	931
Εμπορευματοκιβωτίων	14.000	11,364	12.775.259	0,089385	6.505
Κόστος (€/year):		8.743.762 €		30.132.022 €	194.379 €
Συν. Κόστος (€/year):					41.402.710 €

Πίνακας 61. Ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τα συστήματα CI.

Ανακεφαλαιώνοντας έχουμε τα εξής κόστη για την εγκατάσταση και την ετήσια συντήρηση και λειτουργία του συστήματος CI στον Επιβατικό και Εμπορικό Λιμένα Πειραιώς, λαμβανομένης της κατανάλωσης που θεωρήθηκε στον Πίνακα 58:

- **Κόστος εγκατάστασης $K_0 = 136.346.980 €$**
- **Ετήσιο κόστος συντήρησης $K_s = 964.547 €$**
- **Ετήσιο κόστος λειτουργίας $K_{Op} = 432.000 € + 41.402.710 € = 41.834.710 €$**

6.7 Κοστολόγηση (εγκατάσταση-λειτουργία-συντήρηση) - Μεριά πλοίου

Για το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος CI στο πλοίο υπάρχουν αρκετές εκτιμήσεις. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε σαν βάση υπολογισμών τη μελέτη «Cold Ironing Cost Effectiveness – Port of Long Beach» [27] καθώς και την Εργασία του Αθηναίου Αθηνάδη [2]. Οι τιμές από τις παραπάνω εργασίες μετασχηματίστηκαν σε τιμές 2023 (€), μέσω εφαρμογής μέσου πληθωρισμού 2,8%/έτος για τα κόστη του 2004 (\$) και εφαρμογής μέσου πληθωρισμού 4,77%/έτος για το κόστος του 2020 (€). Η ισοδυναμία €/ \$ θεωρήθηκε το 2004 ίση με 1,2 και τον 10/2023 ίση με 1,06. Από τα παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 62.

Ship Name	Ship Type	Max Demanded Power (kW)	Voltage (V)	Retrofit Cost - 2004 (\$)	Retrofit Cost - 2023 (\$)	Retrofit Cost - 2004 (€)	Retrofit Cost - 2023 (€)	Cost per Demand (€/kW)
Victoria Bridge	Container Ship	700	450	296.000	481.100	355.200	509.965	728,52
Hanjin Paris	Container Ship	4.800	450	1.106.000	1.797.622	1.327.200	1.905.479	396,97
Lihue	Container Ship	1.700	450	452.000	734.652	542.400	778.731	458,08
OOCL California	Container Ship	5.200	450	977.000	1.587.953	1.172.400	1.683.231	323,70
Chiquita Joy	Reefer	3.500	450	751.000	1.220.627	901.200	1.293.865	369,68
Ecstasy	Cruise Ship	7.000	6.600	574.000	932.943	688.800	988.920	141,27
Alaskan Frontier	Tanker	7.800	6.600	457.000	742.779	548.400	787.345	100,94
Chevron Washington	Tanker	2.300	4.160	380.000	617.628	456.000	654.685	284,65
Groton	Tug barge	300	450	202.000	328.318	242.400	348.017	1.160,06
Ansac Harmony	Bulk Cargo	600	450	296.000	481.100	355.200	509.965	849,94
Pyxis	Vehicle Carrier	1.500	450	414.000	672.889	496.800	713.263	475,51
Thorseggen	General Cargo	600	450	236.000	383.579	283.200	406.594	677,66
Superfast II	Passenger Ship	2.129	690V / 400V			150.614	*173.200	81,36

Πίν. 62. Κόστη μεταποίησης πλοίων για την εγκατάσταση συστήματος CI. *Έτος αναφοράς το 2020

Από την επεξεργασία των δεδομένων των δρομολογίων των υπό εξέταση Σταθμών, υπολογίζουμε τη μέση απαίτηση ισχύος και τη μέση ειδική κατανάλωση καυσίμου σε κάθε Σταθμό. Στη συνέχεια με χρήση των τιμών του Πίνακα 62, προκύπτουν τα μέσα κόστη εγκατάστασης του συστήματος CI (μέσω μετατροπής) σε τυπικό πλοίο για τον κάθε Σταθμό (Πίνακας 63).

Κόστος εγκατάστασης συστήματος CI (σύστημα πλοίου)		
Τυπικό πλοίο Σταθμού	Μέση απαίτηση ισχύος (kW)	Μέσο κόστος μετατροπής τυπικού πλοίου (€)
Ακτοπλοΐας	1.545	125.672
Κρουαζιέρας	7.865	1.111.067
Διακίνησης Οχημάτων	1.166	554.439
Εμπορευματοκιβωτίων	1.397	636.292

Πίνακας 63. Κόστος εγκατάστασης συστήματος CI ανά τύπο πλοίου.

Παρακάτω θα υπολογιστούν τα μέσα κόστη λειτουργίας και συντήρησης ενός τυπικού πλοίου κάθε Σταθμού. Αυτά θα δοθούν ανά kWh, αλλά και ανά ελλιμενισμό. Στον Πίνακα 64 δίνονται οι βασικές εργασίες συντήρησης και το κόστος αυτών λήφθηκε από την Εργασία Trivunza et al. [65]. Σε αυτές θα συνυπολογίσουμε το κόστος του απαιτούμενου λιπαντικού, στο πλαίσιο της συντήρησης των μηχανών, για το οποίο θα θεωρήσουμε μέση κατανάλωση ίση με 0,35 g/kWh και άρα κόστος ίσο με 3.774 €/mt [14]. Επίσης, από επεξεργασία των δεδομένων των δρομολογίων των υπό εξέταση Σταθμών, υπολογίστηκε η μέση κατανάλωση ενέργειας ανά ελλιμενισμό για ένα τυπικό πλοίο κάθε Σταθμού, με σκοπό να υπολογιστούν τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας ανά ελλιμενισμό. Σημειώνεται ότι από τον ιστότοπο <https://shipandbunker.com/> λάβαμε τη μέση τιμή πώλησης του καυσίμου MGO για το διάστημα 10/4/2023 – 6/10/2023 ίση με 867,00 \$/mt ή 817,92 €/mt. Τα κόστη που περιγράφηκαν παραπάνω δίνονται στους Πίνακες 64 και 65.

Κόστος συντήρησης βοηθητικών μηχανών πλοίου				
Συντήρηση	Μέσο κόστος (€/kWh)	Τυπικό πλοίο Σταθμού	Μέση κατανάλωση ενέργειας (kWh/port call)	Μέσο κόστος συντήρησης τυπικού πλοίου (€/port call)
Σύστημα SCR	0,006	Ακτοπλοΐας	13.644	372,78
Σύστημα EGR	0,001	Κρουαζιέρας	132.898	3.630,89
Σύστημα ανάκτησης θερμότητας	0,004	Διακίνησης Οχημάτων	18.708	511,13
Ζεύγος βοηθητικής μηχανής - γεννήτριας	0,015	Εμπορευματοκιβωτίων	39.004	1.065,62
Κατανάλωση λιπαντικού	0,0013			
Σύνολο (€/kWh):	0,0273			

Πίνακας 64. Κόστος συντήρησης βοηθητικών μηχανών πλοίου.

Κόστος λειτουργίας – Κατανάλωση ενέργειας βοηθητικών μηχανών πλοίου				
Τυπικό πλοίο Σταθμού	Μέση ειδική κατανάλωση καυσίμου (g/kWh)	Μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο (€/kWh)	Μέση κατανάλωση ενέργειας (kWh/port call)	Μέσο κόστος λειτουργίας τυπικού πλοίου (€/port call)
Ακτοπλοΐας	256,29	0,2096	13.644	2.860,17
Κρουαζιέρας	265,77	0,2174	132.898	28.889,09
Διακίνησης Οχημάτων	264,46	0,2163	18.708	4.046,76
Εμπορευματοκιβωτίων	264,58	0,2164	39.004	8.440,56

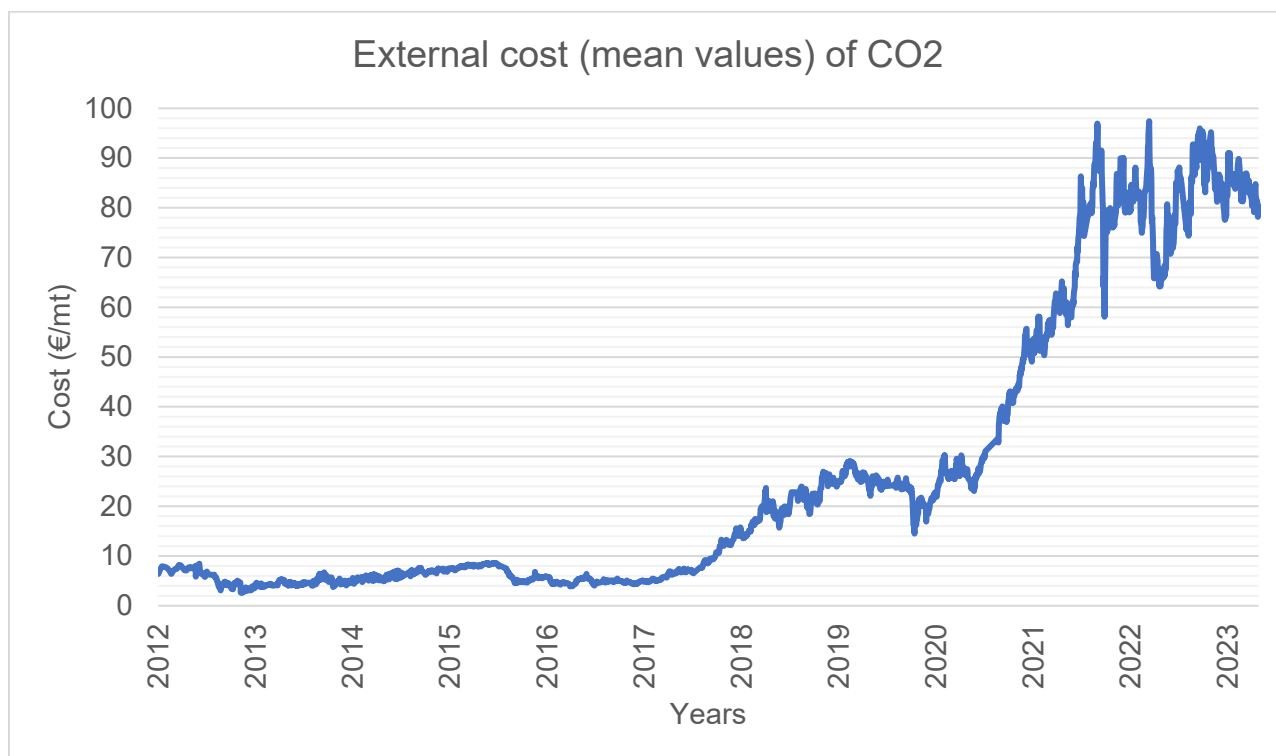
Πίνακας 65. Κατανάλωση ενέργειας βοηθητικών μηχανών πλοίου

6.8 Εκτίμηση ωφελειών για την ακτή

Οι εκπεμπόμενοι αέριοι ρύποι δημιουργούν εξωτερικά κόστη. Ως εξωτερικά κόστη ή εξωτερικότητες (externalities) νοούνται αυτά που οφείλονται στη δράση τρίτων μερών και για τα οποία δεν υπάρχει προβλεπόμενη διαδικασία αποπληρωμής, μέχρι τη στιγμή που αυτά αναδειχθούν, υπολογιστούν και αποδοθούν (εσωτερικοποιηθούν) μέσω καταβολής αποζημίωσης. Για τη διαμόρφωση της αποζημίωσης λόγω εκπομπών αέριων ρύπων, συνήθως χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συντελεστές (€/kg) μέσω των οποίων οι εκπεμπόμενες ποσότητες (kg) μετατρέπονται σε χρηματική αποζημίωση (€).

Για τον προσδιορισμό του εξωτερικού κόστους των ρυπαντών NMVOC, SO_x (SO₂), NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ θα χρησιμοποιήσουμε τους συντελεστές που κυκλοφόρησαν στη μελέτη «Handbook on the external costs of transport, Version 2019 - 1.1», για την περίπτωση της Ελλάδας και την επιλογή City (<500.000), αφού ο πληθυσμός του Πειραιά είναι μικρότερος των 500.000. Οι παραπάνω συντελεστές αναφέρονται σε εσωτερικές πλωτές μεταφορές και έχουν ως βάση αναφοράς το έτος 2016. Για την επικαιροποίησή τους στο έτος 2023, θα εφαρμοστεί ο τρέχων HICP (Harmonized Index of Consumer Prices), ο οποίος δημοσιεύεται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή. Για το έτος 2016 προκύπτει μέση ετήσια τιμή $HICP_{2016} = 100,02$, ενώ η εκτίμηση του HICP για το έτος 2023 θα προκύψει ως η μέση τιμή των μηνών 01/2023 – 08/2023 και άρα έχουμε $HICP_{2023} = 115,00$.

Για την εκτίμηση του εξωτερικού κόστους του βασικού ρυπαντή CO₂ θα χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές που δημοσιεύονται στην αναφορά «Emission Spot Primary Market Auction Report 2023», από την οποία προκύπτει μέσος όρος για το έτος 2023 (01/2023 – 10/2023) ίσος με 85,54 €/mt.



Διάγραμμα 51. Διαχρονική εξέλιξη του εξωτερικού κόστους του CO₂ στο διάστημα 2012 - 2023 [71].

Στο Διάγραμμα 51 δίνεται η διαχρονική εξέλιξη του εξωτερικού κόστους του CO₂, όπου είναι εμφανής η ανοδική τάση μέχρι το τέλος του 2020 και στη συνέχεια η έντονη ανοδική τάση μέχρι τις αρχές του 2022, όπου στη συνέχεια τείνει να σταθεροποιηθεί.

Τέλος, για την εκτίμηση του εξωτερικού κόστους των ρυπαντών CH₄, N₂O, CO και BC θα χρησιμοποιήσουμε το άρθρο «The social cost of atmospheric release», μετατρέποντας τις τιμές σε € και επικαιροποιώντας στο έτος 2023 (HICP₂₀₀₇ = 89,75).

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτουν τα εξωτερικά κόστη ανά εκπεμπόμενη μάζα ρύπου που δίνονται στους Πίνακες 66 και 67.

Έτος	HICP	NMVOC (€/kg)	SO ₂ (€/kg)	NOx (€/kg) (Transport, City)	PM _{2.5} (€/kg) (Transport, City)	PM ₁₀ (€/kg)
2016 (βάση)	100,02	0,30	5,90	5,10	86,00	8,50
2023	115,00	0,34	6,78	5,86	98,88	9,77

Πίνακας 66. Εξωτερικά κόστη ρύπων (€/kg).

Έτος	HICP	CH ₄ (\$/mt)	N ₂ O (\$/mt)	CO (\$/mt)	BC (\$/mt)	CO ₂ (€/mt)
2007 (βάση)	89,75	910	9.200	90	20.000	NA
2023 (\$)	115,00	1.165,99	11.788,04	115,32	25.626,18	NA
2023 (€)	115,00	1.235,95	12.495,33	122,24	27.163,75	85,54

Πίνακας 67. Εξωτερικά κόστη ρύπων (€/mt).

Στον Πίνακα 68 δίνονται οι εκτιμώμενες μέσες μηνιαίες εκπομπές αέριων ρύπων ανά ρυπαντή. Οι εκτιμήσεις βασίστηκαν στα δεδομένα που συλλέχθηκαν για τον ελλιμενισμό πλοίων στους Λιμενικούς Σταθμούς Πειραιά κατά τη διάρκεια των ετών 2021, 2022, 2023 και από τη διαχρονική εξέλιξη των εκπομπών αέριων ρύπων που απεικονίζεται στα διαγράμματα του Κεφαλαίου 4. Στην περίπτωση των επεκτάσεων του Σταθμού Κρουαζιέρας και του Σταθμού Διακίνησης Οχημάτων, ελλείψει δεδομένων, οι υπολογισμοί έγιναν αναλογικά με βάση την εγκατεστημένη ισχύ που διαθέτουν, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα δεδομένα κάθε Σταθμού. Σε συνδυασμό με τα εξωτερικά κόστη ανά εκπεμπόμενη μάζα που υπολογίστηκαν προηγουμένως, μπορούμε να εκτιμήσουμε τα εξωτερικά κόστη ανά μήνα σε κάθε Σταθμό, τα οποία δίνονται στον Πίνακα 69.

Η εξάλειψη των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων που σχετίζονται με τον ελλιμενισμό πλοίων στους Λιμενικούς Σταθμούς του Πειραιά θα οδηγήσει στις οικονομικές ωφέλειες που δίνονται στον Πίνακα 69. Εκτός όμως από τις οικονομικές ωφέλειες λόγω βελτίωσης του επιπέδου υγείας, υπάρχουν και ωφέλειες, κυρίως στον Επιβατικό Λιμένα, λόγω της οικολογικής αναβάθμισης και της επίδρασης που αυτή θα έχει στην αύξηση της επισκεψιμότητας. Η αύξηση της επισκεψιμότητας στον μεγαλύτερο Λιμένα της Ελλάδας αναμένεται να έχει πρόσθετες ωφέλειες (κυρίως οικονομικές) και σε άλλους κλάδους. Λόγω ύπαρξης των παραπάνω ωφελειών, το Ελληνικό Κράτος αποκτά κίνητρο για παροχή φοροελαφρύνσεων με σκοπό τη στήριξη της επένδυσης, ειδικά στα κόστη που σχετίζονται με την ηλεκτρική τροφοδότηση των εγκαταστάσεων. Οι παραπάνω ωφέλειες αναφέρονται και στην ανάλυση

Υποσταθμός	NM VOC (kg/month)	SO _x (kg/month)	NO _x (kg/month)	PM _{2.5} (kg/month)	PM ₁₀ (kg/month)	CH ₄ (kg/month)	N ₂ O (kg/month)	CO (kg/month)	BC (kg/month)	CO ₂ (kg/month)
S.E1	196,58	456,75	5.048,00	118,58	129,15	4,62	21,19	259,23	30.686,22	377.841,83
S.E2	248,39	550,38	6.617,86	146,68	159,75	5,84	25,87	326,07	36.976,70	455.296,95
S.E3	171,22	390,54	4.501,18	100,93	109,93	4,03	17,78	224,67	26.237,87	323.068,87
S.E5	212,94	550,82	5.651,42	135,00	147,02	4,98	24,82	283,89	37.006,32	455.661,70
S.E8	323,06	1.041,53	7.956,12	232,45	253,11	7,45	45,54	443,74	69.973,55	861.589,67
S.A	1.062,45	26.446,93	23.220,64	3.038,23	3.301,96	24,91	119,93	1.405,95	233.473,28	2.157.711,79
S.B	1.359,09	27.817,67	26.560,26	3.500,51	3.804,24	32,11	137,04	1.765,61	245.961,05	2.269.545,62
S.C	463,74	10.232,54	8.998,24	1.242,53	1.350,36	10,93	48,80	606,56	90.481,23	834.837,00
S.Γ2	257,93	6.821,00	6.408,76	771,25	838,20	6,03	30,54	344,19	37.331,07	556.501,10
S.Γ3	343,91	9.094,66	8.545,01	1.028,33	1.117,60	8,03	40,72	458,92	49.774,76	742.001,47
S.P1	418,84	12.265,28	10.769,19	1.332,90	1.448,64	9,73	53,01	565,77	82.959,57	1.000.680,82
S.P2	3.640,54	105.554,49	74.430,67	11.539,12	12.541,09	84,63	458,79	4.913,68	714.829,11	8.611.818,87
S.P3										
Συνολικές εκπομπές (kg/month):	8.698,69	201.222,60	188.707,34	23.186,53	25.201,06	203,29	1.024,04	11.598,29	1.655.690,72	18.646.555,68

Πίνακας 68. Μέσες μηνιαίες εκπομπές αέριων ρύπων στους Σταθμούς του Λιμένος Πειραιώς.

Σταθμός	NM VOC (€/month)	SO _x (€/month)	NO _x (€/month)	PM _{2.5} (€/month)	PM ₁₀ (€/month)	CH ₄ (€/month)	N ₂ O (€/month)	CO (€/month)	BC (€/month)	CO ₂ (€/month)
Ακτοπλοΐας	397	20.283	174.589	72.542	7.808	33	1.689	188	5.457	211.580
Κρουαζιέρας	995	437.516	344.663	769.398	82.645	84	3.821	462	15.492	450.120
Διακίνησης Οχημάτων	208	107.964	87.684	177.938	19.114	17	890	98	2.361	111.074
Εμπορευματοκιβωτίων	1.400	799.230	499.586	1.272.761	136.719	117	6.395	670	21.641	822.253
Σύνολο ανά ρύπο (€/month):	3.000	1.364.993	1.106.523	2.292.639	246.286	251	12.796	1.418	44.951	1.595.026
Γενικό σύνολο (€/month):										6.667.883

Πίνακας 69. Μέσο μηνιαίο εξωτερικό κόστος λόγω εκπομπών αέριων ρύπων στους Σταθμούς του Λιμένος Πειραιώς.

SWOT της παραγράφου 5.2 ως ευκαιρίες από τη μεριά της ακτής. Το παραπάνω θα εξεταστεί κατά την αξιολόγηση της επένδυσης στην παράγραφο 6.10.

6.9 Εκτίμηση ωφελειών για το πλοίο

Οι ωφέλειες για το πλοίο αναφέρονται στην ανάλυση SWOT της παραγράφου 5.2 και μπορούν να εντοπιστούν αρχικά στην αποφυγή περιβαλλοντικών προστίμων κατά τον ελλιμενισμό και στον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων, οι τιμές των οποίων ενδέχεται να αυξηθούν λόγω εφαρμογής περιβαλλοντικών φόρων. Στις παραπάνω ωφέλειες πρέπει να προστεθεί η μειωμένη συντήρηση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των αέριων εκπομπών.

Για την εκτίμηση της ύπαρξης ή μη, οικονομικών ωφελειών (πέραν αυτών που αναφέρθηκαν πιο πάνω), απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σύσταση της τιμής πώλησης της ενέργειας που παρέχεται από την ακτή στο πλοίο. Η εκτίμηση της οριακής τιμής πώλησης θα γίνει με εφαρμογή της ανάλυσης νεκρού σημείου, θεωρώντας μηδενικό κέρδος και θέτοντας ως σταθερή ποσότητα παροχής ενέργειας, τη συνολική απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας ανά έτος $Q = 337.103.788 \text{ kWh}$ (έχοντας υποθέσει σταθερή ετήσια ζήτηση ενέργειας), ως σταθερό κόστος, τα ετήσια κόστη προσωπικού και συντήρησης: $FC = 432.000 \text{ €} + 964.547 \text{ €} = 1.396.547 \text{ €}$ και ως μεταβλητό κόστος, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή $VC = 41.402.710 \text{ €} / 337.103.788 \text{ kWh} = 0,1228 \text{ €/kWh}$. Συνεπώς από τα παραπάνω:

$$\begin{aligned} \text{Οριακή τιμή πώλησης ενέργειας: } P_S &= \frac{FC}{Q} + VC = \frac{1.396.547 \text{ €/year}}{337.103.788 \text{ kWh/year}} + 0,1228 \text{ €/kWh} \\ &= 0,1270 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \end{aligned}$$

Όπως προκύπτει από τους Πίνακες 64 και 65, η παραπάνω τιμή πώλησης (που καλύπτει τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης της επένδυσης, αλλά όχι το αρχικό κόστος) είναι μικρότερη από το κόστος της παραγόμενης ενέργειας από τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου, που κυμαίνεται στο διάστημα $0,2369 - 0,2447 \text{ €/kWh}$, αναλόγως Σταθμού. Συνεπώς υπάρχει περιθώριο αύξησής της με σκοπό την κάλυψη του αρχικού κόστους επένδυσης. Υποθέτοντας τιμή πώλησης ίση με $0,17 \text{ €/kWh}$, ένα τυπικό πλοίο κάθε Σταθμού θα είχε την οικονομική ωφέλεια που απεικονίζεται στον Πίνακα 70.

Τυπικό πλοίο Σταθμού	Εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας (kWh/port call)	Εκτιμώμενο κόστος συντήρησης τυπικού πλοίου (€/port call)	Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής ενέργειας στο πλοίο (€/port call)	Εκτιμώμενο κόστος παρεχόμενης ενέργειας από την ακτή (€/port call)	Εκτιμώμενη ωφέλεια για το πλοίο (€/port call)
Ακτοπλοΐας	13.644	373	2.860	2.320	913
Κρουαζιέρας	132.898	3.631	28.889	22.593	9.927
Διακίνησης Οχημάτων	18.708	511	4.047	3.180	1.377
Εμπορευματοκιβωτίων	39.004	1.066	8.441	6.631	2.876

Πίνακας 70. Οικονομικές ωφέλειες λόγω χρήσης του συστήματος CI ανά ελλιμενισμό.

6.10 Αξιολόγηση της επένδυσης

Σε αυτή την παράγραφο θα αξιολογηθεί η επένδυση από τη μεριά της ακτής με τη μέθοδο της ΚΠΑ (Καθαρής Παρούσας Αξίας). Η μέθοδος της ΚΠΑ θεμελιώνεται στη διαχρονική αξία του χρήματος, λαμβάνοντας υπόψιν το διαφορετικό χρόνο πραγματοποίησης των χρηματικών εισροών-εκροών της επένδυσης. Οι διαφορετικές (διαφορετικός χρόνος αναφοράς) χρονικές ροές μετρητών δεν είναι ομοιογενείς ή ισοδύναμες και ως εκ τούτου δεν μπορούν να αθροιστούν. Για να αθροιστούν/συγκριθούν πρέπει πρώτα να μετατραπούν σε αξίες ενιαίας χρονικής βάσης ορισμένου έτους. Η τεχνική με την οποία γίνεται μετατροπή μελλοντικών αξιών σε παρούσες αξίες, με χρήση ορισμένου επιτοκίου, καλείται προεξόφληση (discounting). Αντιστοίχως, η τεχνική με την οποία παρούσες αξίες μετατρέπονται σε ισοδύναμες μελλοντικές, με χρήση ορισμένου επιτοκίου, καλείται ανατοκισμός (compounding). Η ΚΠΑ χρησιμοποιεί την τεχνική της προεξόφλησης προκειμένου να προεξοφλήσει τις μελλοντικές καθαρές ταμειακές ροές (η διαφορά των μελλοντικών καθαρών εκροών από τις μελλοντικές καθαρές εισροές) στο παρόν και να τις συγκρίνει με το αρχικό κόστος κεφαλαίου. Με βάση τα παραπάνω η ΚΠΑ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+r)^t} - K_0$$

όπου r το επιτόκιο προεξόφλησης, t ο χρόνος προεξόφλησης, n η διάρκεια της επένδυσης (σε έτη), K_0 το κόστος της αρχικής επένδυσης και KTP_t η καθαρή ταμειακή ροή του έτους t .

Η αξιολόγηση της επένδυσης θα βασιστεί στις παρακάτω υποθέσεις/παραδοχές:

1. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τον ελλιμενισμό στους Λιμενικούς Σταθμούς Πειραιά θα θεωρηθεί σταθερή και ίση με 337.103.788 kWh/year
2. Η εκτίμηση του επιτοκίου προεξόφλησης r , θα βασιστεί στο επιτόκιο προσφοράς για πράξεις κύριας αναχρηματοδότησης (main refinancing operations rate), όπως αυτό καθορίζεται από την Κεντρική Ευρωπαϊκή Τράπεζα και το οποίο διαμορφώνεται μετά την 20/9/2023 στο επίπεδο του 4,5%. Το επιτόκιο αυτό θα αυξηθεί με ένα επιτόκιο ασφαλείας 4% προκειμένου να συμπεριληφθεί μέρος του κινδύνου της επένδυσης και τελικά το επιτόκιο προεξόφλησης θα διαμορφωθεί στο $r = 8,5\%$ και θα θεωρηθεί σταθερό κατά τη διάρκεια της επένδυσης.
3. Η διάρκεια του έργου θα οριστεί στα 2 έτη.
4. Η διάρκεια της επένδυσης θα οριστεί στα $n = 20$ έτη.
5. Το αρχικό κόστος της επένδυσης αναμένεται να κλιμακωθεί ως εξής: α) Καταβολή 35.000.000 € στην αρχή του 1ου έτους κατασκευής του έργου (T_0), με την ενσωμάτωση στο έργο του απαιτούμενου εξοπλισμού, β) Καταβολή 45.000.000 € στο τέλος του 1ου έτους κατασκευής του έργου (T_1), γ) Καταβολή 56.346.980 € στο τέλος του 2ου έτους κατασκευής του έργου (T_2), με την ολοκλήρωσή των εγκαταστάσεων, την επιτυχή ολοκλήρωση των δοκιμών και την έναρξη της δοκιμαστικής λειτουργίας.

6. Η εκμετάλλευση του συστήματος CI αναμένεται να γίνει σταδιακά, λόγω του χρόνου που απαιτείται για την υιοθέτηση της τεχνολογίας και την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού από τα πλοία κάθε Σταθμού. Θα θεωρήσουμε ότι η παραπάνω διείσδυση της νέας τεχνολογίας CI στον στόλο που επισκέπτεται τον κάθε Σταθμό θα ακολουθήσει το παρακάτω σχήμα:

1ο έτος λειτουργίας (T ₃)	2ο έτος λειτουργίας (T ₄)	3ο έτος λειτουργίας (T ₅)	4ο έτος λειτουργίας (T ₆)	5ο έτος λειτουργίας (T ₇)
40%	60%	80%	90%	100%

Πίνακας 71. Βαθμός εκμετάλλευσης εγκατεστημένου συστήματος CI από τα ελλιμενίζοντα πλοία.

7. Η τιμή πώλησης της παρεχόμενης στο πλοίο ηλεκτρικής ενέργειας θα θεωρηθεί ίση με 0,17 €/kWh.
8. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή είναι ίσο με 0,1228 €/kWh.
9. Το σταθερό κόστος (συντήρηση και λειτουργία) είναι ίσο με $1.396.547/337.103.788 = 0,0042$ €/kWh.
10. Αρχικά θα θεωρήσουμε ότι το έργο θα είναι αυτοχρηματοδοτούμενο στο 100% με σκοπό να διαπιστώσουμε την εξέλιξη της ΚΠΑ. Αν διαπιστωθεί αρνητική ΚΠΑ, τότε θα εκτιμηθεί το σενάριο χρηματοδότησης.
11. Μετά την επιλογή του σχήματος χρηματοδότησης θα υπολογιστούν δύο σενάρια: α) ένα σενάριο χωρίς φορολόγηση των καθαρών κερδών και β) ένα σενάριο με μειωμένη φορολόγηση των καθαρών κερδών. Σε αυτή την περίπτωση ο φορολογικός συντελεστής επί των καθαρών κερδών θα θεωρηθεί ίσος με 13% και θα ληφθεί υπόψιν με ένα έτος καθυστέρηση, δεδομένης της φύσης της εγκατάστασης. Επίσης οι φορολογικές αποσβέσεις θα υπολογιστούν με συντελεστή 5% ανά έτος επί του συνολικού κόστους της επένδυσης.

Από τα παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 72, από τον οποίο φαίνεται ότι η επένδυση, όπως περιγράφηκε παραπάνω παρουσιάζει αρνητική ΚΠΑ, στο τέλος του 20ου έτους (T₂₂).

Έτος	Κόστος επένδυσης (€)	Εκμετάλλευση συστήματος CI (%)	Έσοδα πωλήσεων (€)	Σταθερά έξοδα (€)	Κόστος ενέργειας (€)	ΚΤΡ (€)	ΚΠΑ (€)
T ₀	-35.000.000					-35.000.000	-35.000.000
T ₁	-45.000.000					-45.000.000	-41.474.654
T ₂	-56.346.980					-56.346.980	-47.864.240
T ₃		40%	22.923.058	1.396.547	16.561.084	4.965.427	3.887.473
T ₄		60%	34.384.586	1.396.547	24.841.626	8.146.413	5.878.242
T ₅		80%	45.846.115	1.396.547	33.122.168	11.327.400	7.533.236
T ₆		90%	51.576.880	1.396.547	37.262.439	12.917.893	7.917.959
T ₇		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	8.196.170
T ₈		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	7.554.074
T ₉		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	6.962.280
T ₁₀		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	6.416.848

T ₁₁		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	5.914.146
T ₁₂		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	5.450.825
T ₁₃		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	5.023.802
T ₁₄		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	4.630.232
T ₁₅		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	4.267.495
T ₁₆		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	3.933.175
T ₁₇		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	3.625.046
T ₁₈		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	3.341.057
T ₁₉		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	3.079.315
T ₂₀		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	2.838.078
T ₂₁		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	2.615.740
T ₂₂		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	2.410.821
T ₂₃		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	14.508.387	2.221.954
							-20.640.925

Πίνακας 72. Υπολογισμός ΚΠΑ για 20ετή επένδυση και 100% αυτοχρηματοδότηση.

Σημειώνεται ότι η παραπάνω επένδυση παρουσιάζει αλλαγή προσήμου στο τέλος του 40ου έτους, καθιστώντας απαραίτητη την αλλαγή του σχήματος χρηματοδότησης.

Μετά τον συνυπολογισμό φόρων και αποσβέσεων και εφαρμόζοντας επαναληπτικά την διαδικασία υπολογισμού της ΚΠΑ, προκύπτει ότι η επένδυση πρέπει να χρηματοδοτηθεί με 38.000.000 €. Συνεπώς το σχήμα χρηματοδότησης που θα ακολουθηθεί θα είναι:

Ίδια Κεφάλαια: 98.346.980 € και Επιδότηση: 38.000.000 €

Στον Πίνακα 73 απεικονίζεται ο υπολογισμός των φόρων και στον Πίνακα 74 δίνεται ο υπολογισμός της ΚΠΑ, ακολουθώντας το παραπάνω σχήμα.

Έτος	Έσοδα πωλήσεων (€)	Κόστος ενέργειας (€)	Μικτά κέρδη (€)	Σταθερά έξοδα (€)	Υπόλοιπο προ αποσβέσεων και φόρων (€)	Αποσβέσεις (€)	Υπόλοιπο προ φόρων (€)	Φόρος (€)
T ₀								
T ₁								
T ₂								
T ₃	22.923.058	16.561.084	6.361.973	1.396.547	4.965.427	4.917.349	48.078	0
T ₄	34.384.586	24.841.626	9.542.960	1.396.547	8.146.413	4.917.349	3.229.064	6.250
T ₅	45.846.115	33.122.168	12.723.947	1.396.547	11.327.400	4.917.349	6.410.051	419.778
T ₆	51.576.880	37.262.439	14.314.440	1.396.547	12.917.893	4.917.349	8.000.544	833.307
T ₇	57.307.644	41.402.710	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.040.071
T ₈	57.307.644	41.402.710	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₉	57.307.644	41.402.710	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835

T ₁₀	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₁	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₂	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₃	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₄	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₅	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₆	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₇	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₈	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₁₉	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₂₀	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₂₁	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₂₂	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835
T ₂₃	57.307.64 4	41.402.71 0	15.904.934	1.396.547	14.508.387	4.917.349	9.591.038	1.246.835

Πίνακας 73. Υπολογισμός φόρων για σενάριο επιδότησης.

Έτος	Κόστος επένδυσης (€)	Εκμετάλλευση συστήματος CI (%)	Έσοδα πωλήσεων (€)	Σταθερά έξοδα (€)	Κόστος ενέργειας (€)	Φόρος (€)	ΚΤΡ (€)	ΚΠΑ (€)
T ₀	25.000.000	-					25.000.000	25.000.000
T ₁	37.000.000	-					37.000.000	34.101.382
T ₂	36.346.980	-					36.346.980	30.875.134
T ₃		40%	22.923.058	1.396.547	16.561.084	0	4.965.427	3.887.473
T ₄		60%	34.384.586	1.396.547	24.841.626	6.250	8.140.163	5.873.732
T ₅		80%	45.846.115	1.396.547	33.122.168	419.778	10.907.622	7.254.064
T ₆		90%	51.576.880	1.396.547	37.262.439	833.307	12.084.587	7.407.188
T ₇		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.040.071	13.468.316	7.608.607
T ₈		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	6.904.885
T ₉		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	6.363.949
T ₁₀		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	5.865.391
T ₁₁		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	5.405.890
T ₁₂		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	4.982.387
T ₁₃		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	4.592.062

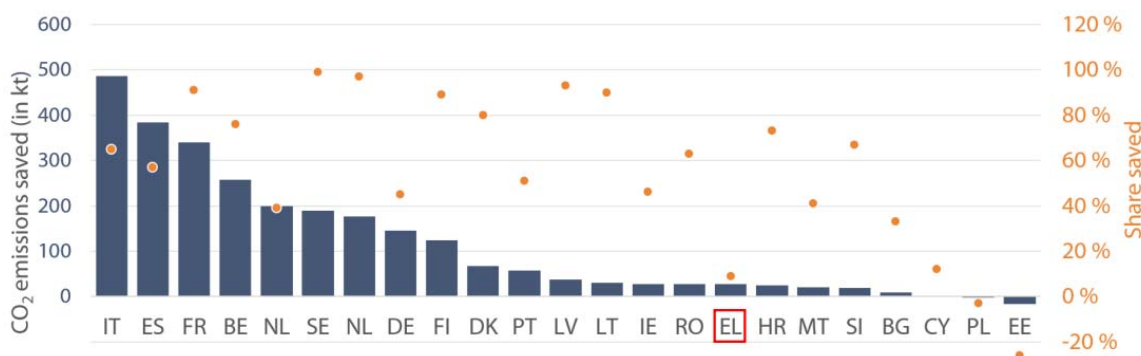
T ₁₄		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	4.232.315
T ₁₅		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	3.900.751
T ₁₆		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	3.595.163
T ₁₇		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	3.313.514
T ₁₈		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	3.053.930
T ₁₉		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	2.814.682
T ₂₀		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	2.594.177
T ₂₁		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	2.390.946
T ₂₂		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	2.203.637
T ₂₃		100%	57.307.644	1.396.547	41.402.710	1.246.835	13.261.552	2.031.002
								6.299.230

Πίνακας 74. Υπολογισμός ΚΠΑ για 20ετή επένδυση και μερικής επιδότησης.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 74 προκύπτει θετική ΚΠΑ με υπεραξία 6.299.230 € και συνεπώς η επένδυση γίνεται αποδεκτή εφόσον εξασφαλιστεί η επιδότηση των 38.000.000 €, ενδεχομένως μέσω σχετικού κοινοτικού προγράμματος. Σημειώνεται ότι η διάρκεια ζωής της επένδυσης θα μπορούσε να μειωθεί με παράλληλη αύξηση της επιδότησης ή αύξηση της τιμής πώλησης της παρεχόμενης ενέργειας.

7. Ενεργειακό μείγμα και δυνατότητες μείωσης εκπομπών αέριων ρύπων μέσω της ηλεκτροπαραγωγής

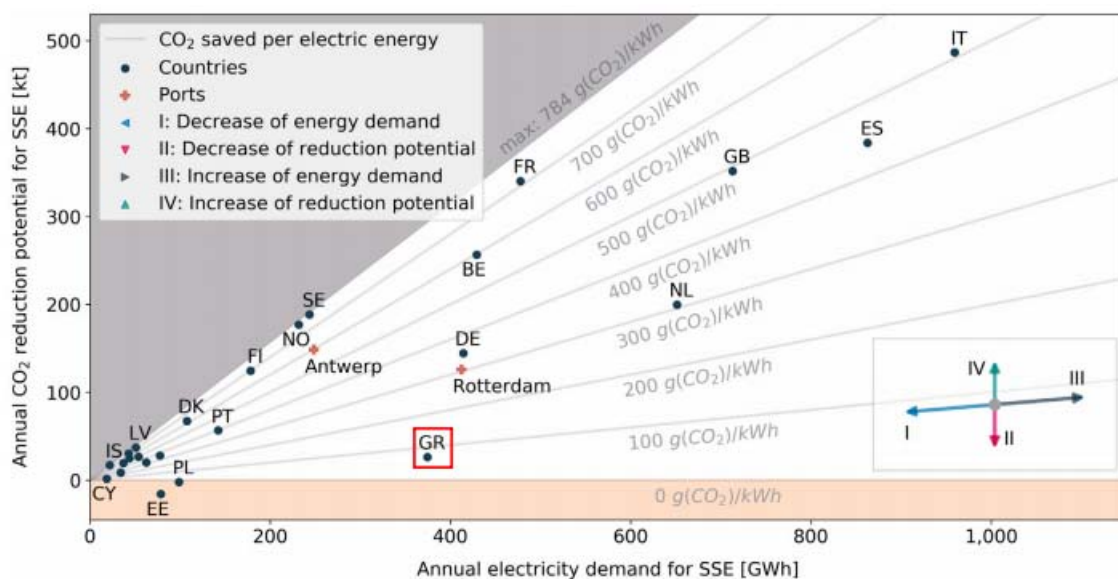
Όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση SWOT η ικανότητα του συστήματος CI για αντικειμενική μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων, συσχετίζεται με την διαχρονική εξέλιξη του ενεργειακού μείγματος. Σύμφωνα με τη μελέτη των Stoltz et al, η οποία μνημονεύεται από μελέτη της EPRS, η αποτελεσματικότητα του συστήματος CI στη μείωση των εκπομπών για χώρες που εξαρτώνται από το πετρέλαιο (π.χ. Ελλάδα, Κύπρος) ή εκείνες που κυριαρχούν στον άνθρακα (π.χ. Πολωνία, Εσθονία), είναι μικρή και πιθανώς να οδηγήσει στο αντίθετο του αναμενόμενου αποτελέσματος. Τα παραπάνω αποδίδονται στις Εικόνες 61, 62 και 63.



Εικόνα 61. Ποσό των εκπομπών CO₂ που εξοικονομήθηκε (απόλυτες και σχετικές) στα παράκτια κράτη μέλη, με τη χρήση CI [33].

Country	Electricity			CO ₂ emissions			
	Demand for SSE [GWh]	Gross domestic production [TWh]	Share of SSE [%]	of electricity for SSE [kt]	of ships at berth [kt]	Saved in total by SSE [kt]	Share saved by SSE [%]
IT	959	289	0.36	266	752	487	65
ES	863	274	0.34	288	672	384	57
GB	713	331	0.23	207	559	352	63
NL	651	114	0.60	309	509	200	39
FR	478	581	0.09	34	374	340	91
BE	429	75	0.61	80	336	257	76
DE	414	642	0.07	180	325	145	45
GR	375	53	0.76	266	293	27	9
SE	244	163	0.16	2	191	189	99
NO	232	147	0.17	5	182	177	97
FI	178	70	0.27	15	140	124	89
PT	142	60	0.26	55	112	57	51
DK	107	30	0.38	17	84	67	80
PL	99	170	0.06	79	77	-2	-3
EE	79	12	0.68	77	62	-16	-26
IE	78	31	0.27	33	61	28	46
MT	63	2	3.34	29	49	20	41
RO	54	65	0.09	16	42	27	63
LV	51	7	0.83	3	40	37	93
HR	44	14	0.36	9	34	25	73
LT	43	3	1.60	3	34	30	90
SI	37	16	0.24	10	29	19	67
BG	34	47	0.08	18	27	9	33
IS	22	20	0.11	0	17	17	100
CY	19	5	0.38	13	15	2	12
Total	6,406	3,221	0.20	2,014	5,015	3,001	60

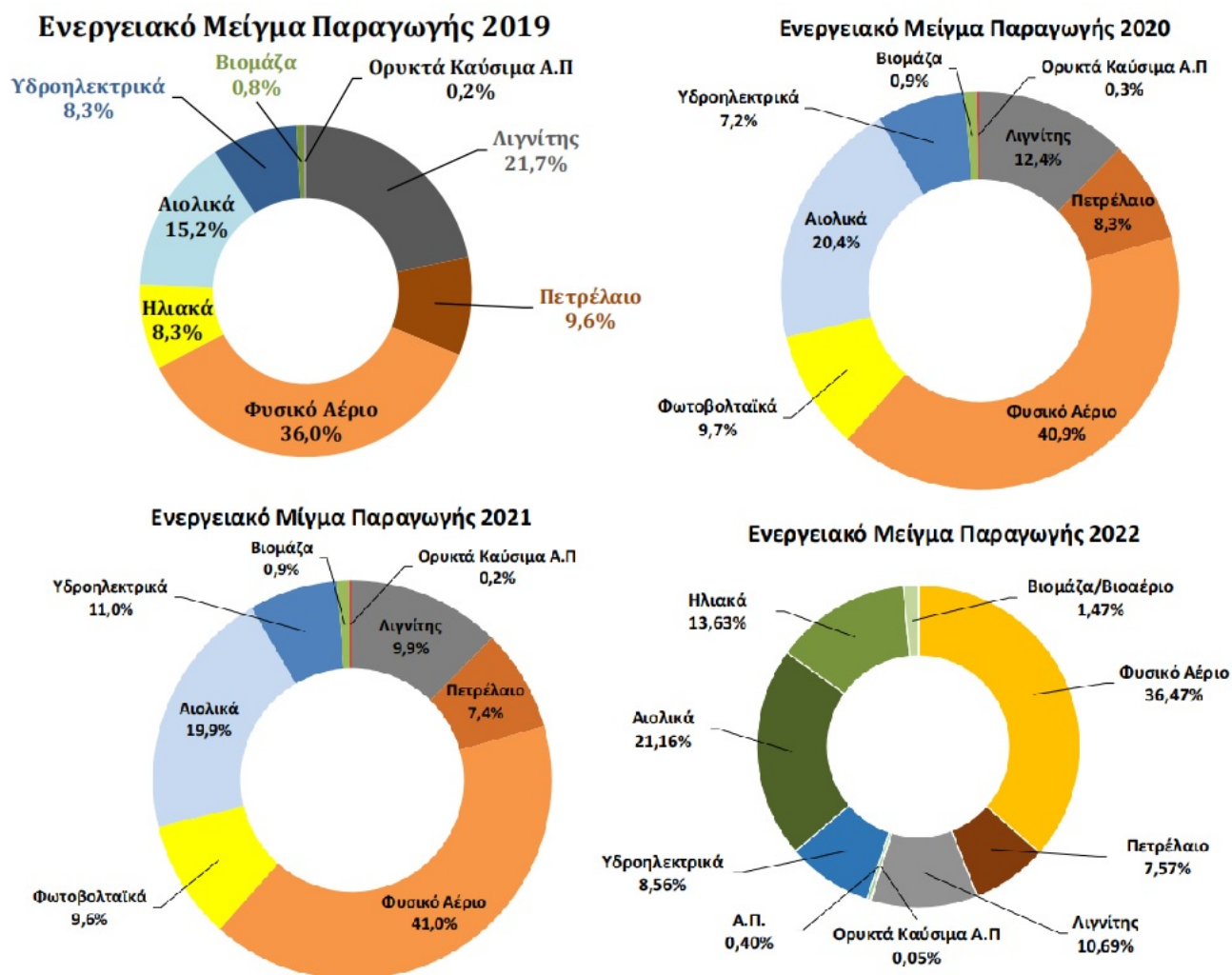
Εικόνα 62. Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την εφαρμογή του CI. Εκπομπές CO₂ από πλοία σε θέση ελλιμενισμού και εκπομπές CO₂ από την παραγωγή της ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την αντικατάσταση της συνολικής ζήτησης ισχύος των βοηθητικών κινητήρων [60].



Εικόνα 63. Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και δυνατότητα μείωσης του CO₂ για όλες τις παράκτιες χώρες του ΕΟΧ και του ΗΒ, εάν όλη η ενεργειακή ζήτηση στο αγκυροβόλιο παρεχόταν μέσω ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά από εθνικά δίκτυα, αντί των βοηθητικών κινητήρων στο αγκυροβόλιο. Συγκριτικά, περιλαμβάνονται οι δύο μεγαλύτεροι λιμένες. Οι κατευθύνσεις των πιθανών επιπτώσεων απεικονίζονται στο πλαίσιο κάτω δεξιά [60].

Η μελέτη των Stoltz et al. χρονολογείται τον 03/2021 και ενδεχομένως να μην έχει αποτυπώσει την εξέλιξη του ενεργειακού μείγματος στην Ελλάδα, ειδικά μεταξύ των ετών 2019 – 2022, όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 64 και τον Πίνακα 75. Παρόλα αυτά είναι ενδεικτική της εξάρτησης της

αποτελεσματικότητας του συστήματος CI από το ενεργειακό μείγμα και της κατεύθυνσης που πρέπει να υπάρχει για την αυξημένη συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.



Εικόνα 64. Εξέλιξη ενεργειακού μείγματος στην Ελλάδα κατά τα έτη 2019 - 2022 [4], [5], [6], [7].

Έτος	Σύνολο ορυκτών καυσίμων		Σύνολο ΑΠΕ		Εκπομπές CO ₂ (g CO ₂ / kWh)
	TWh	%	TWh	%	
2019	32,38	67,49	15,60	32,51	547,11
2020	28,61	61,86	17,64	38,14	405,62
2021	31,47	58,52	22,31	41,48	334,70
2022	28,62	54,79	23,41	44,82	346,42

Πίνακας 75. Συμμετοχή ορυκτών καυσίμων και ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μέσο επίπεδο εκπομπών του CO₂ κατά την ηλεκτροπαραγωγή, [4], [5], [6], [7].

Από τα παραπάνω είναι εμφανής η διαχρονική μείωση των εκπομπών CO₂ ανά παραγόμενη kWh, καθώς και η αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή κατά τα έτη 2019 – 2022.

8. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η εφαρμογή του συστήματος Cold Ironing στον Εμπορικό και Επιβατικό Λιμένα Πειραιώς. Οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό της υφιστάμενης κατάστασης κατά τον ελλιμενισμό (απαίτηση σε ισχύ – κατανάλωση καυσίμου – εκπομπές αέριων ρύπων) ακολούθησαν τις μεθόδους που αναφέρονται στην 4η IMO GHG Μελέτη (2020) και βασίστηκαν σε πρόσφατα δεδομένα ελλιμενισμού (2021 – 2023), με σκοπό τα εξαγόμενα συμπεράσματα να είναι αντιπροσωπευτικά. Η αποτύπωση της επισκεψιμότητας και της απαίτησης σε ισχύ κατά τον ελλιμενισμό στους υπό μελέτη Λιμενικούς Σταθμούς, οδήγησε στη διαστασιολόγηση του συστήματος και την εφαρμογή του μέσω της αποκεντρωμένης τοπολογίας, κυρίως λόγω της αξιοπιστίας, ευελιξίας και δυνατότητας επεκτασιμότητας που αυτή παρουσιάζει, πλέον της οικονομικότερης υλοποίησης που εμφανίζει. Η δε αποτύπωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αέριων ρύπων οδήγησε στην διερεύνηση οικονομικών ωφελειών για το πλοίο και για την ακτή αντιστοίχως. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει περιθώριο στη διαμόρφωση της τιμής πώλησης της παρεχόμενης ενέργειας, ώστε αυτή να κινείται χαμηλότερα του κόστους παραγωγής ενέργειας από τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου και ταυτόχρονα να οδηγήσει σε θετική αξιολόγηση της επένδυσης, μέσω ορισμένης επιδότησης και μειωμένης φορολογίας των εσόδων. Συνεπώς η επένδυση στην εγκατάσταση του συστήματος Cold Ironing θα μπορούσε να οδηγήσει ταυτόχρονα σε οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη και να καταστήσει παράλληλα το Λιμένα Πειραιώς και τα ελλιμενίζοντα πλοία σε ευθυγράμμιση με τους Ευρωπαϊκούς στόχους μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων.

Παράλληλα με τις θετικές επιδόσεις που παρουσιάζει η επένδυση στο σύστημα CI, υπάρχουν αντικειμενικές τεχνο-οικονομικές προκλήσεις που μπορούν να μειώσουν ή και να εξαλείψουν τις αναμενόμενες ωφέλειες. Συγκεκριμένα, οι ωφέλειες από μεριάς πλοίου είναι άμεση συνάρτηση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στην αρχή διαχείρισης του Λιμένος, η οποία μπορεί να παρουσιάσει έντονες μεταβολές και μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τη μελλοντική εξέλιξή της. Επιπρόσθετα, οι ωφέλειες από τη μεριά της ακτής είναι άμεση συνάρτηση των εκπομπών αέριων ρύπων λόγω της ηλεκτροπαραγωγής που λαμβάνει χώρα και συνεπώς υπάρχει έντονη εξάρτηση από το ενεργειακό μείγμα, όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 7. Προφανώς μια αυξημένη συμμετοχή των ΑΠΕ συμβάλει στην εξασφάλιση των ωφελειών ακτής. Στην παραπάνω κατεύθυνση μπορεί να συμβάλει η κάλυψη τμήματος της ζητούμενης ισχύος από εγκαταστάσεις ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά panels) που η αρχή διαχείρισης του Λιμένος θα ιδιοεκμεταλλεύεται. Συνεπώς πρέπει να εξεταστεί το σενάριο κατά το οποίο η αρχή διαχείρισης καθίσταται αυτοπαραγωγός ή ανεξάρτητος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις εντός Λιμένος για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας (αλλά και για την ενδεχόμενη παραγωγή της μέσω ΑΠΕ) στα ελλιμενίζοντα πλοία, καθιστά την αρχή διαχείρισης του Λιμένος, διαχειριστή ηλεκτρικού δικτύου. Συνεπώς η αρχή

διαχείρισης του Λιμένος θα πρέπει σε αυτή την περίπτωση να προσδιορίσει τη θέση της στην αγορά ενέργειας με γνώμονα τη δυνατότητα να τιμολογεί την παρεχόμενη ενέργεια.

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε είναι εμφανές ότι η εφαρμογή του συστήματος CI παρουσιάζει ικανοποιητικές προοπτικές στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κατά τον ελλιμενισμό πλοίων, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη μείωση εκπομπών αέριων ρύπων, ειδικά αν συνδυαστεί με εγκατάσταση ΑΠΕ. Η επένδυση στην εγκατάσταση συστημάτων CI κρίνεται επίσης ελκυστική λόγω της ωρίμανσης των συνθηκών, η οποία έγκειται στην ύπαρξη κοινής τεχνολογικής βάσης μέσω εφαρμογής κοινών κανονισμών, στην εξέλιξη της τεχνολογίας και του εξοπλισμού που σχετίζεται με το CI, στη θέσπιση νομοθεσίας περιορισμού εκπομπών αέριων ρύπων και στην αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα. Συνεπώς, η εν λόγω επένδυση δεν θα οδηγούσε μόνο στην ευθυγράμμιση με τις σχετικές Ευρωπαϊκές οδηγίες, αλλά και σε βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των πολιτών και ενδεχομένως σε οικονομικές ωφέλειες των πλοιοκτητριών εταιρειών.

Βιβλιογραφία

- [1] ΑΔΜΗΕ 2021. Δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης συστήματος μεταφοράς 2021 - 2030 μονογραμμικά διαγράμματα Υ/Σ και ΚΥΤ του συστήματος.
- [2] Αθηναίος Αθηνάδης Ε., 2020. Ανάλυση μεθόδου ηλεκτρικής τροφοδότησης ελλιμενισμένων πλοίων απο την στεριά (Cold Ironing) και εφαρμογή στο καινούριο λιμάνι της Πάτρας.
- [3] Αποστολόπουλος Ι., 2012. Ειδικά Θέματα Χρηματοδοτικής Διοικήσεως.
- [4] ΔΑΠΕΕΠ, 2020, Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2019.
- [5] ΔΑΠΕΕΠ, 2021, Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2020.
- [6] ΔΑΠΕΕΠ, 2022, Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2021.
- [7] ΔΑΠΕΕΠ, 2023, Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα 2022.
- [8] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2015. Κανονισμός 2015/757 για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από θαλάσσιες μεταφορές και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/16/ΕΚ .
- [9] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2014. Οδηγία 2014/94/ΕΕ για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων.
- [10] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2006. Σύσταση 2006/339/ΕΚ για την προώθηση της ηλεκτροδότησης από την ξηρά πλοίων ελλιμενισμένων σε λιμένες της Κοινότητας.
- [11] Κατσαρός Γ., 2021. Διερεύνηση προοπτικών ενεργειακής αναβάθμισης του Λιμένα της Κέρκυρας.
- [12] Κωνσταντινίδης Φ., 2021. Διερεύνηση της Ηλεκτρικής Διασύνδεσης Πλοίων στα Λιμάνια του Λαυρίου και της Καβάλας.
- [13] Πανταζόπουλος Δ., 2017. Διερεύνηση της Ηλεκτρικής Διασύνδεσης Πλοίων στα Λιμάνια του Πειραιά και της Κυλλήνης.
- [14] Σβαρνιάς Π., 2022. Προοπτικές Ανάπτυξης Λιμένων μέσω της Ηλεκτροδότησης Ελλιμενιζόμενων Πλοίων.
- [15] Ballini F., Bozzo R., 2015. Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology.
- [16] Cavotec, 2006. Alternative Maritime Power supply - Shore to ship supply.
- [17] CE Delft, 2016. Cost benefit calculation tool onshore power supply.
- [18] Chatzinikolaou S. et al., 2015. Health externalities of ship air pollution at port – Piraeus port case study.
- [19] Dev P., et al., 2014. Designing Cold Ironing Power Systems.
- [20] Diavatis I., 2019. Development of an application in computational environment for the techno-economic feasibility analysis of the shore-to-ship power connection (SSP - Cold Ironing).
- [21] DNV GL, Maritime Forecast To 2050.

- [22] Doundoulakis E. et al., 2022. Estimation of Air Emissions Externalities Due to Shipping: Analytical methodological framework.
- [23] EMSA, 2022. Guidance on SSE to Port Authorities and Administrations. Part 1: Equipment and Technology.
- [24] EMSA, 2022. Guidance on SSE to Port Authorities and Administrations. Part 2: Planning, Operations and Safety.
- [25] Entec UK Ltd., 2005. Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments.
- [26] Entec UK Ltd., 2010. UK Ship Emissions Inventory.
- [27] ENVIRON International Corporation, 2004. Cold Ironing Cost Effectiveness Study - Port of Long Beach.
- [28] Equasis Statistics. The 2021 World Merchant Fleet.
- [29] Ericsson P., Fazlagic´ I., 2008. Shore - Side Power Supply.
- [30] European Commission, 2020. JRC Technical Report - Quantifying Emissions in the European Maritime Sector.
- [31] European Commission, 2019. Handbook on the external costs of transport.
- [32] European Commission, 2020. Preparatory study on Refrigerated Containers - Task 1 and 2 report - 1: Scope 2: Market users and resources - Preliminary suggestions for policy options.
- [33] European Parliament, 2022. European ports becoming 'fit for 55'.
- [34] Fouré J., Fontagné L., 2016. Long term socio-economic scenarios for Representative Concentration Pathways defining alternative CO2 emission trajectories.
- [35] GEF-UNDP-IMO GloMEEP Project and IAPH, 2018. Port Emissions Toolkit, Guide No.1, Assessment of port emissions.
- [36] Georgiou A., 2021. Feasibility study and Cost Benefit Analysis for an on shore power supply installation in Souda Port.
- [37] ICCT, 2017. Black Carbon Emissions and Fuel Use in Global Shipping.
- [38] IEC IEC/IEEE 80005-1: Utility connections in port - Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems - General requirements.
- [39] IEC IEC/IEEE 80005-2: Utility connections in port - Part 2: High and low voltage shore connection systems - Data communication for monitoring and control.
- [40] IEC IEC PAS 80005-3: Utility connections in port - Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems - General requirements.
- [41] IMO, 2020. Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020.
- [42] JRC, Technical Report, 2022. Quantifying Emissions in the European Maritime Sector.
- [43] Kampylis P., 2016. An Environmental, Technical and Economical Approach for the Use of Shore-Power in Piraeus Port.

- [44] Kriegler E., et al., 2012. The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: A new approach based on shared socio-economic pathways.
- [45] Maragkogianni A. et al., 2015. Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece.
- [46] MARPOL Annex VI - Prevention of Air Pollution from Ships.
- [47] MEPC.308(73) Resolution, 2018. Guidelines On The Method Of Calculation Of The Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) For New Ships.
- [48] Merk O., 2014. Shipping Emissions in Ports.
- [49] Najihah N., et al., 2023. Electrification of onshore power systems in maritime transportation towards decarbonization of ports: A review of the cold ironing technology
- [50] NCEE, 2011. Estimating the Social Cost of Non-CO₂ GHG Emissions: Methane and Nitrous Oxide.
- [51] O'Neill B., 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways.
- [52] Papoutsoglou T., 2012. A cold ironing study on modern ports, implementation and benefits. Thriving for worldwide ports.
- [53] Progiou G. et al., 2021. Air pollutant emissions from Piraeus port: External costs and air quality levels.
- [54] Radu D., Grandidier L., 2012. Shore Connection Technology - Environmental Benefits and Best Practices.
- [55] Riahi K., et al., 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview.
- [56] Sarbanha A.A. et al., 2023. Mitigation of Ship Emissions: Overview of Recent Trends.
- [57] Sciberras E. et al., 2015. Electrical characteristics of cold ironing energy supply for berthed ships.
- [58] Shindell D., 2015. The social cost of atmospheric release.
- [59] SIST SIST IEC 60502-2: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV).
- [60] Stolz B. et al., 2021. The CO₂ reduction potential of shore-side electricity in Europe.
- [61] Takahashi H., et al., Study on Standards for Main Dimensions of the Design Ship - Technical note NILIM no.309.
- [62] Tarnapowicz D., German-Galkin S., 2018. Analysis of the Topology of “Shore to Ship” Systems - Power Electronic Connection of Ships with Land.
- [63] Tarnapowicz D., German-Galkin S., 2020. Energy Optimization of the ‘Shore to Ship’ System - A Universal Power System for Ships at Berth in a Port.

- [64] Tarnapowicz D., German-Galkin S., 2018. International Standardization in the design of “Shore to Ship” - Power Supply Systems in Port.
- [65] Tryviza N., et al., 2018. A novel multi-objective decision support method for ship energy systems synthesis to enhance sustainability.
- [66] Tzannatos E., 2010. Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus - Greece.
- [67] Tzoutsas V., 2020. Techno-economic feasibility study on the electrification of the port of Rafina.
- [68] UNCTAD, 2022. Review on Maritime Transports.
- [69] WPCI, 2010. Carbon Footprinting for Ports - Guidance Document.
- [70] Zis T., 2019. Prospects of cold ironing as an emissions reduction option.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- [71] <https://www.eex.com/en/>
- [72] <https://www.olp.gr/>
- [73] <https://www.pct.com.gr/>
- [74] <https://shipandbunker.com/>
- [75] <https://www.statistics.gr/>