



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας

Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση εξορθολογισμένης διαχείρισης ενεργειακών απαιτήσεων πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους.

Κοροβέσης Αθανάσιος



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας

Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση εξορθολογισμένης διαχείρισης ενεργειακών απαιτήσεων πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους.

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και πρωτίστως τον επιβλέποντα μου, Καθηγητή κύριο Ιωάννη Προυσαλίδη. Θέλω να του εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα διπλωματική εργασία αλλά και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκειά της. Ακόμα τον ευχαριστώ για την εξαιρετική καθοδήγηση, τη συνεργασία και την παροχή πληροφοριών που με βοήθησαν να ολοκληρώσω τη διπλωματική μου εργασία.

Ακόμα, θέλω να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στην οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και την αδιάκοπη ενθάρρυνσή τους που με βοήθησε να μείνω αφοσιωμένος στον στόχο μου.

Εκφράζω επιπλέον τις βαθιές ευχαριστίες μου σε όλους τους ανθρώπους που άμεσα ή έμμεσα παρείχαν τη βοήθεια τους και τη στήριξη τους στην εκπλήρωση αυτού του επιτεύγματος.

Περιεχόμενα

Λίστα Πινάκων	1
Λίστα Εικόνων	3
Περίληψη	5
Abstract.....	6
Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1 : Παρούσα κατάσταση της ναυτιλιακής βιομηχανίας, εκπομπές ρύπων, προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.	8
1.1 Η επίδραση της παγκόσμιας ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση.	8
1.2 Η δράση της σύμβασης MARPOL.....	9
1.3 Στόχοι του IMO.....	11
Κεφάλαιο 2 : Η σημασία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.	12
2.1 Στατιστικά στοιχεία για τη λειτουργία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. .	12
Κεφάλαιο 3: Ορισμός, εφαρμογή και κανονισμοί για το Cold Ironing.	17
3.1 Η έννοια του Cold Ironing.	17
3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της τεχνολογίας.	19
3.3 Κανονισμοί.	20
3.3.1 IEC/IEEE 80005-3:2014.	21
3.3.2 IEC/IEEE 80005-1:2021.	22
3.3.3 IEC/IEEE 80005-2:2016.	25
3.4 Εφαρμογή του Cold Ironing.	26
3.4.1 Κόστος Εγκατάστασης σε Πλοίο και σε Λιμάνι.	26
3.4.2 Υπάρχουσες Εγκαταστάσεις.	29
Κεφάλαιο 4: Ενεργειακές ανάγκες πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.	31
4.1 Αναλυτικά δεδομένα πλοίων.	31
4.2 Μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων και αποτελέσματα.	34
4.2.1 Πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα.	35
4.2.2 Πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα.	38
4.2.3 Στατιστικά στοιχεία και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.	41

Κεφάλαιο 5: Αρχές ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων στα πλοία.	43
5.1 Ρυθμιστικό πλαίσιο και Κανονισμοί.	43
5.2 Το ηλεκτρικό ρεύμα στα πλοία.	44
5.3 Ηλεκτρικός Ισολογισμός.....	46
5.4 Ηλεκτρικά δίκτυα πλοίων.	48
5.4.1 Καλώδια, Ασφάλειες και Διακόπτες.....	48
5.4.2 Υπολογισμός Έντασης Ρεύματος.	51
5.4.3 Πτώση Τάσης Αγωγού.	52
5.4.4 Εύρεση Διατομής Αγωγών.....	53
5.4.5 Διατομή Ζυγών Πινάκων.	58
Κεφάλαιο 6: Μελέτη Βραχυκυκλώματος.	61
6.1 Η έννοια του βραχυκυκλώματος.	61
6.2 Κανονισμοί που διέπουν τα βραχυκυκλώματα.	62
6.3 Προστασία από βραχυκύκλωμα.	62
6.4 Μελέτη βραχυκυκλώματος.	63
6.4.1 Βραχυκύκλωμα σύγχρονων μηχανών.	64
6.4.2 Μέθοδος υπολογισμού βραχυκυκλώματος.....	66
6.4.3 Αντοχή ζυγών τροφοδοσίας πινάκων ισχύος.....	69
Κεφάλαιο 7: Μελέτη Περιπτώσεων.	72
7.1 Τα σενάρια Α και Β.	72
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	79
Ελληνική Βιβλιογραφία	81
Ξένα Βιβλιογραφία	81
Ιστότοποι.....	83
Παράρτημα Α.....	84
Παράρτημα Β.....	91

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Τα πλοία του παγκόσμιου στόλου κατανεμημένα ανά είδος και μέγεθος (Πηγή: Equasis)	15
Πίνακας 2: Επεξηγηματικό υπόμνημα για την Εικόνα 6	22
Πίνακας 3: Επεξηγηματικό Υπόμνημα για την Εικόνα 7	24
Πίνακας 4: Επεξηγηματικό Υπόμνημα για την Εικόνα 8	25
Πίνακας 5: Αναλυτικός πίνακας με τα δεδομένα των πλοίων	32
Πίνακας 6: Αναλυτικός πίνακας με τα δεδομένα των πλοίων (συνέχεια)	33
Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων για τα υπό μελέτη πλοία που διαθέτουν φορτοεκφορτωτικά μέσα	35
Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων για τα υπό μελέτη πλοία που δεν διαθέτουν φορτοεκφορτωτικά μέσα	38
Πίνακας 9: Επεξηγηματικό υπόμνημα για την Εικόνα 19	50
Πίνακας 10: Τυποποιημένες τιμές διακοπών και ασφαλειών σε Ampere (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης).....	50
Πίνακας 11: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για διαφορετικές διατομές και μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας 80°C και 85°C (Πηγή: DNV GL).....	55
Πίνακας 12: Διορθωτικοί συντελεστές αγωγών για διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας και περιβάλλοντος (Πηγή: DNV GL).....	57
Πίνακας 13: Τυποποιημένες διατομές ζυγών με την αντίστοιχη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή έντασης ρεύματος (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)	59
Πίνακας 14: Επεξηγηματικό υπόμνημα για την Εικόνα 22	64
Πίνακας 15: Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου 5	72
Πίνακας 16: Διαστασιολόγηση ζυγού για το σενάριο Α.....	73
Πίνακας 17: Μελέτη βραχυκυκλώματος για το σενάριο Α	74
Πίνακας 18: Μελέτη αντοχής ζυγών για το σενάριο Α.....	75
Πίνακας 19: Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου 33	76
Πίνακας 20: Διαστασιολόγηση ζυγού για το σενάριο Β.....	76
Πίνακας 21: Μελέτη βραχυκυκλώματος για το σενάριο Β	77
Πίνακας 22: Μελέτη αντοχής ζυγών για το σενάριο Β.....	78
Πίνακας 23: Λίστα των Ευρωπαϊκών λιμανιών που διαθέτουν εγκαταστάσεις Cold Ironing	88
Πίνακας 24: Λίστα των Αμερικάνικων λιμανιών που διαθέτουν εγκαταστάσεις Cold Ironing ...	89
Πίνακας 25: Λίστα των Ασιατικών λιμανιών που διαθέτουν εγκαταστάσεις Cold Ironing	90
Πίνακας 26: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για διαφορετικές διατομές και μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας 60°C και 75°C (Πηγή: DNV GL).....	92

Πίνακας 27: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για διαφορετικές διατομές και μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας 90°C και 95°C (Πηγή: DNV GL)..... 93

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Περιοχές SECA (Πηγή: DNVGL)	10
Εικόνα 2: Στόχοι του IMO μέχρι το έτος 2050 (Πηγή: UKPANDI)	11
Εικόνα 3: Παγκόσμια κατανάλωση καυσίμου HFO από τα πλοία μετρούμενη σε τόνους για την κατανομή βάσει ταξιδιού (Πηγή: Fourth IMO GHG Study)	13
Εικόνα 4: Παγκόσμια ισοδύναμη κατανάλωση καυσίμου σε HFO ανά τύπο πλοίου και ανά καταναλωτή εκφρασμένη σε χιλιάδες τόνους (Πηγή: Fourth IMO GHG Study)	14
Εικόνα 5: Τυπική διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου συστήματος Cold Ironing (Πηγή: ResearchGate)	18
Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής τυπικής διάταξης συστήματος LVSC (Πηγή: IEC/IEEE 80005-3:2014)	21
Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής τυπικής διάταξης συστήματος HVSC (Πηγή: IEC/IEEE 80005-1:2019)	23
Εικόνα 8: Μονογραμμικό διάγραμμα ισχύος (Πηγή: IEC/IEEE 80005-2:2016)	25
Εικόνα 9: Υλοποίηση ολοκληρωμένου συστήματος Cold Ironing (Πηγή: Seier Nico)	26
Εικόνα 10: Εγκατάσταση ενός συστήματος Cold Ironing σε Container (Πηγή: ErmaFirst)	28
Εικόνα 11: Σύστημα τροφοδοσίας ρεύματος από τη στεριά (Πηγή: World Port Sustainability Program)	28
Εικόνα 12: Τοποθεσίες εγκαταστάσεων Cold Ironing (Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή)	29
Εικόνα 13: Τοποθεσίες εγκαταστάσεων Cold Ironing στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Πηγή: EPA)	30
Εικόνα 14: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσεως του πλήθους TEU για πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα	36
Εικόνα 15: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσεως του DWT για πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα	36
Εικόνα 16: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσεως του Ολικού Μήκους για πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα	37
Εικόνα 17: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσεως του πλήθους TEU για πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα	39
Εικόνα 18: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσεως του DWT για πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα	39
Εικόνα 19: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσεως του Ολικού Μήκους για πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα	40
Εικόνα 20: Γράφημα πίτας για τις τάσεις λειτουργίας των γεννητριών	41
Εικόνα 21: Γράφημα πίτας για τη διαθεσιμότητα μέσω φορτοεκφόρτωσης	41
Εικόνα 22: Σύγκριση Ισχύος	42
Εικόνα 23: Διατομή καλωδίου ναυτικού τύπου (Πηγή: Hellenic Cables)	50

Εικόνα 24: Διαφορετικές διατομές καλωδίων ναυτικού τύπου ανάλογα με το πλήθος των πόλων τους (Πηγή: Lygycable)	56
Εικόνα 25: Σύνδεση ζυγών πινάκων και απεικόνιση τριφασικής διάταξης (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης).....	60
Εικόνα 26: Τυπική κυματομορφή ρεύματος βραχυκυκλώματος σύγχρονης μηχανής (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)	64
Εικόνα 27: Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας σε βραχυκύκλωμα. Από αριστερά προς τα δεξιά διακρίνονται οι υπομεταβατική κατάσταση, η μεταβατική κατάσταση και η μόνιμη κατάσταση (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)	65
Εικόνα 28: Διάταξη χάλκινων ζυγών πίνακα για ένταση ρεύματος 1500Α (Πηγή: Wikipedia) ...	69

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογείται η χρήση της τεχνολογίας του Cold Ironing ως μέσο για την μείωση των αέριων ρύπων που προκαλούνται από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα σε όλο τον κόσμο. Πραγματοποιείται εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών 35 πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατά τον ελλιμενισμό τους με στόχο την διαστασιολόγηση του πίνακα διασύνδεσης ξηράς.

Αρχικά, γίνεται μία ανάλυση της παρούσας κατάστασης της ναυτιλίας σε παγκόσμιο επίπεδο και εν συνεχεία του τρόπου με τον οποίο αυτή επηρεάζει τους ανθρώπους αλλά και το φυσικό περιβάλλον. Αναφέρεται ακόμα η πορεία την οποία θα ακολουθήσει η ναυτιλία τα επόμενα χρόνια με γνώμονα την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, όπως αυτή ορίζεται από τα υπεύθυνα ρυθμιστικά όργανα.

Ύστερα, τεκμηριώνεται η βαρύνουσα σημασία που έχουν τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο ενώ ακολούθως παρουσιάζεται η τεχνολογία του Cold Ironing με τα χαρακτηριστικά της και την ικανότητα της να αποτελεί μια ικανοποιητική περιβαλλοντικά φιλική λύση. Στο πλαίσιο αυτό, περιγράφεται πλήρως η αντίστοιχη νομοθεσία η οποία διέπει τις εγκαταστάσεις των μονάδων Cold Ironing.

Στη συνέχεια της εργασίας, παρουσιάζονται τα δεδομένα των πλοίων από τα οποία εξήχθησαν όλα τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα. Η επεξεργασία αυτών, οδήγησε στην δημιουργία ενός τρόπου εκτίμησης των ενεργειακών αναγκών κατά την παραμονή στο λιμάνι που εν δυνάμει επεκτείνεται σε όλα τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Για την εκτέλεση των απαιτούμενων υπολογισμών, γίνεται ανασκόπηση των γενικών αρχών των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων στα πλοία σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς. Συμπεριλαμβάνεται ανάλυση των ηλεκτρικών δικτύων και παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού του ρεύματος γραμμής και κατ' επέκταση ο τρόπος υπολογισμού της διατομής των αγωγών και της διατομής των ζυγών του πίνακα. Επιπρόσθετα, εκτελείται μελέτη για την προστασία από βραχυκύκλωμα καθώς και μελέτη της αντοχής των ζυγών του πίνακα.

Τέλος, παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις εγκαταστάσεων, μία μεγαλύτερη του 1 MW και μία μικρότερη στις οποίες εφαρμόζονται όλες οι παραπάνω μεθοδολογίες με τα αντίστοιχά τους αποτελέσματα για την πλήρη διαστασιολόγηση του πίνακα διασύνδεσης.

Abstract

This thesis evaluates the use of Cold Ironing technology as a means to reduce air pollutants caused by shipping activity around the world. An assessment of the energy demands of 35 container ships while at berth is carried out, to determine the size of the shore connection panel.

First, an analysis is made of the current state of shipping worldwide and how it affects people and the natural environment. It also outlines the course that global shipping will be taking in the upcoming years in terms of environmental sustainability, as defined by the responsible regulatory bodies.

Then, the importance of container ships in the global energy balance is documented, followed by the presentation of the Cold Ironing technology with its characteristics and its ability to constitute a satisfactory environmentally friendly solution. In this context, the relevant legislation governing the installations of Cold Ironing plants is fully described.

The paper goes on to present the ship data from which all the results and conclusions were drawn. The processing of these has led to the development of a way of estimating energy needs while at port that can potentially be extended to all container ships.

In order to perform the required calculations, the general principles of electrical installations on ships are reviewed in accordance with the relevant regulations. An analysis of the electrical networks is included and the methodology for calculating the current and, by extension, the method of calculating the cross-section of the conductors and the cross-section of the panel busbars is presented. In addition, a study of short-circuit protection and a study of the strength of the panel busbars is carried out.

Finally, two cases of installations are presented, one larger than 1 MW and one smaller, in which all the above methodologies are applied with their respective results for the complete sizing of the shore connection panel.

Εισαγωγή

Τα ποντοπόρα πλοία αποτελούν κρίσιμο μέρος του παγκόσμιου εμπορίου και της μεταφοράς αγαθών, καθώς και μια από τις μεγαλύτερες και πιο δύσκολα ελεγχόμενες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον κόσμο. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, ο όγκος του παγκόσμιου εμπορίου στη θάλασσα θα τριπλασιαστεί έως το 2025 σε σύγκριση με το 2008. Όσον αφορά την ισχύ, τα πλοία αυτά είναι συγκρίσιμα με πλωτά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και αν οι εκπομπές τους είχαν παραχθεί στην ξηρά, αναμφισβήτητα θα υπόκειντο σε αυστηρότερους νόμους. Τα πλοία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν βρίσκονται στο λιμάνι, χρησιμοποιώντας τις βοηθητικές μηχανές ντίζελ για τις εργασίες εκφόρτωσης, φόρτωσης αλλά και για όλες τις άλλες διεργασίες που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια όπως ο φωτισμός, τα συστήματα ναυσιπλοΐας, τα βοηθητικά μηχανήματα και άλλα. Συνήθως, οι κύριες μηχανές απενεργοποιούνται λίγο μετά τον ελλιμενισμό. Το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιεί μαζούτ για την λειτουργία της κύριας μηχανής αλλά και των ηλεκτρογεννητριών, ένα καύσιμο με πολύ κακή ποιότητα. Είναι γνωστό ότι το καύσιμο των πλοίων έχει 2.700 φορές περισσότερο θείο από την κανονική βενζίνη, καθιστώντας τη ναυτιλία, μαζί με την αεροπορία, τον μεγαλύτερο παραγωγό ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση της ρύπανσης που προκύπτει από τα πλοία κατά τον ελλιμενισμό τους είναι η δημιουργία μιας υποδομής ικανής να τροφοδοτεί τα πλοία με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο και μπορεί να προέρχεται ακόμα και από πράσινες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Κεφάλαιο 1 : Παρούσα κατάσταση της ναυτιλιακής βιομηχανίας, εκπομπές ρύπων, προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

1.1 Η επίδραση της παγκόσμιας ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Στο πλαίσιο της εμπορικής ναυτιλίας, όπου η συντριπτική πλειοψηφία εξυπηρετείται από μεγάλους δίχρονους ναυτικούς κινητήρες, οι εκπομπές αέριων ρύπων εξαιτίας της καύσης ορυκτών καυσίμων αποτελούν αντικείμενο δημόσιας προσοχής. Τα καυσαέρια που εκλύονται από τους κινητήρες ντίζελ αποτελούνται από το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τους υδρογονάνθρακες, τα οξείδια του θείου (SO_x), το άζωτο και τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα σωματίδια ατμοσφαιρικού αερολύματος (Particulate Matter - PM), τους υδρατμούς και το οξυγόνο. Το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και τα οξείδια του αζώτου συγκαταλέγονται στους αέριους ρύπους που συνεισφέρουν στην εξάπλωση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Greenhouse Effect). Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει σοβαρό αντίκτυπο στο περιβάλλον και τις φυσικές του διεργασίες με αποτέλεσμα να επηρεάζει αρνητικά και συχνά σε πολύ μεγάλο βαθμό την φυσική τάξη και κατ' επέκταση την ποιότητα διαβίωσης του ανθρώπου, τη χλωρίδα και την πανίδα.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην ποιότητα του εισπνεόμενου αέρα η οποία αποτελεί ζήτημα υψίστης σημασίας τόσο για τον άνθρωπο όσο και για όλα τα έμβια όντα στη γη. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας στην ξηρά αλλά και στη θάλασσα, προκαλούμενη από δραστηριότητες όπως η μετακίνηση ανθρώπων και προϊόντων ή η βιομηχανική παραγωγή. Ακόμη και καθημερινές ενέργειες όπως ο φωτισμός και η θέρμανση συμβάλλουν σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Είναι αλήθεια ότι κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για τη μείωση της ποσότητας της ρύπανσης που προκύπτει από την ανθρώπινη δραστηριότητα στη στεριά. Ωστόσο, σε σύγκριση με τις χερσαίες δραστηριότητες, η διεθνής ναυτιλία έχει μέχρι στιγμής μείνει πίσω στην ανάπτυξη περιβαλλοντικών κανόνων. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι χερσαίοι πόροι βρίσκονται πιο κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές από ό,τι η διεθνής ναυτιλία, της οποίας η συμβολή στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι σαφώς μικρότερη.

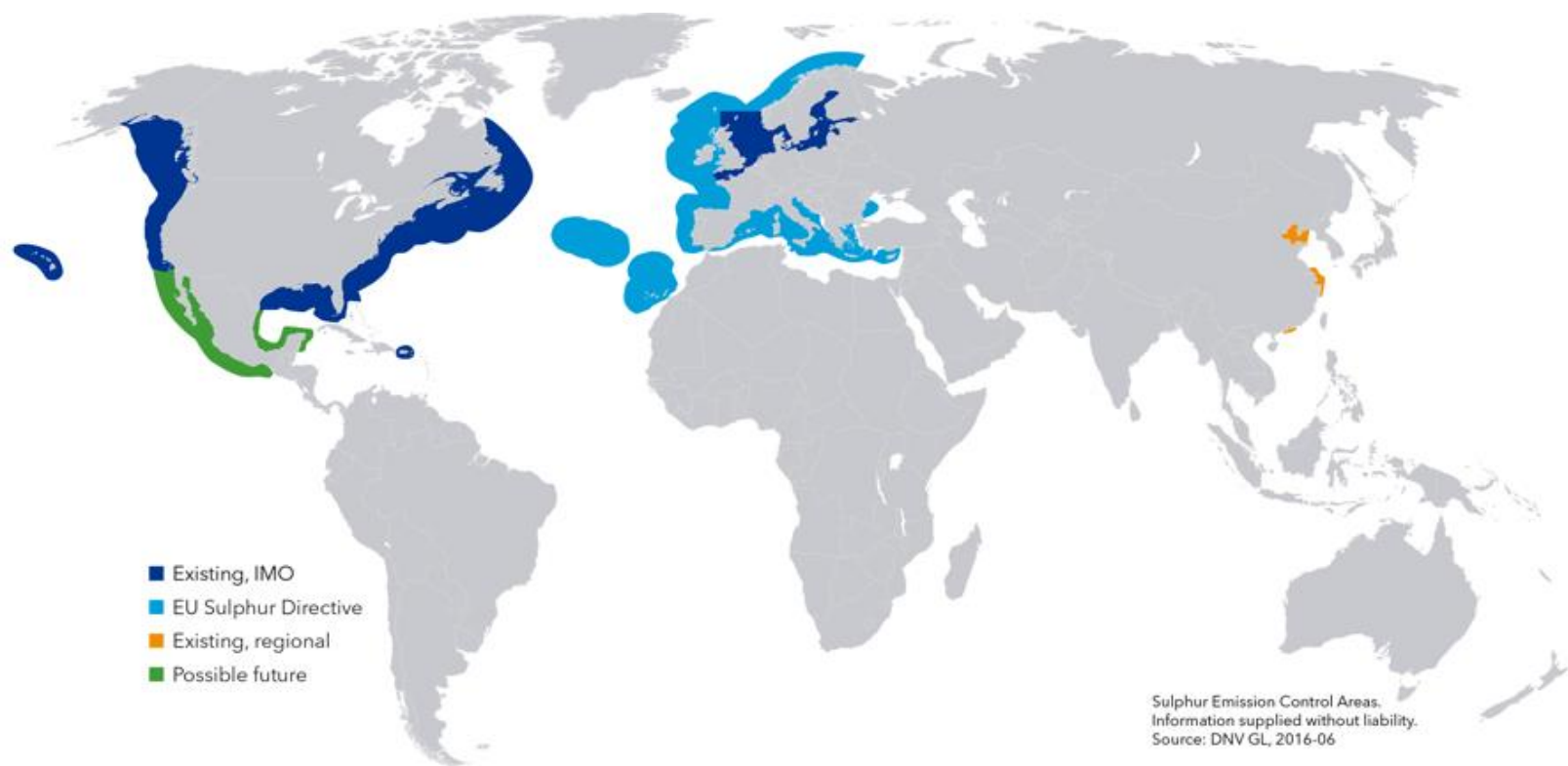
Οι λιμένες θεωρούνται κόμβοι εμπορικής αλλά και οικονομικής δραστηριότητας που χρησιμεύουν ως κύρια σημεία εισόδου και εξόδου για τα εισαγόμενα και εξαγόμενα αγαθά σε παγκόσμιο επίπεδο. Επειδή μπορούν να λειτουργούν με τα φθηνότερα, χαμηλότερης ποιότητας καύσιμα και να παραμένουν για πολλά χρόνια σε λειτουργία, οι μηχανές των πλοίων είναι εκπληκτικά καλά κατασκευασμένες. Αν και από την άποψη ενός επιχειρηματία ή ενός πλοιοκτήτη αυτό αποτελεί πλεονέκτημα, εντούτοις είναι καταστροφικό για την ποιότητα του αέρα και τη δημόσια υγεία σε κάθε περιοχή όπου υπάρχουν πλοία. Αποτελεί γεγονός ότι η

συντριπτική πλειοψηφία των ανθρώπων αντιλαμβάνεται την ποσότητα των εκπομπών αέριων ρύπων των πλοίων μόνο όταν επισκέπτονται ένα πολυσύχναστο λιμάνι και αγνοεί τις εκπομπές που δημιουργούνται όταν το πλοίο ταξιδεύει σε ανοικτά ύδατα. Προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και άλλων αέριων ρύπων από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οχήματα και δημόσιες συγκοινωνίες, η ευρωπαϊκή και η διεθνής νομοθεσία έχει εφαρμόσει αυστηρότερους κανονισμούς. Η τάση για αυστηροποίηση των κανονισμών περί ατμοσφαιρικής ρύπανσης μεταφέρθηκε και στην ναυτιλιακή δραστηριότητα με το κανονιστικό πλαίσιο να αναθεωρείται συνεχώς αλλά και να εξελίσσεται με την υιοθέτηση ολοένα και περισσότερων διατάξεων που κατευθύνουν τη βιομηχανία σε μια φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία.

1.2 Η δράση της σύμβασης MARPOL.

Το πρωτόκολλο με το οποίο εγκρίθηκε η προσθήκη του παρατήματος VI της σύμβασης MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships - Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της Ρύπανσης από πλοία) το 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου του 2005 ασχολείται ρητά με την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τα πλοία. Οι θαλάσσιες μεταφορές ευθύνονται για το 5-8% των παγκόσμιων εκπομπών SO_x και το 15% των εκπομπών NO_x, ενώ η ρύπανση από σωματίδια από τη ναυτιλία κοντά σε λιμάνια και ακτογραμμές έχει συνδεθεί με θανάτους από αναπνευστικές ασθένειες.

Το επικαιροποιημένο παράρτημα VI της MARPOL, το οποίο περιλαμβάνει προσδιορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών θείου (SECA – Sulfur Emission Control Areas) όπου ισχύουν αυστηρότεροι περιορισμοί, είναι ο τρόπος με τον οποίο ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO) ελέγχει τα μέγιστα όρια θείου στα καύσιμα. Η Βαλτική Θάλασσα, η Βόρεια Θάλασσα, η περιοχή ελέγχου εκπομπών της Καραϊβικής των ΗΠΑ και η περιοχή ελέγχου εκπομπών της Βόρειας Αμερικής (ECA – Emission Control Areas), η οποία εκτείνεται σε απόσταση 200 ναυτικών μιλίων από τις ακτές των ΗΠΑ και του Καναδά, είναι όλες οι τρέχουσες περιοχές SECA. Οι δύο τελευταίες περιοχές ECA έχουν επίσης επιβάλει όρια στις εκπομπές PM και NO_x. Ο καθολικός ενστερνισμός των επιβληθέντων κανόνων έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση των αέριων ρύπων που εκλύονται από τα ελλιμενιζόμενα πλοία ειδικά όσων βρίσκονται κοντά ή ακόμα και εντός κατοικημένων περιοχών βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την ποιότητα ζωής και προστατεύοντας την υγεία των ανθρώπων.

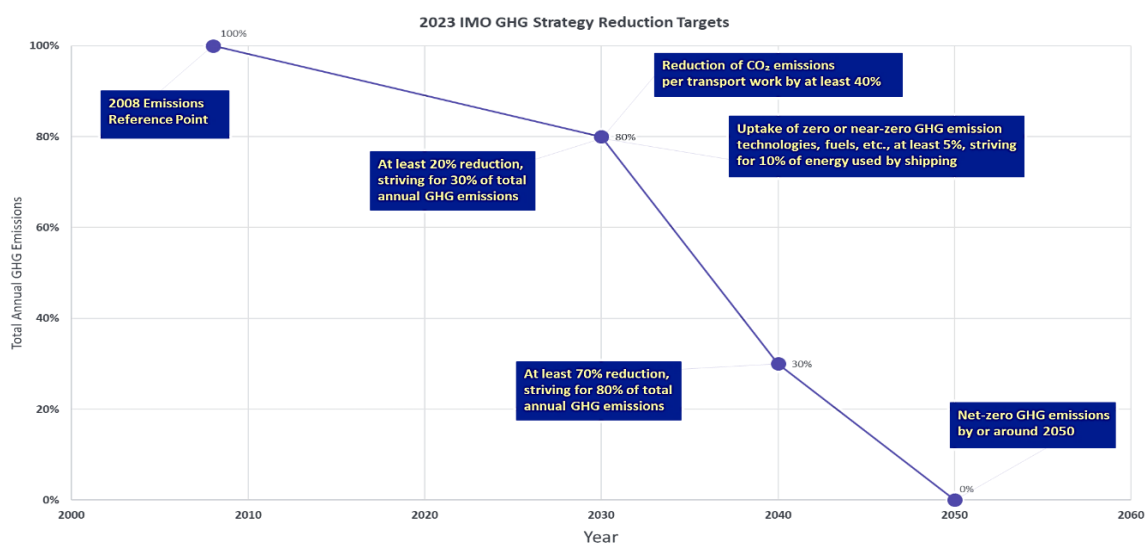


Εικόνα 1: Περιοχές SECA (Πηγή: DNVGL)

1.3 Στόχοι του IMO.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός στις 15 Ιουλίου του 2011 θέσπισε τους πρώτους υποχρεωτικούς κανονισμούς βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων με στόχο την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από την λειτουργία τους παγκόσμια. Έκτοτε, η προσπάθεια βελτιστοποίησης της λειτουργίας των πλοίων συνεχώς εντείνεται. Η δράση και το όραμα του IMO για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τη διεθνή ναυτιλία (Green House Gases – GHG) συνοψίζεται στους παρακάτω στόχους:

- Επίτευξη μηδενικής εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050.
- Μείωση των εκπομπών ρύπων CO₂ ανά μεταφορικό έργο κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 2008.
- Υιοθέτηση τεχνολογιών, καυσίμων και πηγών ενέργειας με μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που να αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 5%, με στόχο το 10%, της ενέργειας που χρησιμοποιείται έως το 2030.
- Καθορισμός ενδεικτικών σημείων ελέγχου για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:
 - i. Μείωση των συνολικών ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20%, με επιδίωξη 30%, έως το 2030 σε σύγκριση με το 2008
 - ii. Μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 70%, με επιδίωξη 80% έως το 2040, σε σύγκριση με το 2008.



Εικόνα 2: Στόχοι του IMO μέχρι το έτος 2050 (Πηγή: UKPANDI)

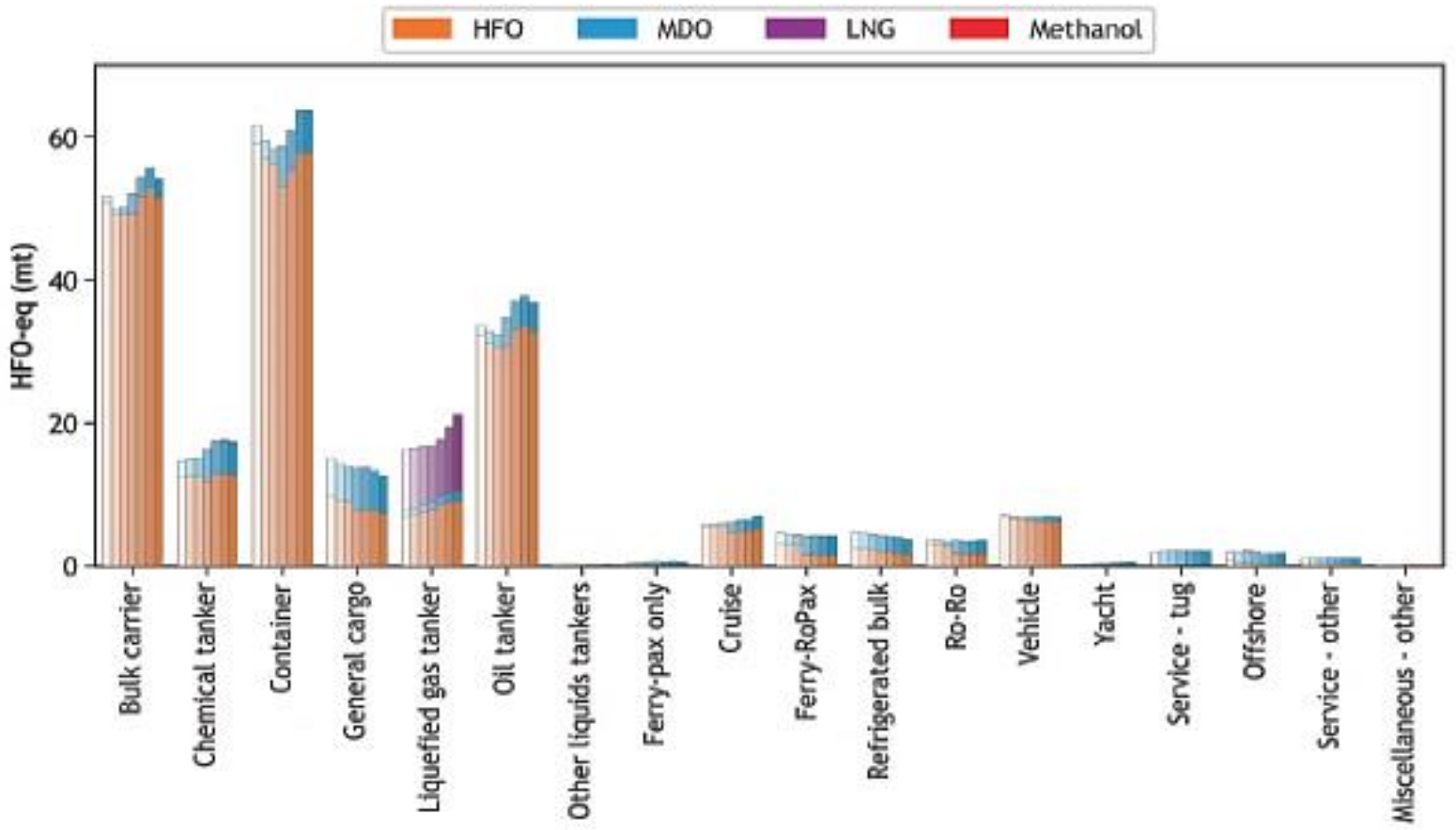
Κεφάλαιο 2 : Η σημασία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

2.1 Στατιστικά στοιχεία για τη λειτουργία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

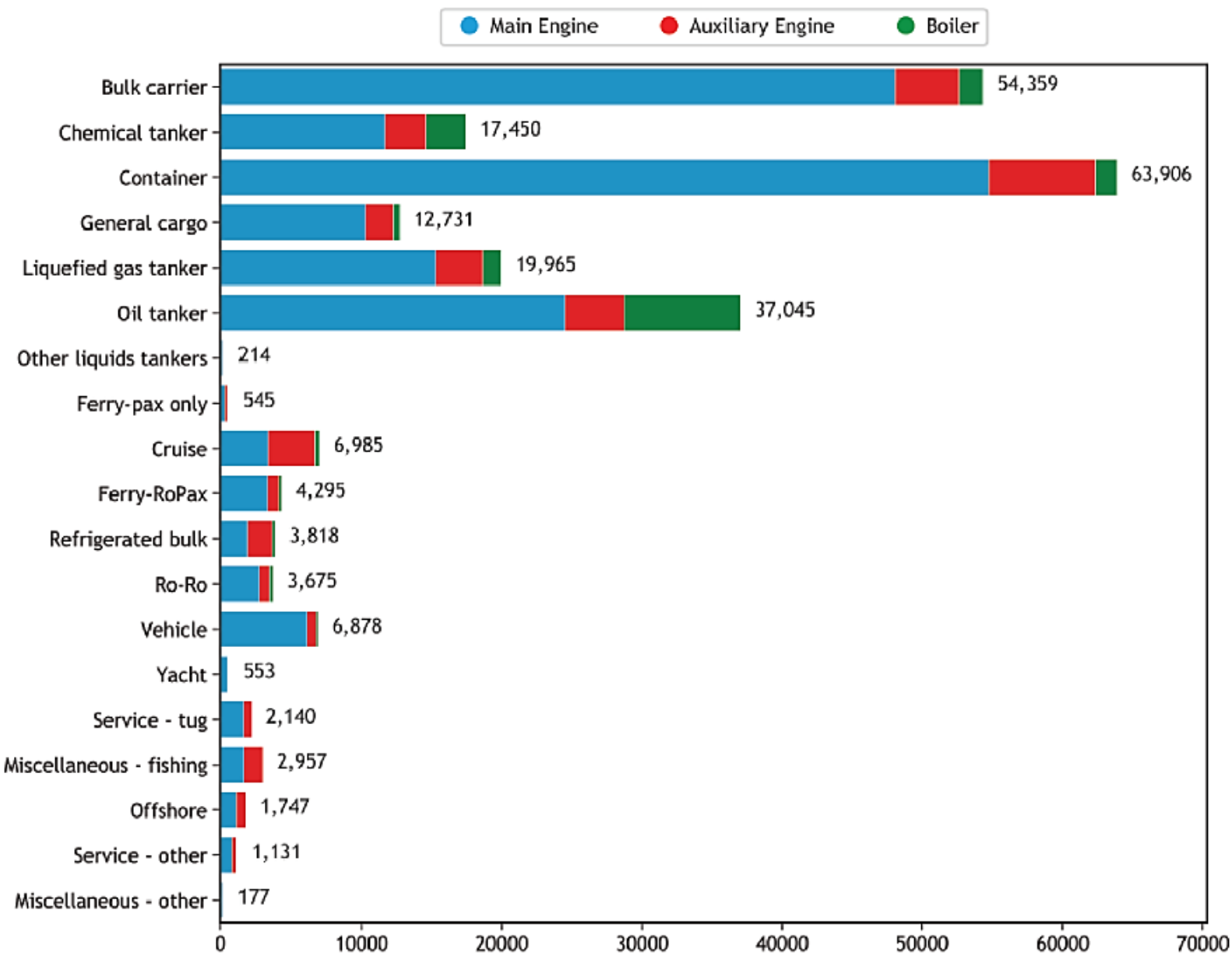
Σύμφωνα με την τέταρτη μελέτη για τα αέρια του θερμοκηπίου (Fourth GHG Study, IMO, 2020), το ποσοστό της ατμοσφαιρικής μόλυνσης που οφείλεται στις εκπομπές της παγκόσμιας ναυτιλιακής δραστηριότητας αυξήθηκε από 2,76% το έτος 2012 σε 2,89% το έτος 2018. Κατά το ίδιο χρονικό διάστημα σημειώθηκε αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα από 701 εκατομμύρια τόνους σε 740 εκατομμύρια τόνους αντιστοιχώντας σε ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 4,5%.

Για κάθε έτος από το 2012 έως το 2018, διακρίνεται η αναμενόμενη κατανομή της κατανάλωσης καυσίμων ανά τύπο πλοίου. Τρεις τύποι πλοίων - τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container Ships), τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (Bulk Carriers) και τα πετρελαιοφόρα (Tankers)- παραμένουν οι μεγαλύτεροι συντελεστές των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της διεθνούς ναυτιλίας κατά τη διάρκεια της μελέτης. Σε συνδυασμό με τα πλοία γενικού φορτίου, τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών και τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένου αερίου, οι κατηγορίες αυτές των πλοίων ευθύνονται για το 86,5% του συνόλου των εκπομπών της διεθνούς ναυτιλίας. Η εκτίμηση αυτή προέκυψε με γνώμονα ένα μοντέλο κατανομής ανά ταξίδι και όχι ένα μοντέλο κατανομής ανά διαφορετικό πλοίο. Το μοντέλο κατανομής ανά ταξίδι ορίζει ως διεθνείς εκπομπές ρύπων εκείνες που προέκυψαν σε ένα ταξίδι μεταξύ δύο λιμανιών σε δύο διαφορετικές χώρες. Τα αποτελέσματα της μελέτης παρουσιάζονται και υπό τη μορφή διαγράμματος όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Το βαρύ μαζούτ (Heavy Fuel Oil - HFO) εξακολουθεί να είναι το προτιμώμενο καύσιμο για τη διεθνή ναυτιλία (79% το 2018, σύμφωνα με την κατανομή βάσει ταξιδιού). Ωστόσο, στην προσπάθεια συμμόρφωσης με το αυστηρότερο κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων ρύπων, το μείγμα καυσίμων έχει υποστεί σημαντικές προσαρμογές. Το ποσοστό της κατανάλωσης HFO μειώθηκε κατά περίπου 7%, ενώ τα ποσοστά της κατανάλωσης ναυτιλιακού ντίζελ (MDO) και υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) αυξήθηκαν, κατά 6% και 0,9%, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η χρήση της μεθανόλης ως καύσιμο αυξήθηκε και θεωρείται πλέον το τέταρτο σημαντικότερο καύσιμο, με την κατανάλωση στα διεθνή ταξίδια να φτάνει περίπου τους 130.000 τόνους το 2018.



Εικόνα 3: Παγκόσμια κατανάλωση καυσίμου HFO από τα πλοία μετρούμενη σε τόνους για την κατανομή βάσει ταξιδιού (Πηγή: Fourth IMO GHG Study)



Εικόνα 4: Παγκόσμια ισοδύναμη κατανάλωση καυσίμου σε HFO ανά τύπο πλοίου και ανά καταναλωτή εκφρασμένη σε χιλιάδες τόνους (Πηγή: Fourth IMO GHG Study)

Από τα δεδομένα που παρουσιάζονται στις ανωτέρω εικόνες παρατηρείται εύκολα η συμμετοχή των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στην αέρια ρύπανση. Κατέχουν την πρώτη θέση σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προερχόμενων από την λειτουργία της κύριας μηχανής τους λόγω της υψηλής ταχύτητας με την οποία συνηθίζεται να ταξιδεύουν σε σχέση με άλλους τύπους πλοίων. Παράλληλα όμως διατηρούν και το υψηλότερο ποσοστό εκλυόμενων ρύπων και από την λειτουργία των ηλεκτρομηχανών τους. Αυτό αποδίδεται στην μεταφορά ψυχόμενων εμπορευματοκιβωτίων (Reefer Containers) αλλά και στην αναγκαιότητα για ρεύμα κατά τις

διεργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης, οι οποίες για λόγους εξοικονόμησης χρόνου πρέπει να εκτελούνται ταχύτατα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάζονται από το πληροφοριακό σύστημα Equasis, ένα σύστημα που συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με την ασφάλεια των πλοίων από δημόσιες και ιδιωτικές πηγές και δημιουργήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τη Γαλλική Ναυτιλιακή Διοίκηση, το 2021 ο παγκόσμιος στόλος απαριθμούσε 118.928 πλοία. Ο συνολικός αριθμός και η χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου μετράται σε κόρους Ολικής Χωρητικότητας (Gross Tonnage – GT) και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος Πλοίου	GT < 500		500 ≤ GT < 25000		25000 ≤ GT < 60000		GT ≥ 60000		Σύνολο	
	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό	Αριθμός	Ποσοστό
General Cargo Ships	4.089	7,4%	11.814	27,0%	264	2,1%	-	-	16.167	13,6%
Specialized Cargo Ships	8	0,0%	266	0,6%	64	0,5%	7	0,1%	345	0,3%
Container ships	19	0,0%	2.315	5,3%	1.629	12,7%	1.554	22,2%	5.517	4,6%
Ro-Ro Cargo Ships	39	0,1%	601	1,4%	549	4,3%	268	3,8%	1.457	1,2%
Bulk Carriers	286	0,5%	3.847	8,8%	6.842	53,5%	1.899	27,1%	12.874	10,8%
Oil and Chemical Tankers	1.979	3,6%	7.372	16,9%	2.773	21,7%	2.185	31,2%	14.309	12,0%
Gas Tankers	36	0,1%	1.145	2,6%	433	3,4%	591	8,4%	2.205	1,9%
Other Tankers	437	0,8%	741	1,7%	16	0,1%	-	-	1.194	1,0%
Passenger Ships	3.435	6,2%	825	1,9%	71	0,6%	187	2,7%	4.518	3,8%
Offshore Vessels	2.812	5,1%	5.135	11,7%	119	0,9%	298	4,3%	8.364	7,0%
Service Ships	3.107	5,8%	2.004	6,8%	35	0,3%	7	0,1%	6.233	5,2%
Tugs	18.860	34,1%	933	2,1%	-	-	-	-	19.793	16,6%
Fishing Vessels	20.186	36,4%	5.762	13,2%	4	0,0%	-	-	25.952	21,8%
Total	55.383	100,0%	43.750	100,0%	12.799	100,0%	6.996	100,0%	118.928	100,0%

Πίνακας 1: Τα πλοία του παγκόσμιου στόλου κατανομημένα ανά είδος και μέγεθος (Πηγή: Equasis)

Από τα δεδομένα του πίνακα παρατηρείται το πλήθος των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων το οποίο αριθμεί 5.517 μονάδες στο σύνολο. Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί ότι τα 3.183 εξ αυτών είναι μεγαλύτερα των 25.000 GT. Από τα 3.183 αυτά πλοία το 48,8% έχουν ολική χωρητικότητα μεγαλύτερη των 60.000 GT. Συνεπώς ο αντίκτυπος που έχουν στην παγκόσμια εμπορική ναυτιλία τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι πολύ ισχυρός. Η έλλειψη μεταφορικής ικανότητας της ναυτιλίας, οι συνεχιζόμενες καθυστερήσεις που προκάλεσε η πανδημία του COVID-19 και η κατακόρυφη αύξηση του όγκου του εμπορίου συνέβαλαν στο ρεκόρ υψηλών ναύλων των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων του 2021. Οι ναύλοι έφτασαν στο αποκορύφωμά τους σε τετραπλάσια επίπεδα από αυτά πριν το ξέσπασμα της πανδημίας στα μέσα του 2021. Παρά το πρόσθετο κόστος, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατάφεραν να δημιουργήσουν κέρδη ρεκόρ όπως καταγράφεται από την έκθεση που προέκυψε από τη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το εμπόριο και την ανάπτυξη (UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development) με τίτλο «Ανασκόπηση των Θαλάσσιων Μεταφορών» (“Review of Maritime Transport”).

Συνδυάζοντας τα στοιχεία που έχουν ήδη παρατεθεί, συμπεραίνεται ότι τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με το πλήθος τους αλλά και τον συνήθη τρόπο λειτουργίας τους αποτελούν μια τεράστια κατηγορία για την παγκόσμια ναυτιλία τόσο στην εμπορική τους δραστηριότητα, όσο και στην συμμετοχή τους στην αέρια ρύπανση. Για τον λόγο αυτό είναι καίριο να δοθεί έμφαση στους τρόπους με τους οποίους δύναται να μειωθεί η εκπομπή ρύπων γενικά για την ναυτιλιακή βιομηχανία αλλά και ειδικά για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Κεφάλαιο 3: Ορισμός, εφαρμογή και κανονισμοί για το Cold Ironing.

3.1 Η έννοια του Cold Ironing.

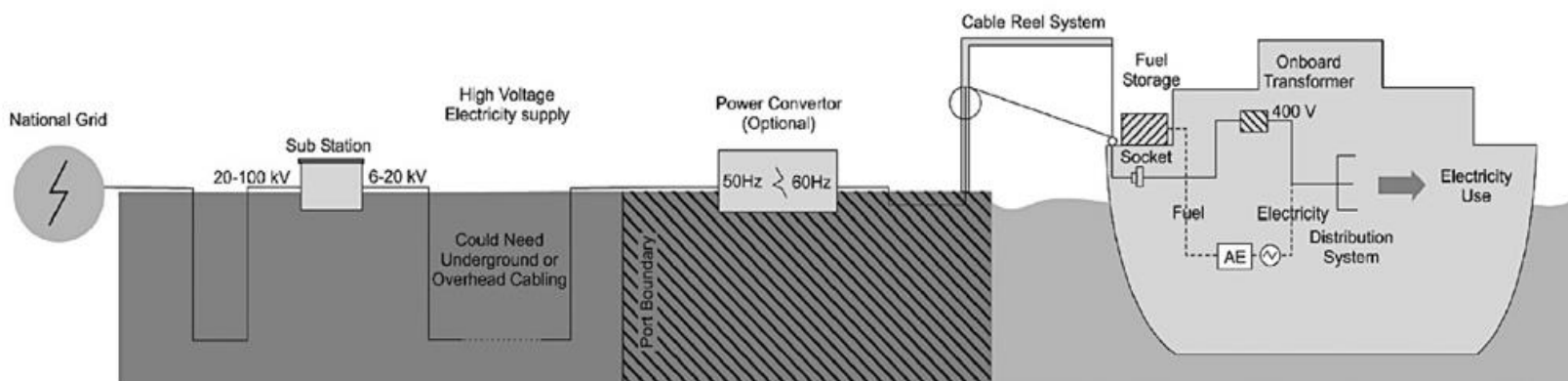
Η διαδικασία της τροφοδοσίας ηλεκτρικής ισχύος από την ξηρά σε ένα πλοίο, περισσότερο γνωστή με τον όρο Cold Ironing, έλαβε το όνομά της από την εποχή που τα πλοία χρησιμοποιούσαν μηχανές κατασκευασμένες από σίδηρο και οι οποίες έκαigan κάρβουνο για την πρόωση του πλοίου. Δεδομένου ότι δεν υπήρχε πλέον ανάγκη τροφοδοσίας της φωτιάς όταν ένα πλοίο αγκυροβολούσε στο λιμάνι, οι σιδερένιες μηχανές άρχισαν κυριολεκτικά να ψύχονται μέχρι να γίνουν εντελώς κρύες, γεγονός που έδωσε την ονομασία "Ψυχρό Σιδέρωμα". Πλέον πέρα από τον όρο Cold Ironing που προσδιορίζει των ηλεκτροδότηση ενός πλοίου από τη στεριά είναι ευρέως διαδεδομένη και η χρήση των όρων Alternative Maritime Power (AMP), Onshore Power Supply (OPS), Shore Side Electricity (SSE), High Voltage Shore Connection (HVSC) οι οποίοι είναι ισοδύναμοι.

Καθώς το πλήθος των πλοίων του παγκόσμιου στόλου συνεχίζει να αυξάνεται, οι προσεγγίσεις των πλοίων στα λιμάνια πληθαίνουν. Παράλληλα, τα ηλεκτρονικά συστήματα και τα μηχανήματα που βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία τους αυξάνονται και αυτά με τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις που λαμβάνουν χώρα. Ως αποτέλεσμα, ακόμα και σε κατάσταση αγκυροβολίου οι απαιτήσεις των πλοίων σε ηλεκτρικό ρεύμα βαίνουν αυξανόμενες, καθιστώντας έτσι το ζήτημα των εκπομπών των γεννητριών ντίζελ ως ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Τα εμπορικά πλοία εκμεταλλεύονταν την ύπαρξη της εν λόγω τεχνολογίας από το 1980. Κρουαζιερόπλοια και επιβατηγά/οχηματαγωγά πλοία λόγω της σταθερότητας των δρομολογίων τους αλλά και της θέσης που αγκυροβολούσαν στο λιμάνι, διευκόλυναν τη διαδικασία σύνδεσης και ξεκίνησαν να επωφελούνται από την λήψη ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας από τη στεριά. Στα εμπορικά αυτά πλοία έχουν πλέον προστεθεί και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και Ro/Ro (Roll On – Roll Off). Δεδομένου ότι τα παλαιότερα πλοία απαιτούν πολλή ηλεκτρική ενέργεια και τα νεότερα πλοία απαιτούν ακόμη περισσότερη, οι συνδέσεις υψηλής τάσης έχουν αντικαταστήσει τις συνδέσεις χαμηλής τάσης. Αυτό γίνεται προκειμένου να εξαλειφθούν οι πολυάριθμες παράλληλες γραμμές που χρειάζονται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να συνδεθούν κατά τη διάρκεια κάθε ελλιμενισμού.

Η σύνδεση υψηλής τάσης εξυπηρετεί την απλοποίηση των διαδικασιών σύνδεσης αλλά και το πλήθος των απαραίτητων καλωδίων αφού έχει την ικανότητα να μεταφέρει την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας με λιγότερα καλώδια. Ένα καλώδιο υψηλής τάσης επιτρέπει τη μεταφορά περίπου 25 φορές περισσότερης ισχύος από ένα τυπικό καλώδιο 400 V του ίδιου μεγέθους.

Η τεχνολογία του Cold Ironing είναι εφαρμόσιμη σε όλους τους τύπους πλοίων ανεξαρτήτως από το μέγεθος και την ηλικία τους. Από την πλευρά του πλοίου για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος απαιτούνται ο μετασχηματιστής, ένας πίνακας ελέγχου, ένα σύστημα διανομής ισχύος, ένας μετατροπέας συχνότητας καθώς και τα απαραίτητα καλώδια και οι ηλεκτρικές συνδέσεις. Αντίστοιχα απαραίτητα είναι και η δημιουργία της αντίστοιχης υποδομής στους τερματικούς σταθμούς. Μια τυπική εγκατάσταση στεριάς περιλαμβάνει ένα δίκτυο υψηλής τάσης στο λιμάνι, μετατροπείς συχνότητας και τάσης, πίνακες ελέγχου, τα απαραίτητα καλώδια και ηλεκτρικές συνδέσεις. Στη συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται εκτενέστερα τα παραπάνω δομικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 5: Τυπική διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου συστήματος Cold Ironing (Πηγή: ResearchGate)

3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της τεχνολογίας.

Το Cold Ironing αποτελεί μια σύνθετη τεχνολογικά λύση για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα εμπορικά πλοία. Οι κανονισμοί και οι διατάξεις για τη μείωση των αέριων ρύπων ισχύουν καθολικά για την παγκόσμια ναυτιλία, παρ'όλα αυτά σε πολλές περιπτώσεις δεν προσδιορίζουν τον ακριβή τρόπο με τον οποίο θα επιτευχθούν οι εκάστοτε στόχοι. Συνεπώς, εναποτίθεται στην κρίση εκείνου που διαχειρίζεται το πλοίο να αποφασίσει με ποιόν από τους διαθέσιμους τρόπους θα συμμορφωθεί με τους κανονισμούς. Ενώ το Cold Ironing παρέχει αρκετά ικανοποιητικά οφέλη, είναι γεγονός πως δεν είναι η καταλληλότερη λύση για όλα τα πλοία και σχετίζεται με τα ταξίδια και τους προορισμούς κάθε πλοίου ξεχωριστά. Ακολουθώς παρατίθενται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας του Cold Ironing.

Πλεονεκτήματα της χρήσης του Cold Ironing

- Συμμόρφωση με τις απαιτήσεις των κανονισμών του IMO και της Ε.Ε για την εξάλειψη των εκπομπών των αέριων ρύπων από τις μηχανές του πλοίου (CO₂, SO_x, NO_x, Particulate Matter).
- Εξάλειψη των κραδασμών, των δονήσεων και του έντονου θορύβου με αποτέλεσμα τη βελτίωση των εργασιακών συνθηκών πάνω στο πλοίο.
- Οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου.
- Δυνατότητα συντήρησης των γεννητριών ντίζελ κατά την παραμονή στο λιμάνι.
- Παράταση του κύκλου ζωής των γεννητριών ντίζελ καθώς και μείωση του κόστους συντήρησής τους.

Μειονεκτήματα της χρήσης του Cold Ironing

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης για το πλοίο.
- Υψηλό κόστος δημιουργίας της απαραίτητης υποδομής στο λιμάνι.
- Δυσκολίες στη διαχείριση της καλωδίωσης .
- Σχετική έλλειψη τυποποιημένων προϊόντων.
- Σχετική έλλειψη νομοθετικών διατάξεων.
- Ασυμβατότητα μεταξύ των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης των πλοίων με την εγκατάσταση των λιμανιών.
- Υιοθέτηση μέτρων προφύλαξης για την αποφυγή της υπερφόρτωσης του ηλεκτρικού δικτύου της στεριάς.

3.3 Κανονισμοί.

Με την διάδοση της χρήσης του Cold Ironing κατέστη απαραίτητη η δημιουργία ενός κανονιστικού πλαισίου με στόχο την ενοποίηση και την απλοποίηση των απαιτούμενων εγκαταστάσεων τόσο στην ξηρά όσο και στο πλοίο. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνονται οι διαδικασίες για τα πλοία αλλά και για τα λιμάνια. Οι δύο οργανισμοί που συνετέλεσαν στη σύνθεση των κανονισμών είναι οι εξής:

International Electrotechnical Commission (IEC):

Πρόκειται για την Διεθνή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνίας, ένα παγκόσμιο φορέα τυποποίησης, όπου αποτελείται από τις επιμέρους εθνικές ηλεκτροτεχνικές επιτροπές. Έχει ως στόχο να προωθήσει την παγκόσμια συνεργασία σε όλα τα θέματα που αφορούν την ηλεκτρική και ηλεκτρονική τυποποίηση.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE):

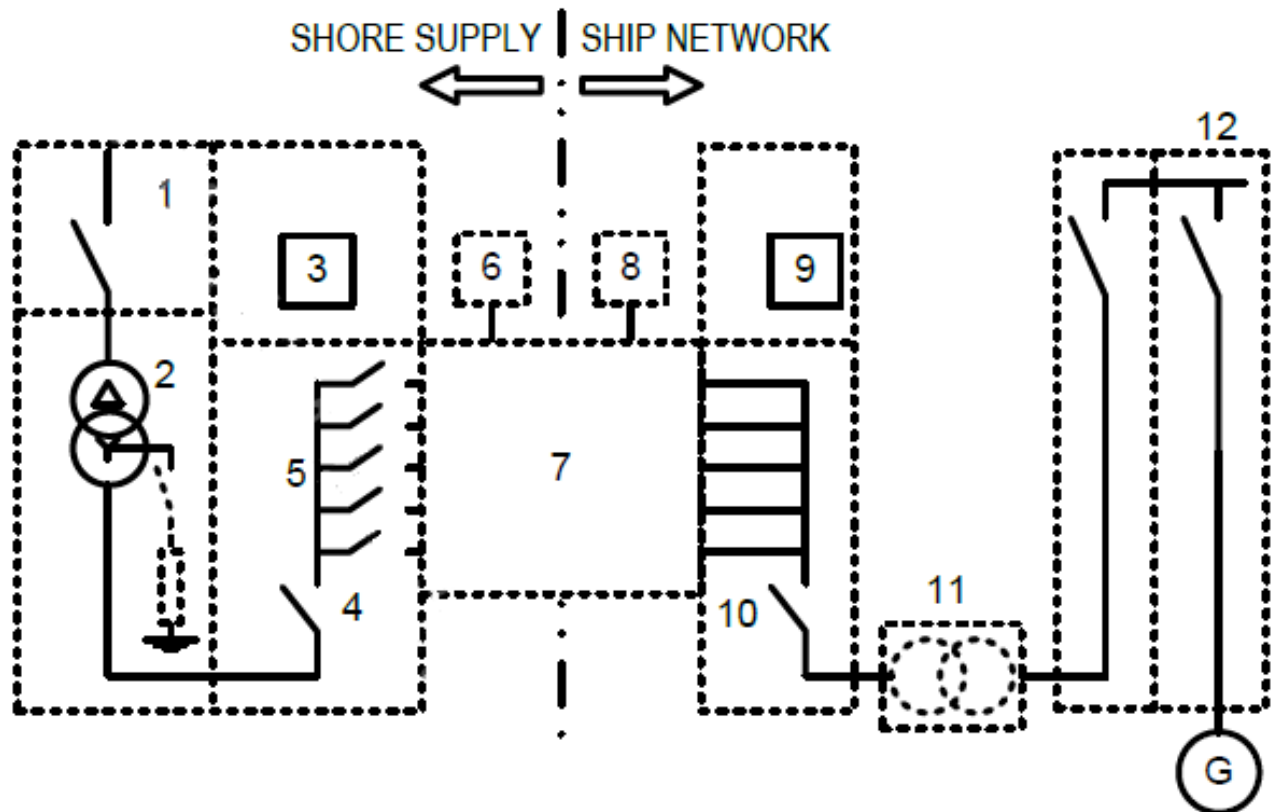
Το Ινστιτούτο των Ηλεκτρικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών είναι ο μεγαλύτερος τεχνικός επαγγελματικός οργανισμός στον κόσμο και αποσκοπεί στην προώθηση και την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Από τους δύο ανωτέρω φορείς προέκυψαν οι κανονισμοί IEC/IEEE 80005-1:2019, IEC/IEEE 80005-2:2016, IEC/IEEE 80005-3:2014 οι οποίοι αφορούν την εφαρμογή του Cold Ironing.

3.3.1 IEC/IEEE 80005-3:2014.

Ο συγκεκριμένος κανονισμός θέτει τις απαιτήσεις για τα Συστήματα σύνδεσης χαμηλής τάσης στην ακτή (Low Voltage Shore Connection – LVSC) καλύπτοντας θέματα σχεδιασμού, εγκατάστασης και δοκιμής των εν λόγω συστημάτων. Ως χαμηλή τάση θεωρείται η τάση με ονομαστική τιμή μικρότερη είτε ίση των 1000 Volt εναλλασσόμενου ρεύματος (A/C). Τα συστήματα LVSC έχουν πρακτική εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου τα πλοία απαιτούν έως και 1 MVA (Mega Volt Amperes) ισχύος. Στον κανονισμό ορίζονται συγκεκριμένα απαιτήσεις για:

- Συστήματα διανομής ρεύματος χαμηλής τάσης ξηράς.
- Εξοπλισμός σύνδεσης και διασύνδεσης ξηράς και πλοίου.
- Μετασηματιστές.
- Ημιαγωγοί / Μετατροπείς Συχνότητας.
- Συστήματα διανομής ενέργειας πλοίου.



Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής τυπικής διάταξης συστήματος LVSC (Πηγή: IEC/IEEE 80005-3:2014)

Για να καταστεί δυνατή η τυποποίηση της σύνδεσης χαμηλής τάσης και της ονομαστικής τάσης σε διαφορετικούς λιμένες, οι συνδέσεις ξηράς πρέπει να διαθέτουν ονομαστική τάση 400 V A/C ή/και 440 V A/C ή/και 690 V A/C γαλβανικά διαχωρισμένες από το σύστημα διανομής της ξηράς. Τα ηλεκτρικά συστήματα επί του πλοίου αλλά και στην ξηρά πρέπει να λειτουργούν σε όμοιες συχνότητες- σε αντίθετη περίπτωση, πρέπει να χρησιμοποιείται μετατροπέας συχνότητας στην ξηρά.

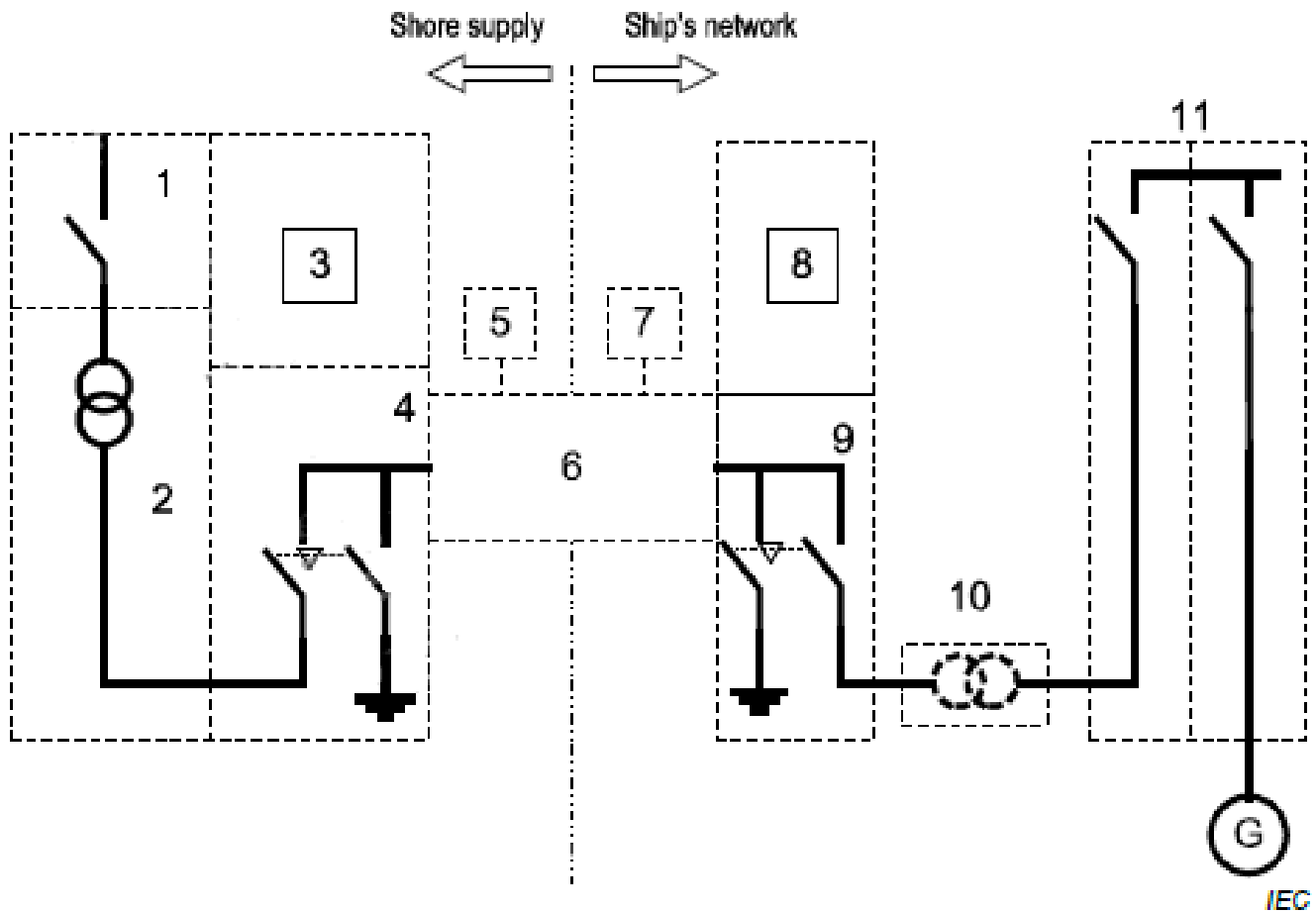
1. Σύστημα τροφοδοσίας ξηράς.	2. Μετασχηματιστής ξηράς, γείωση και πληροφοριακό σύστημα.
3. Ηλεκτρονόμος (ρελέ) προστασίας ξηράς.	4. Διακόπτης ισχύος ξηράς.
5. Διακόπτες κυκλωμάτων τροφοδοσίας ξηράς.	6. Πίνακας ελέγχου ξηράς.
7. Εξοπλισμός διασύνδεσης πλοίου-ξηράς.	8. Πίνακας ελέγχου πλοίου.
9. Ηλεκτρονόμος (ρελέ) προστασίας πλοίου.	10. Ηλεκτρολογικός πίνακας για τη σύνδεση με την ξηρά.
11. Μετασχηματιστής επί του πλοίου (όπου απαιτείται).	12. Πίνακας ελέγχου διανομής πλοίου.

Πίνακας 2: Επεξηγηματικό υπόμνημα για την Εικόνα 6

3.3.2 IEC/IEEE 80005-1:2021.

Ο συγκεκριμένος κανονισμός θέτει τις απαιτήσεις για τα συστήματα σύνδεσης υψηλής τάσης στην ακτή (High Voltage Shore Connection – HVSC) καλύπτοντας θέματα σχεδιασμού, εγκατάστασης και δοκιμής των εν λόγω συστημάτων. Ως υψηλή τάση θεωρείται η τάση με ονομαστική τιμή μεγαλύτερη των 1000 Volt εναλλασσόμενου ρεύματος (A/C). Τα συστήματα HVSC έχουν πρακτική εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου τα πλοία απαιτούν περισσότερο από 1 MVA (Mega Volt Amperes) ισχύος. Στον κανονισμό ορίζονται συγκεκριμένα απαιτήσεις για:

- Συστήματα διανομής ρεύματος υψηλής τάσης ξηράς.
- Εξοπλισμός σύνδεσης και διασύνδεσης ξηράς και πλοίου.
- Μετασχηματιστές.
- Ημιαγωγοί / Μετατροπείς Συχνότητας.
- Συστήματα διανομής ενέργειας πλοίου.
- Συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης, διασύνδεσης και διαχείρισης ισχύος.



Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής τυπικής διάταξης συστήματος HVSC (Πηγή: IEC/IEEE 80005-1:2019)

Για να καταστεί δυνατή η τυποποίηση της σύνδεσης υψηλής τάσης και της ονομαστικής τάσης σε διαφορετικούς λιμένες, οι συνδέσεις ξηράς πρέπει να διαθέτουν ονομαστική τάση 6.6 kV A/C ή/και 11 kV A/C γαλβανικά διαχωρισμένες από το σύστημα διανομής της ξηράς. Τα ηλεκτρικά συστήματα επί του πλοίου αλλά και στην ξηρά πρέπει να λειτουργούν σε όμοιες συχνότητες- σε αντίθετη περίπτωση, πρέπει να χρησιμοποιείται μετατροπέας συχνότητας στην ξηρά.

1. Σύστημα τροφοδοσίας ξηράς.	2. Μετασχηματιστής ξηράς.
3. Ηλεκτρονόμος (ρελέ) προστασίας ξηράς.	4. Διακόπτης ισχύος ξηράς και διακόπτης γείωσης.
5. Πίνακας ελέγχου ξηράς.	6. Εξοπλισμός διασύνδεσης πλοίου-ξηράς.
7. Πίνακας ελέγχου πλοίου.	8. Ηλεκτρονόμος (ρελέ) προστασίας πλοίου.
9. Ηλεκτρολογικός πίνακας πλοίου για τη σύνδεση με την ξηρά.	10. Μετασχηματιστής επί του πλοίου (όπου απαιτείται).
11. Πίνακας ελέγχου διανομής πλοίου.	

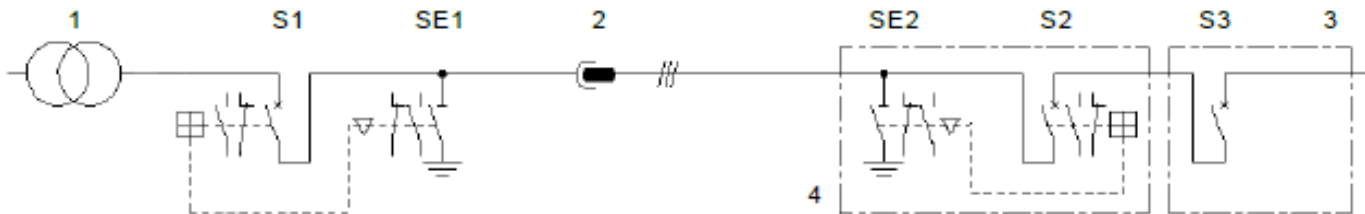
Πίνακας 3: Επεξηγηματικό Υπόμνημα για την Εικόνα 7

Στους παραπάνω δύο κανονισμούς τίθενται όμοιοι περιορισμοί σχετικά με την τοποθεσία και την κατασκευή των συστημάτων σύνδεσης είτε πρόκειται για συστήματα υψηλής τάσης είτε χαμηλής. Σχετικά με τον εξοπλισμό οι κανονισμοί ορίζουν ότι πρέπει να είναι κατάλληλου τύπου για την εκάστοτε περιοχή όπου πρόκειται να χρησιμοποιείται (σχετικοί κανονισμοί μπορούν να βρεθούν στο έγγραφο IEEC 60092-101) και να τοποθετείται σε χώρους ελεγχόμενης πρόσβασης.

Η εγκατάσταση που γίνεται επί του πλοίου πρέπει να επιτρέπει στα συστήματα διαχείρισης του φορτίου και στα συστήματα πρόσδεσης το πλοίου την απρόσκοπτη λειτουργία τους με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Η επιλογή της τοποθέτησης του συστήματος πρέπει να λαμβάνει υπόψη το πλήρες φάσμα των πιθανών εργασιών που μπορεί να εκτελούνται σε ένα πλοίο σχετικά με τον χειρισμό του φορτίου και τον ανεφοδιασμό. Τα συστήματα χειρισμού του φορτίου της στεριάς και του ίδιου του πλοίου καθώς και τα μηχανήματα που χρησιμεύουν για την πρόσδεση πρέπει να λειτουργούν ανεμπόδιστα ώστε να διευκολύνονται οι υπόλοιπες κινήσεις και οι δραστηριότητες του πλοίου στην προβλήτα.

3.3.3 IEC/IEEE 80005-2:2016.

Σε αυτόν τον κανονισμό περιγράφεται η τρόπος με τον οποίο διαβιβάζονται και ανταλλάσσονται τα δεδομένα του συστήματος μεταξύ της στεριάς και του πλοίου. Δίνονται αναλυτικά οι οδηγίες και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των συστημάτων σύνδεσης υψηλής και χαμηλής τάσης. Ακόμα ορίζονται οι τύποι των δεδομένων και ο τρόπος διαβίβασής τους μεταξύ των επιμέρους συστημάτων για την ορθή και ασφαλή λειτουργία τους.



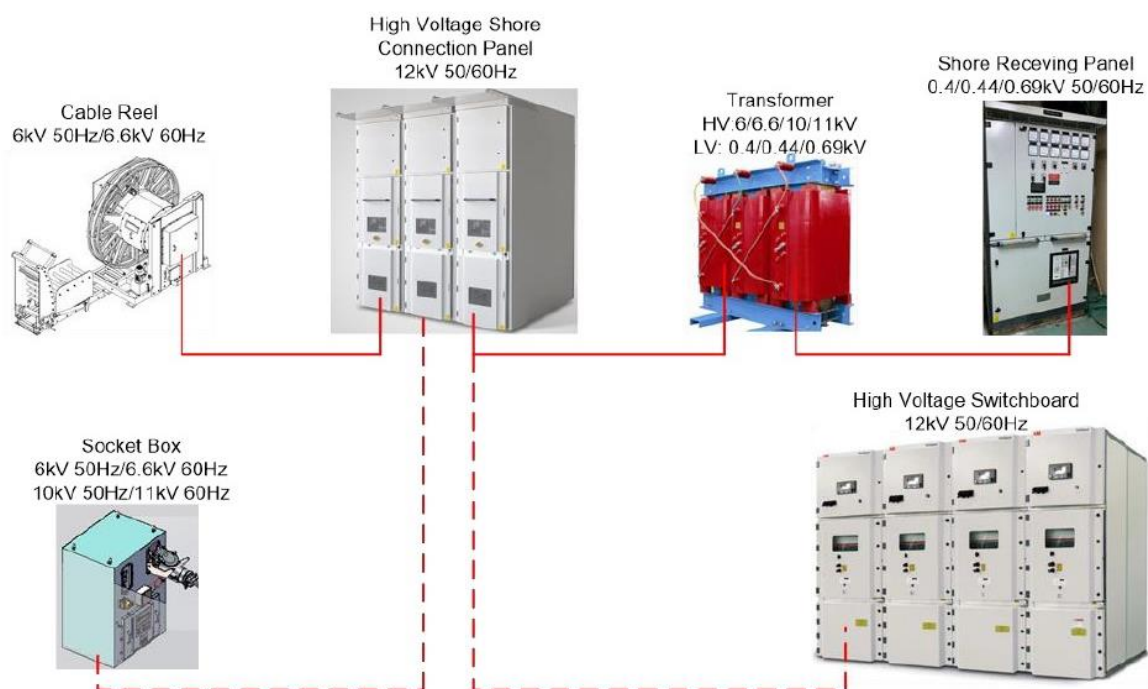
Εικόνα 8: Μονογραμμικό διάγραμμα ισχύος (Πηγή: IEC/IEEE 80005-2:2016)

1. Μετασχηματιστής ξηράς	S1. Διακόπτης ισχύος ξηράς
SE1. Διακόπτης γείωσης μόνο για τα συστήματα HVSC.	2. Σύνδεση καλωδίων με πρίζες.
SE2. Ηλεκτρολογικός πίνακας πλοίου για τη σύνδεση με την ξηρά μόνο για τα συστήματα HVSC.	S2. Διακόπτης ισχύος ηλεκτρολογικού πίνακα πλοίου.
S3. Διακόπτης ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πίνακα ελέγχου διανομής πλοίου.	3. Πίνακας ελέγχου διανομής πλοίου.
4. Ηλεκτρολογικός πίνακας σύνδεσης με την ξηρά.	

Πίνακας 4: Επεξηγηματικό Υπόμνημα για την Εικόνα 8

3.4 Εφαρμογή του Cold Ironing.

Η κατασκευή εγκαταστάσεων ικανών να παρέχουν μεγάλα ποσά ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα αποτελεί μια εξαιρετικά σύνθετη διαδικασία. Η υποδομή που απαιτείται να υπάρχει από την πλευρά της ξηράς αλλά και του πλοίου είναι εκτεταμένη και μπορεί να υπόκειται σε πληθώρα περιορισμών. Σε κάθε περίπτωση πέραν της τεχνικής πολυπλοκότητας, οι εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης εμπορικών πλοίων ενέχουν και ένα πολύ υψηλό αρχικό κόστος για την υλοποίησή τους.



Εικόνα 9: Υλοποίηση ολοκληρωμένου συστήματος Cold Ironing (Πηγή: Seier Nico)

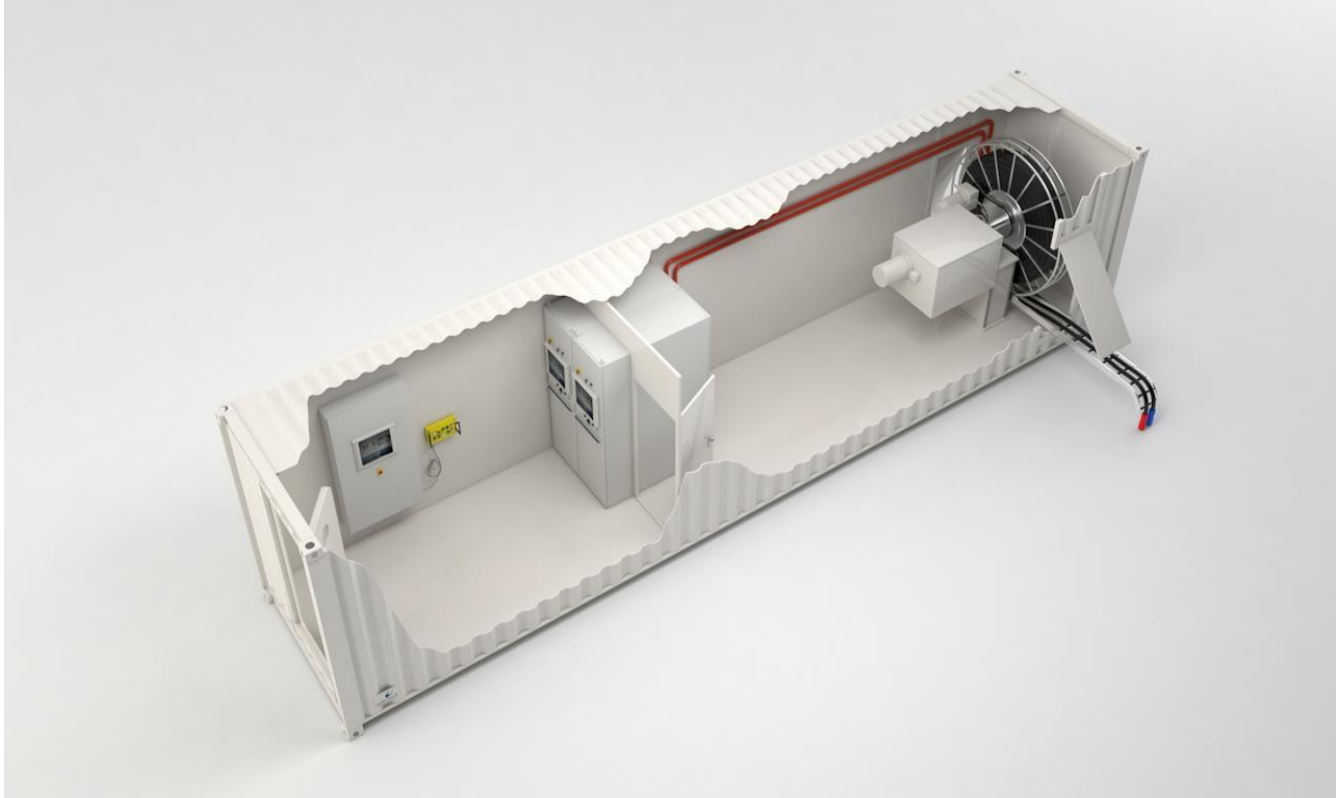
3.4.1 Κόστος Εγκατάστασης σε Πλοίο και σε Λιμάνι.

Τα κοστολογικά δεδομένα μιας τυπικής εγκατάστασης σε πλοίο και μιας εγκατάστασης στεριάς βρέθηκαν σε δημοσιοποιημένες μελέτες οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση και διασταυρώθηκαν με πραγματικά στοιχεία προερχόμενα από προμηθευτές και ναυτιλιακές εταιρίες.

Για ένα πλοίο, το συνολικό κόστος για την υιοθέτηση του Cold Ironing εξαρτάται από το μέγεθός του, από το πλήθος των ταξιδιών που κάνει και από τους προορισμούς του. Μια τυπική εγκατάσταση κοστίζει περίπου 400.000 δολάρια αλλά ενδέχεται το ποσό αυτό να αυξάνεται ή να μειώνεται εξαιτίας των εκάστοτε ειδικών περιορισμών με ακραίες τιμές τα 50.000 και τα 750.000 δολάρια.

Για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, η πιο συνηθισμένη λύση είναι ένα Container μέσα το οποίο βρίσκεται όλη η εγκατάσταση του Cold Ironing και τοποθετείται σε μια συνήθη υποδοχή εμπορευματοκιβωτίου πάνω από το κύριο κατάστρωμα. Επιλέγεται ακόμα για λειτουργικούς λόγους μία εξωτερική θέση τοποθέτησης στη δεξιά ή αριστερή πλευρά του πλοίου, εμπροσθεν ή όπισθεν του χώρου ενδιαίτησης. Η λύση αυτή προσφέρει μεγάλη ελευθερία και ευελιξία σε συνθήκες όπου ενδέχεται να χρειαστεί η μετακίνηση του Container. Εναλλακτικά η εγκατάσταση μπορεί να γίνει με την τοποθέτηση των επιμέρους εξαρτημάτων επί του πλοίου σε περίπτωση όπου ο χώρος για την τοποθέτηση του Container δεν μπορεί να βρεθεί, αν και για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων δεν προτιμάται.

Η επένδυση που απαιτείται για την εγκατάσταση της στεριάς εξαρτάται και αυτή από πολυπληθείς παράγοντες, όπως η τοποθεσία και η μορφολογία του λιμανιού, το μέγιστο πλήθος των ελλιμενιζόμενων πλοίων που χρησιμοποιούν Cold Ironing, το πλήθος των προσφερόμενων θέσεων που θα έχουν Cold Ironing, το κόστος του ρεύματος στη στεριά και το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης. Επομένως το κόστος για κάθε λιμάνι μπορεί να αποκλίνει αρκετά από μια τυπική τιμή για το σύνολο της επένδυσης. Ένα μέσο κόστος μπορεί να εκτιμηθεί στα 1,5 – 2 εκατομμύρια δολάρια ανά θέση ελλιμενισμού με τη δυνατότητα να διαφέρει αρκετά ανάλογα με τους εξωτερικούς παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται.



Εικόνα 10: Εγκατάσταση ενός συστήματος Cold Ironing σε Container (Πηγή: ErmaFirst)



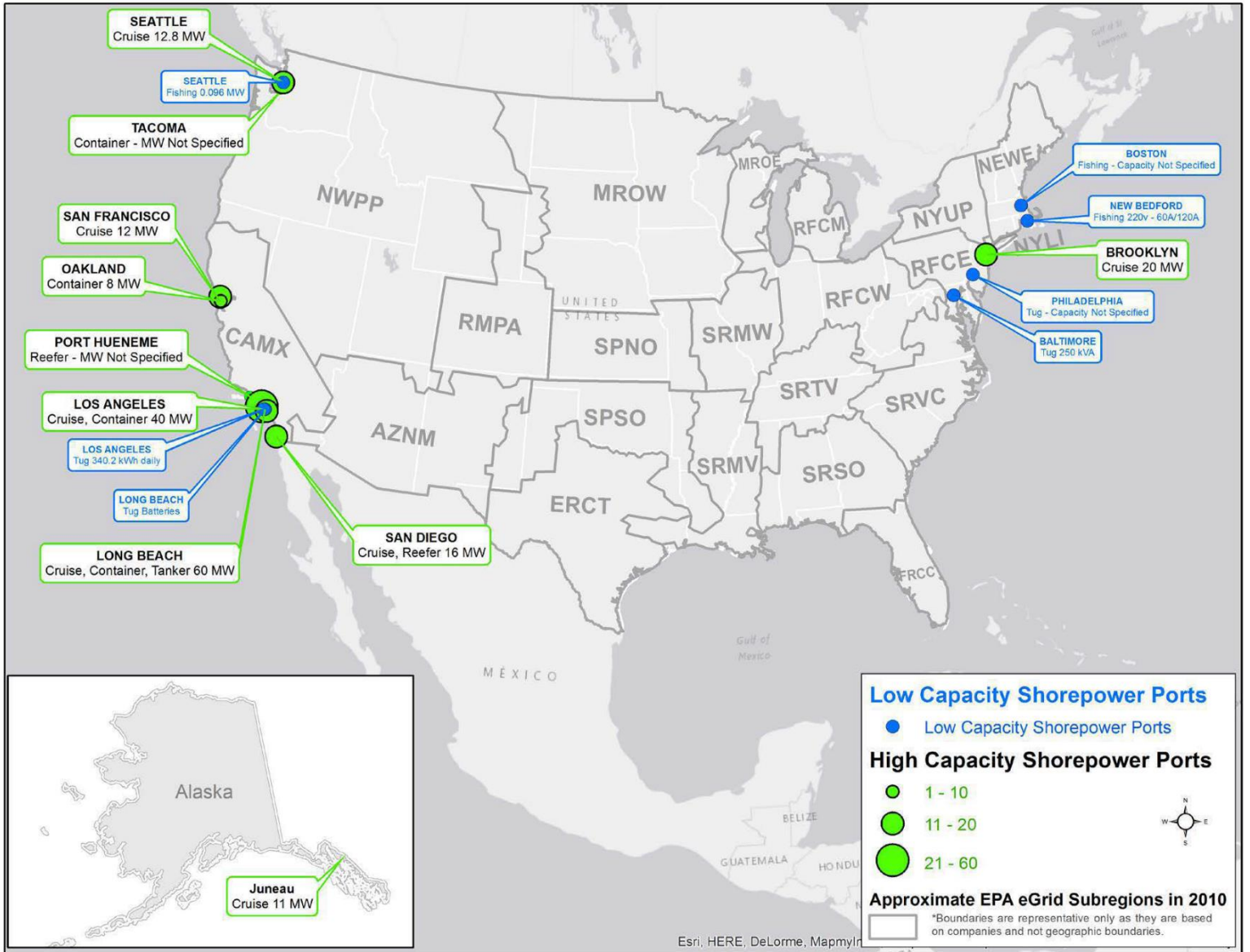
Εικόνα 11: Σύστημα τροφοδοσίας ρεύματος από τη στεριά (Πηγή: World Port Sustainability Program)

3.4.2 Υπάρχουσες Εγκαταστάσεις.

Από την πρώτη εγκατάσταση Cold Ironing που έγινε στη Σουηδία στο λιμάνι του Γκέτεμποργκ το 1989 έως σήμερα, η τεχνολογία ηλεκτροδότησης ενός πλοίου κατά τον ελλιμενισμό του γίνεται ολοένα δημοφιλέστερη εξαιτίας της αυστηροποίησης των περιβαλλοντικών κανονισμών. Μεγάλα λιμάνια και τερματικοί σταθμοί ήταν μεταξύ των πρώτων που εγκατέστησαν υποδομές Cold Ironing σε μέρη όπως η Ευρώπη, η Βόρεια Αμερική και η Ασία που αποτελούν σημαντικούς κόμβους της παγκόσμιας εμπορικής δραστηριότητας. Ακολούθως παρατίθενται ενδεικτικά εικόνες με τα λιμάνια που έχουν εγκαταστάσεις Cold Ironing για την Ευρώπη, την Ασία και την Αμερική. Λεπτομερέστερα στο [Παράρτημα Α](#) παρατίθενται αναλυτικού πίνακες των υπαρχόντων εγκαταστάσεων Cold Ironing.



Εικόνα 12: Τοποθεσίες εγκαταστάσεων Cold Ironing (Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή)



Εικόνα 13: Τοποθεσίες εγκαταστάσεων Cold Ironing στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Πηγή: EPA)

Κεφάλαιο 4: Ενεργειακές ανάγκες πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα δεδομένα στα οποία βασίστηκαν οι υπολογισμοί της μελέτης των ενεργειακών αναγκών για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Από την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων εξήχθησαν οι τυπικές ενεργειακές ανάγκες των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε συνάρτηση με το μήκος τους και το DeadWeight (DWT) τους. Η ανάλυση αυτή έγινε για πλοία όπου διαθέτουν εξοπλισμό φόρτωσης και εκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων αλλά και πλοία τα οποία δεν διαθέτουν. Περιγράφεται ακόμα, ο τρόπος αξιοποίησης και επεξεργασίας των εν λόγω δεδομένων για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται.

4.1 Αναλυτικά δεδομένα πλοίων.

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και τα αποτελέσματα στα οποία οδηγείται βασίστηκαν στα δεδομένα ενός τυπικού στόλου αποτελούμενου από 35 πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων τα οποία μπορούν να βρεθούν στον πίνακα που ακολουθεί. Η σύνθεση του στόλου συγκροτείται από πλοία διαφόρων μεγεθών και διαστάσεων, με υψηλότερη είτε χαμηλότερη μεταφορική ικανότητα και αντίστοιχα μεγαλύτερες είτε μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Πέρα από τα κύρια χαρακτηριστικά του εκάστοτε πλοίου αναγράφονται και τα ηλεκτρολογικά τους στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα καταγράφεται το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο στο λιμάνι, το πλήθος και οι ονομαστικές ισχύς των ηλεκτρικών μηχανών τους καθώς και το σύνολο της διαθέσιμης εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος.

Δεδομένα Πλοίων						
Ship No.	DWT (t)	LOA (m)	Breadth (m)	Depth (m)	Total TEU Capacity	Cargo Gear
1	67009	280.54	40	24	5928	N/A
2	22362	179.23	25.3	13.5	1684	A
3	41253	212.48	32.2	20.3	2796	A
4	36806	222.5	32.2	19.3	3398	N/A
5	50900	260.1	32.25	19.3	4253	N/A
6	63350	274.98	32.2	21.5	4892	N/A
7	42969	226.83	32.2	16.8	3451	N/A
8	52788	268.8	32.2	19.1	4178	N/A
9	39000	222.17	30	16.8	2824	N/A
10	28142	186.35	27.6	17.1	1841	A
11	33900	207.4	29.8	16.4	2478	A
12	34295	210.07	30.2	16.7	2556	A
13	33757	207.55	29.8	16.4	2478	A
14	28142	186.34	27.6	17.1	1841	A
15	46009	228.2	32.2	20.3	3421	N/A
16	34500	211.85	29.8	16.7	2564	A
17	34608	211.85	29.8	16.67	2496	A
18	14901	158.75	25.6	13.7	1216	N/A
19	18581	168.8	27.3	13.5	1195	N/A
20	32300	199.95	32.2	16.6	2450	A
21	37842	210.1	32.26	19.4	2902	N/A
22	37842	210.1	32.26	19.4	2902	N/A
23	15315	151.07	25.6	13.7	1216	N/A
24	14901	158.75	25.6	13.7	1216	N/A
25	16439	154.49	25.19	14.2	1200	N/A
26	21908	171.99	27.6	14	1708	N/A
27	16397	154.6	25	14.2	1200	N/A
28	16584	155.6	25	14.2	1200	N/A
29	16403	154.46	25	14.2	1200	N/A
30	52863	264.04	32.25	19.3	4130	N/A
31	16824	152.63	25	12.7	1209	A
32	13632	147.89	23.25	11.5	1118	A
33	12477	149	22.7	11.3	1155	N/A
34	12477	149	22.7	11.3	1155	N/A
35	34315	210.07	30.2	16.7	2556	A

Πίνακας 5: Αναλυτικός πίνακας με τα δεδομένα των πλοίων

Δεδομένα Πλοίων							
Ship No.	Electric Load at Port (kW)	No. of Generators	Generator Power Output (kW)	Generator Apparent Power (kVA)	Generator Main Voltage (V)	Generator Frequency (Hz)	Maximum Installed Power (kW)
1	4697.42	4	2207	5375	450	60	8828
2	2325.87	3	1100	1375	440	60	3300
3	4250.3	4	1680	2000	450	60	6720
4	2919.8	4	1280	1200	440	60	5120
5	3159.2	4	1810	1700	440	60	7240
6	4668.4	4	2100	1950	450	60	8400
7	4948.8	4	2100	1950	450	60	8400
8	5901	4	2400	3000	440	60	9600
9	4039.3	4	1680	1600	450	60	6720
10	4671	4	1680	1580	450	60	6720
11	2666.3	3\1	1400\950	2795	450	60	5150
12	5281.4	4	1710	1600	450	60	6840
13	2666.3	3\1	1400\950	2795	450	60	5150
14	4671	4	1680	1580	450	60	6720
15	4138.1	4	1710	2000	440	60	6840
16	3540	3	2500	2400	440	60	7500
17	3832.7	3	2320	2224	450	60	6960
18	1712	3	1050	1050	440	60	3150
19	322.12	3	460	575	440	60	1380
20	3790	4	1360	1587.5	450	60	5440
21	3673.1	2\2	1360\1530	3435	450	60	5780
22	3673.1	2\2	1360\1530	3435	450	60	5780
23	1712	3	1050	1050	440	60	3150
24	1712	3	1050	1050	440	60	3150
25	2220	3	780	740	440	60	2340
26	1459.62	3	1020	1187.5	450	60	3060
27	2220	3	780	740	440	60	2340
28	2220	3	780	740	440	60	2340
29	2220	3	780	740	440	60	2340
30	6545.4	2\2	2530\2320	5700	450	60	9700
31	4119.4	2\2	1020\1530	2416	440	60	5100
32	1521.53	3	610	1970	450	60	1830
33	600	3	600	2962.5	450	60	1800
34	600	3	600	2962.5	450	60	1800
35	5281.4	4	1710	1600	450	60	6840

Πίνακας 6: Αναλυτικός πίνακας με τα δεδομένα των πλοίων (συνέχεια)

4.2 Μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων και αποτελέσματα.

Από τα ανωτέρω δεδομένα έγινε ο διαχωρισμός των πλοίων που διαθέτουν φορτοεκφορτωτικά μέσα με αυτά που δεν διαθέτουν, με σκοπό να μελετηθούν ξεχωριστά οι ενεργειακές τους ανάγκες κατά τον ελλιμενισμό τους. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκαν δύο υποκατηγορίες για τις οποίες ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία μελέτης.

Με τη βοήθεια των υπολογιστικών φύλλων του προγράμματος Microsoft Excel κατασκευάστηκαν διαγράμματα γραμμών τάσης (trendlines) που προσδιορίζονται από το ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση ελλιμενισμού συναρτήσει του DWT, του πλήθους TEU και του ολικού μήκους. Εξαιτίας των διακυμάνσεων που παρουσιάζουν τα δεδομένα επιλέχθηκε για την καλύτερη και πιο πιστή αναπαράστασή τους η χρήση πολυωνυμικής γραμμής τάσης δευτέρου βαθμού, της οποίας η δευτεροβάθμια εξίσωση που την περιγράφει προστέθηκε στο εκάστοτε διάγραμμα.

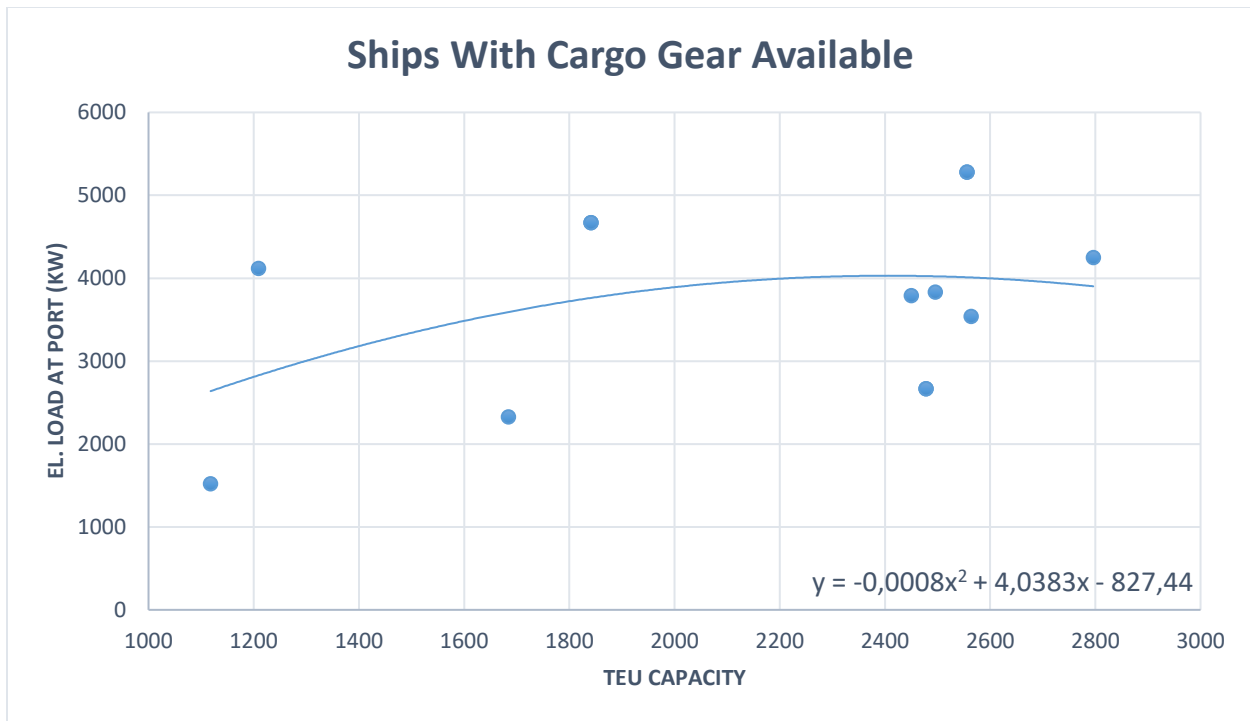
Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένας απλοποιημένος και γρήγορος τρόπος προσδιορισμού των τυπικών ενεργειακών αναγκών των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατά τον ελλιμενισμό τους γνωρίζοντας μόνο το DWT τους ή το πλήθος των TEU που μπορούν να μεταφέρουν ή το ολικό τους μήκος.

4.2.1 Πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα.

Από τον συνολικό πίνακα των δεδομένων εξήχθησαν τα στοιχεία των πλοίων που διαθέτουν φορτοεκφορτωτικά μέσα τα οποία συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των ζητούμενων αποτελεσμάτων. Από τη διαθέσιμη λίστα πλοίων, τα 13 από αυτά διαθέτουν εξοπλισμό φόρτωσης και εκφόρτωσης. Παρατηρείται ότι οι ενώ ενεργειακές τους ανάγκες στο λιμάνι κυμαίνονται από 1521.53 kW έως τα 5281.4 kW, το εύρος αυτό δεν δημιουργείται με γραμμικό τρόπο. Συνεπώς, μικρότερου μεγέθους πλοία ενδέχεται να έχουν υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις ενώ μεγαλύτερου μεγέθους πλοία να έχουν χαμηλότερες. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε επιπλέον ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία μπορεί να υπάρχουν εγκατεστημένα σε κάθε πλοίο αλλά κυρίως οφείλεται στην δυνατότητα κάποιων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων να μεταφέρουν περισσότερα ψυχόμενα εμπορευματοκιβώτια (Reefer Containers).

Ships With Cargo Gear Available				
Ship No.	LOA (m)	DWT (t)	Total TEU Capacity	Electric Load at Port (kW)
32	147.89	13632	1118	1521.53
31	152.63	16824	1209	4119.4
2	179.23	22362	1684	2325.87
10	186.35	28142	1841	4671
14	186.34	28142	1841	4671
20	199.95	32300	2450	3790
11	207.4	33900	2478	2666.3
13	207.55	33757	2478	2666.3
17	211.85	34608	2496	3832.7
12	210.07	34295	2556	5281.4
35	210.07	34315	2556	5281.4
16	211.85	34500	2564	3540
3	212.48	41253	2796	4250.3

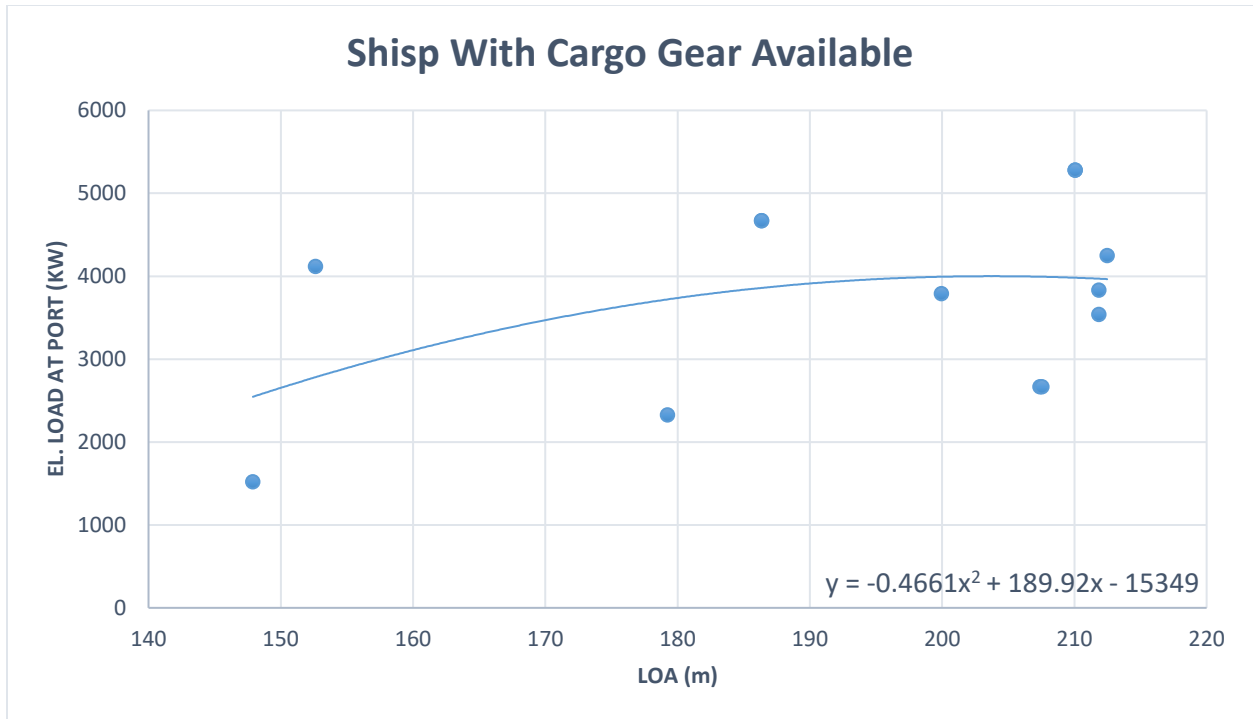
Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων για τα υπό μελέτη πλοία που διαθέτουν φορτοεκφορτωτικά μέσα



Εικόνα 14: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσει του πλήθους TEU για πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα



Εικόνα 15: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσει του DWT για πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα



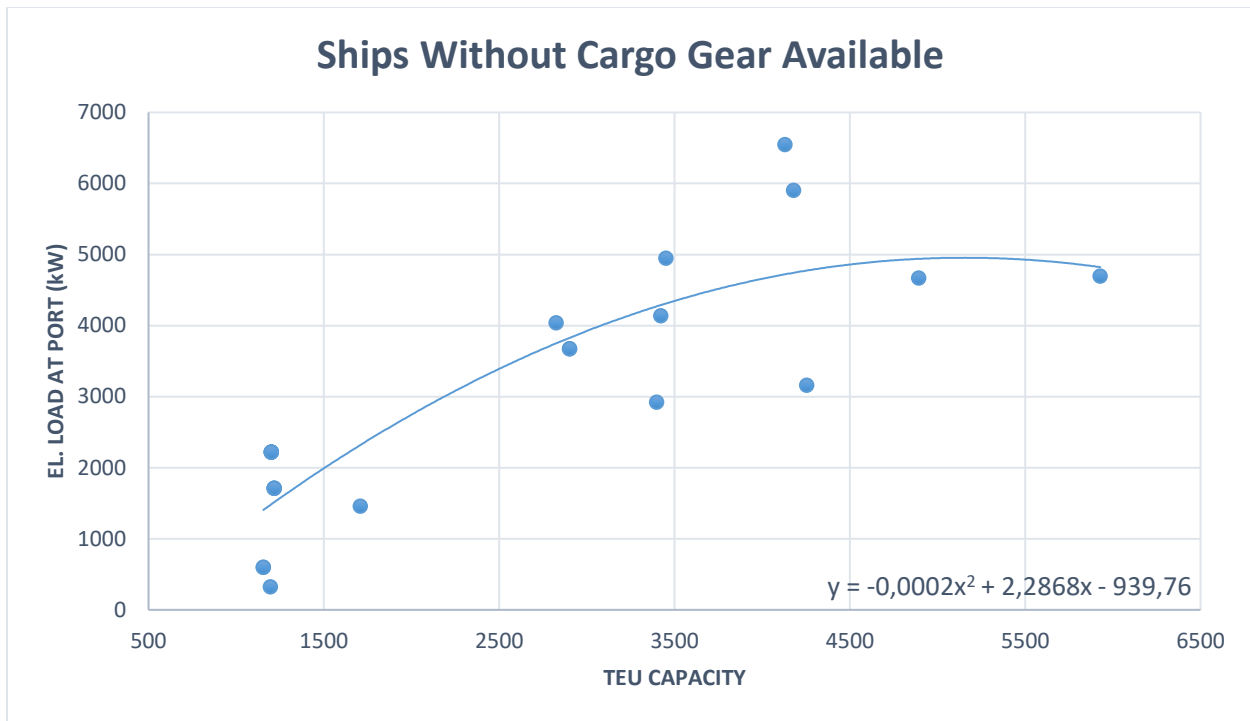
Εικόνα 16: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσει του Ολικού Μήκους για πλοία με φορτοεκφορτωτικά μέσα

4.2.2 Πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα.

Με όμοιο τρόπο από τον συνολικό πίνακα των δεδομένων εξήχθησαν τα στοιχεία των πλοίων που δεν διαθέτουν φορτοεκφορτωτικά μέσα τα οποία συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των ζητούμενων αποτελεσμάτων. Από το σύνολο των υπό εξέταση πλοίων τα 22 δεν διαθέτουν εξοπλισμό φόρτωσης και εκφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων. Σε αυτό το σύνολο των πλοίων παρατηρείται όπως ήταν αναμενόμενο να υπάρχουν κατά περίπτωση μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις ακόμα και από μεγαλύτερων διαστάσεων και μεταφορικής ικανότητας πλοία.

Ships Without Cargo Gear Available				
Ship No.	LOA (m)	DWT (t)	Total TEU Capacity	Electric Load at Port (kW)
33	149	12477	1155	600
34	149	12477	1155	600
19	168.8	18581	1195	322.12
25	154.49	16439	1200	2220
27	154.6	16397	1200	2220
28	155.6	16584	1200	2220
29	154.46	16403	1200	2220
18	158.75	14901	1216	1712
23	151.07	15315	1216	1712
24	158.75	14901	1216	1712
26	171.99	21908	1708	1459.62
9	222.17	39000	2824	4039.3
21	210.1	37842	2902	3673.1
22	210.1	37842	2902	3673.1
4	222.5	36806	3398	2919.8
15	228.2	46009	3421	4138.1
7	226.83	42969	3451	4948.8
30	264.04	52863	4130	6545.4
8	268.8	52788	4178	5901
5	260.1	50900	4253	3159.2
6	274.98	63350	4892	4668.4
1	280.54	67009	5928	4697.42

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων για τα υπό μελέτη πλοία που δεν διαθέτουν φορτοεκφορτωτικά μέσα



Εικόνα 17: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσει του πλήθους TEU για πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα



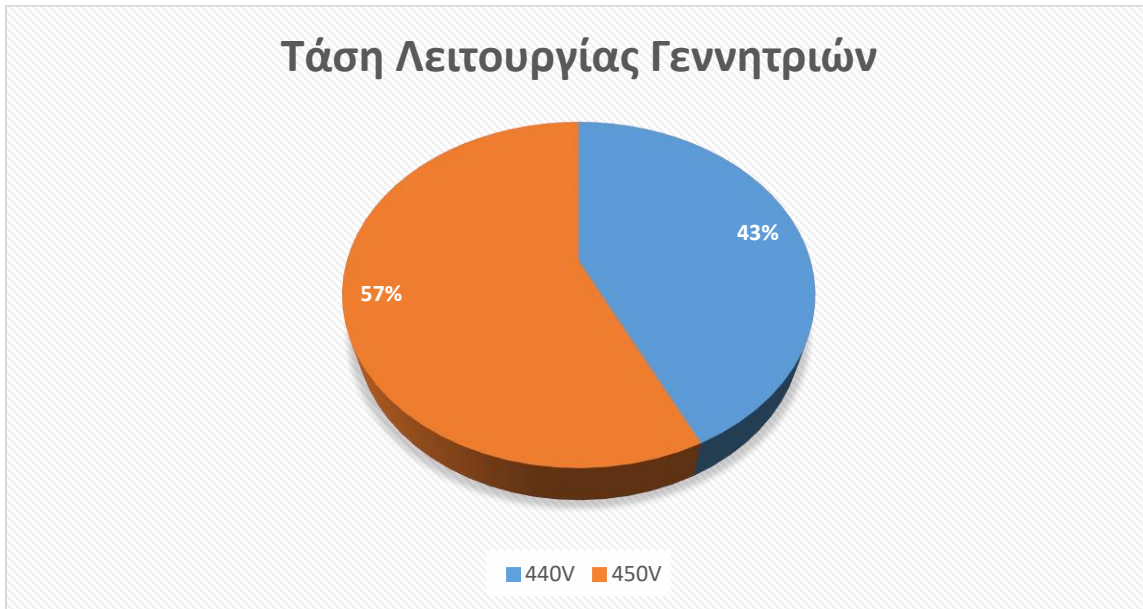
Εικόνα 18: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσει του DWT για πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα



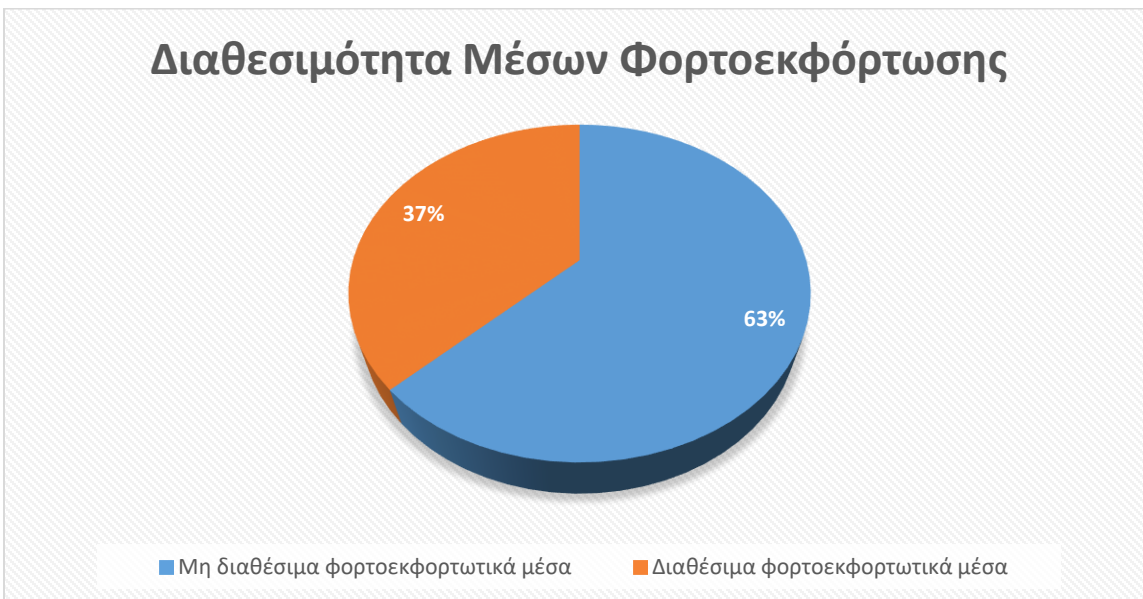
Εικόνα 19: Διάγραμμα ενεργειακών απαιτήσεων συναρτήσει του Ολικού Μήκους για πλοία χωρίς φορτοεκφορτωτικά μέσα

4.2.3 Στατιστικά στοιχεία και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Από την ανάλυση του δείγματος των 35 πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, εξήχθησαν χρήσιμα στατιστικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται ακολούθως.



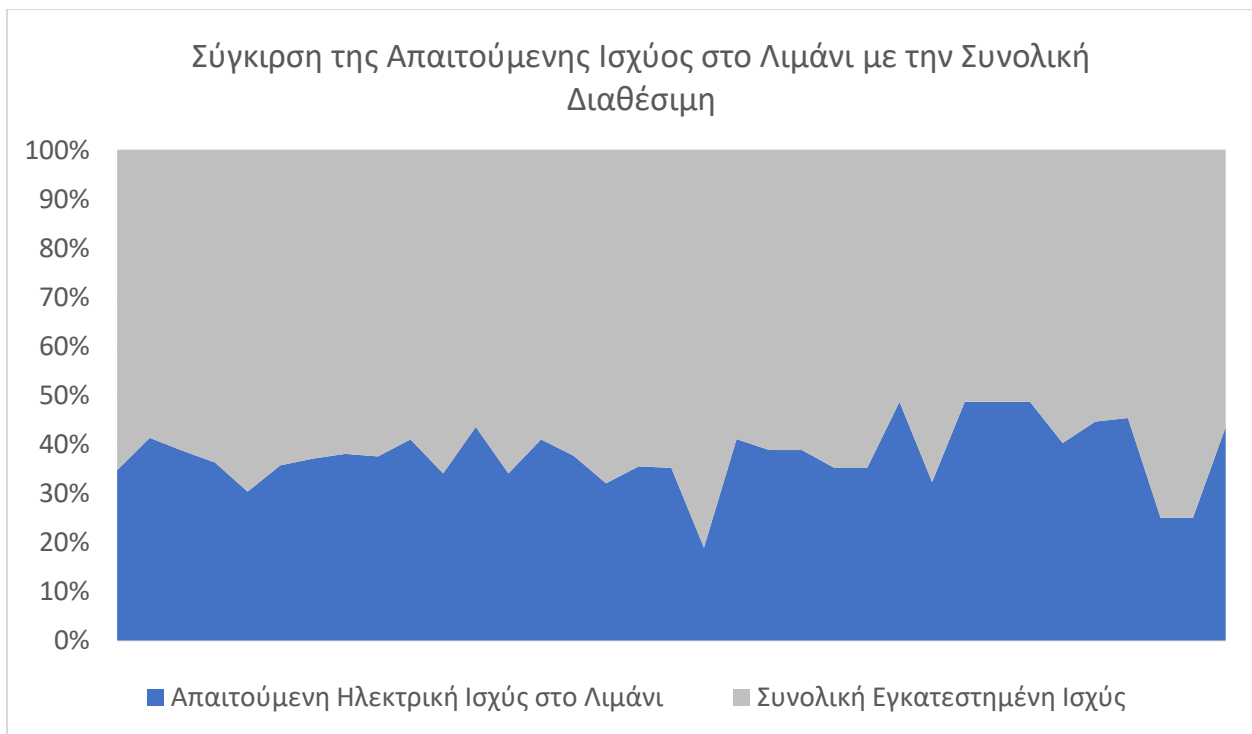
Εικόνα 20: Γράφημα πίτας για τις τάσεις λειτουργίας των γεννητριών



Εικόνα 21: Γράφημα πίτας για τη διαθεσιμότητα μέσων φορτοεκφόρτωσης

Από τα δεδομένα χαρακτηριστικά των πλοίων παρατηρούνται δύο τιμές της τάσης λειτουργίας των γεννητριών των μελετηθέντων πλοίων. Από τις δύο αυτές τιμές, δηλαδή τα 440V και τα 450V, με μεγαλύτερη συχνότητα απαντάται αυτή των 450V. Παρά την μικρή βελτίωση της αποδοτικότητας (λόγω αύξησης της ισχύος υπό σταθερή ένταση ρεύματος), η τιμή των 450V επιλέγεται και για τη διευκόλυνση της λειτουργίας νέων συστημάτων που απαιτούν ρεύμα τάσης 450V.

Για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και πιο συγκεκριμένα για το δείγμα που μελετήθηκε, φαίνεται ότι η πλειοψηφία δεν διαθέτει ίδια μέσα φορτοεκφόρτωσης. Συνεπώς, οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τον ελλιμενισμό τους θα είναι μικρότερες σε αυτή την κατηγορία.



Εικόνα 22: Σύγκριση Ισχύος

Ακόμα, αντιπαρατέθηκαν οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας κατά τον ελλιμενισμό με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των γεννητριών. Κατά μέσο όρο απαιτείται κατά την παραμονή στο λιμάνι περίπου το 40% της συνολικής εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος για τη λειτουργία των συστημάτων του πλοίου. Σημειώνεται ότι στην συνολική εγκατεστημένη ισχύ έχει συνυπολογιστεί και η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης. Αν δεν είχε συμπεριληφθεί το ποσοστό που θα απαιτούνταν θα αντιστοιχούσε στο 60-65% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος.

Κεφάλαιο 5: Αρχές ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων στα πλοία.

5.1 Ρυθμιστικό πλαίσιο και Κανονισμοί.

Η λειτουργία των ποντοπόρων πλοίων κατά το πέρασμα των ετών χαρακτηρίζεται από την αυξανόμενη εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας για ολοένα και περισσότερες εφαρμογές. Συστήματα πρόωσης, συστήματα ελέγχου, συστήματα εφοδιασμού, συστήματα τηλεπικοινωνιών και συστήματα ασφάλειας βασίζουν την αξιόπιστη και εύρυθμη λειτουργία τους στο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου. Συνεπώς, η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός πλοίου αποτελεί ένα μικρό αλλά ολοκληρωμένο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο βρίσκεται εντός του πλοίου και υπόκειται σε δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας υπό τις οποίες απαιτείται η απρόσκοπτη λειτουργία του.

Σημειώνεται ότι ένα τυπικό εύρος του κόστους της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης ενός πλοίου, για διάφορους τύπους πλοίων, κυμαίνεται από 7% έως και 25% του συνολικού κόστους του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, το εν λόγω ποσοστό επί του συνολικού κόστους του πλοίου ανέρχεται στο 9,1%.

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση όπως και όλες οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις εντός ενός πλοίου διέπονται από συγκεκριμένους κανόνες τους οποίους είναι απαραίτητο να πληρούν σύμφωνα με τις υποδείξεις και τις απαιτήσεις των Νηογνωμόνων, των εκάστοτε Εθνικών Κανονισμών (Σημαία) αλλά και των γενικότερων κανονισμών που τίθενται από τον IMO και τα ρυθμιστικά του όργανα.

Η διαστασιολόγηση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης γίνεται με κριτήριο την κάλυψη των αναγκών του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια στην δυσμενέστερη μελετηθείσα κατάσταση στην οποία ενδέχεται να βρεθεί. Ακόμα, η ύπαρξη της εγκατάστασης στο περιβάλλον του μηχανοστασίου αλλά και στην ευρύτερη κατάσταση πλεύσης του πλοίου ως σύνολο, επιτάσσει την υψηλή ποιότητα και αξιοπιστία των συστημάτων του καθώς και την χρήση πυρίμαχων και αντιαεκρηκτικού τύπου υλικών.

Οι μέγιστες απαιτήσεις κατά τον LRS (2017) για τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις είναι η ικανότητα λειτουργίας των μηχανημάτων και των συσκευών σε:

- Κλίση 15° δεξιά ή αριστερά.
- Διατοιχισμός 22,5°.
- Διαμήκης Κλίση 5°.
- Προνευστασμός 7,5°..
- Θερμοκρασία εντός μηχανοστασίου 85°C.
- Θερμοκρασία εκτός μηχανοστασίου 90°C -95°C.

5.2 Το ηλεκτρικό ρεύμα στα πλοία.

Οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των σύγχρονων πλοίων χρησιμοποιούν για τις ηλεκτρικές τους ανάγκες κατά κύριο λόγο το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), με το συνεχές ρεύμα (DC) να αξιοποιείται σε πολύ συγκεκριμένες εφαρμογές ειδικά από το 1940 και έπειτα. Συνοπτικά αναφέρονται ακολούθως κάποια πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το εναλλασσόμενο ρεύμα έναντι του συνεχούς.

- Μετατροπή Τάσης: Το εναλλασσόμενο ρεύμα επιτρέπει τη χρήση μετασχηματιστή για την ανόρθωση ή τον υποβιβασμό της τάσης του ρεύματος ευκολότερα από το συνεχές ρεύμα.
- Μετάδοση: Το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι καταλληλότερο για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή. Ακόμα, η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής τάσης μειώνει τις απώλειες λόγω αντιστάσεων κατά τη μετάδοση του ρεύματος καθιστώντας το έτσι πιο αποδοτικό.
- Ευκολία ελέγχου: Το εναλλασσόμενο ρεύμα παρουσιάζει ευκολία στη ρύθμισή του, απλοποιώντας τον έλεγχο πολλών εφαρμογών όπως η ρύθμιση της ταχύτητας των κινητήρων.
- Συνδεσιμότητα: Οι ηλεκτρικές συσκευές, οι χώροι ενδιαίτησης καθώς και το δίκτυο φωτισμού λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.
- Κόστος: Εξαιτίας της ευκολίας μετατροπής και διανομής με χαμηλές απώλειες του εναλλασσόμενου ρεύματος έναντι του συνεχούς, επιτυγχάνεται η οικονομικότερη λειτουργία των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

Στην πλειοψηφία τους πλέον τα συστήματα και τα μηχανήματα εναλλασσόμενου ρεύματος λειτουργούν σε τάση και συχνότητα ίσες με:

- Για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση: 60Hz/ 440V ή 50Hz/ 380V.
- Για φωτισμό: 60Hz/ 110V ή 50Hz/ 220V.

Όπως προαναφέρθηκε, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, το μέγεθός του και τις ανάγκες του, οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια ενδέχεται να διαφέρουν κατά πολύ από πλοίο σε πλοίο. Συχνά, εξαιτίας των υψηλών ενεργειακών αναγκών (όπως έχουν τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια-ψυγεία) η ονομαστική τάση λειτουργίας δύναται να ξεπεράσει και τα 1000V. Σε αυτές τις περιπτώσεις πλέον η τάση προσδιορίζεται ως «Υψηλή Τάση» και συνηθέστερα λαμβάνει τις εξής τιμές: 3kV, 3.3 kV, 4.17 kV, 6 kV, 6.6 kV, 11 kV, 15V σε συχνότητα 60Hz.

Η χρήση συστημάτων Υψηλής Τάσης παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων για τα πλοία. Εξαιτίας της υψηλότερης τιμής της τάσης, μειώνεται το απαιτούμενο ρεύμα λειτουργίας το οποίο έχει ως συνέπεια τη μείωση του μεγέθους των χρησιμοποιούμενων καλωδίων και εξοπλισμών και κατ' επέκταση τη μείωση του συνολικού βάρους των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Ως απόρροια των παραπάνω εξοικονομείται πολύτιμος χώρος και διευκολύνεται η συντήρηση των μηχανημάτων και των συσκευών του πλοίου.

Ακόμα, τα μηχανήματα ναυτικού τύπου όπως γεννήτριες, κινητήρες και διακόπτες δεν παράγονται πέρα από συγκεκριμένα μεγέθη για χαμηλότερες τιμές της τάσης. Επομένως οι ίδιες οι ναυτικές κατασκευαστικές τυποποιήσεις επιτάσσουν συχνά την χρήση συστημάτων υψηλότερης τάσης. Σημειώνεται ακόμα ότι οι απώλειες που προκαλούνται στο ηλεκτρικό δίκτυο μειώνονται εκθετικά από την λειτουργία σε υψηλές τιμές τάσης σε σύγκριση με χαμηλότερες τιμές τάσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται η περίπτωση μετάβασης από 440V σε 6,6kV, μια τάση κατά 15 φορές μεγαλύτερη, για την οποία παρατηρείται μείωση των απωλειών κατά 225 φορές.

5.3 Ηλεκτρικός Ισολογισμός.

Ο ηλεκτρικός ισολογισμός ενός πλοίου αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του ελέγχου και της διαχείρισης του ηλεκτρικού συστήματός του. Παρέχει τον λεπτομερή υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας όπου παράγεται, διανέμεται και καταναλώνεται στο πλοίο με σκοπό την διασφάλιση της επάρκειάς της στις διαφορετικές καταστάσεις πλεύσης και λειτουργίας ενός πλοίου. Ορισμένα από τα κύρια στοιχεία και τις λειτουργίες που περιλαμβάνει ο ηλεκτρικός ισολογισμός περιλαμβάνουν:

1. Πηγές Ενέργειας: Προσδιορίζει τις πηγές της ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο, οι οποίες είναι είτε μέσω γεννητριών, είτε μέσω συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (όπως το σύστημα του Shaft Generator), είτε μέσω εναλλακτικών πηγών ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι ανεμογεννήτριες και οι μπαταρίες.
2. Διανομή Ενέργειας: Καθορίζει τον τρόπο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα και τα μηχανήματα του πλοίου. Καταγράφει αναλυτικά τα απαιτούμενα καλώδια με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους, τους διακόπτες, τους πίνακες κατανομής και τους μετασχηματιστές όπου αυτοί χρειάζονται.
3. Κατανάλωση Ενέργειας: Αναλύει την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις διάφορες συσκευές και συστήματα στο πλοίο, όπως η πλοήγηση, οι ηλεκτρικές συσκευές, η κλιματισμός και ο φωτισμός σε κάθε κατάσταση πλεύσης του πλοίου.
4. Εφεδρεία Ενέργειας: Διατυπώνει το ποσό της εφεδρικής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τις διαδικασίες που απαιτούνται για τη διασφάλιση της συνεχούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση προβλημάτων, όπως μία διακοπή ρεύματος εξαιτίας κάποιας δυσλειτουργίας ή βλάβης κάποιας γεννήτριας ή ακόμα και μία περίπτωση έκτακτης ανάγκης για την οποία είναι αναγκαία η επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια.
5. Συστήματα Ελέγχου και Αυτοματισμού: Ο ηλεκτρικός ισολογισμός είναι συνήθως ενσωματωμένος σε συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού που επιτρέπουν την αυτόματη διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ασφάλεια.

Η εκτίμηση των αναγκών ενός πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια είναι αναγκαία ήδη από το στάδιο της προμελέτης. Γνωρίζοντας μόνο τις πολύ βασικές σχεδιαστικές και λειτουργικές απαιτήσεις το υπό σχεδίαση πλοίο, έχουν αναπτυχθεί εμπειρικοί τύποι σύμφωνα με τους οποίους μπορεί

να γίνει μια ικανοποιητική προεκτίμηση του ηλεκτρικού φορτίου που αναμένεται να έχει το πλοίο.

Σε μεταγενέστερο στάδιο κατασκευάζεται ο πλήρης και λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός του πλοίου σύμφωνα με τον οποίο έχουν διαστασιολογηθεί και επιλεγθεί και οι κατάλληλες συσκευές, τα αντίστοιχα καλώδια, οι ζυγοί και οι ασφάλειες. Ο ισολογισμός συνοψίζεται σε μια πινακοποιημένη μορφή όπου απεικονίζεται ο κάθε καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκεται εντός του πλοίου. Στον ίδιο πίνακα παρέχονται οι εξής πληροφορίες για τον εκάστοτε καταναλωτή: ο βαθμός απόδοσης, το πλήθος των όμοιων καταναλωτών, η ονομαστική αποδιδόμενη ισχύς, η ονομαστική απορροφώμενη ισχύς καθώς και η εγκατεστημένη ισχύς.

Εξαιτίας της διευρυμένης αξιοποίησης των σύγχρονων ηλεκτρολογικών συστημάτων στα πλοία, ο ηλεκτρικός ισολογισμός συμπεριλαμβάνει και τους υπολογισμούς της άεργου ισχύος για κάθε υποσύστημά του. Η άεργος ισχύς ενός ηλεκτρικού δικτύου αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική ενέργεια η οποία δεν προσφέρει ωφέλιμο έργο. Παράγεται από διατάξεις που λειτουργούν ως πυκνωτές όπως γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η άεργος ισχύς είναι καθαρά ηλεκτρική και επομένως όση παράγεται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Τόση κρατείται και καταναλώνεται εντός του. Ως εκ τούτου, επειδή η άεργος ισχύς διέρχεται από τα ίδια καλώδια και διατάξεις με την ενεργό, περιορίζει την αποδοτική κυκλοφορία της τελευταίας. Με την εκτέλεση των εν λόγω υπολογισμών βρίσκεται η συνολική απαιτούμενη φόρτιση των γεννητριών του πλοίου.

5.4 Ηλεκτρικά δίκτυα πλοίων.

Ο σχεδιασμός του ηλεκτρολογικού δικτύου ενός πλοίου γίνεται με κριτήριο την αποτελεσματικότητα, τη λειτουργικότητα, την ασφάλεια αλλά και την εξοικονόμηση χρημάτων. Όλοι οι καταναλωτές είτε πρόκειται για τριφασικούς είτε για μονοφασικούς συνδέονται μέσω των υποπινάκων τους στον κεντρικό ηλεκτρολογικό πίνακα από τον οποίο και τροφοδοτούνται. Για τα ζωτικά συστήματα λειτουργίας του πλοίου σχεδιάζεται και το δίκτυο ασφαλείας από το οποίο τροφοδοτούνται με ρεύμα σε περίπτωση που το κύριο δίκτυο διανομής αδυνατεί να λειτουργήσει λόγω βλάβης ή εξαιτίας υπηρεσιακών διαδικασιών του πλοίου όπως η συντήρηση των γεννητριών.

Η τοπολογία των ηλεκτρικών δικτύων των πλοίων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του πλοίου. Σε μικρά πλοία, τα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί να είναι απλούστερα και να περιλαμβάνουν μόνο μια γεννήτρια και λίγα βασικά συστήματα. Σε μεγάλα πλοία, τα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί να είναι πολύπλοκα και να περιλαμβάνουν πολλές γεννήτριες, πίνακες διανομής και συστήματα προστασίας.

5.4.1 Καλώδια, Ασφάλειες και Διακόπτες.

Για τις ναυτικές εφαρμογές τα καλώδια που χρησιμοποιούνται ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις οι οποίες διατυπώνονται στους αντίστοιχους κανονισμούς και τα κατάλληλα για κάθε εφαρμογή πρότυπα. Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν τα καλώδια ναυτικού τύπου είναι τα εξής:

- Αντοχή σε Υγρασία και Διάβρωση: κατασκευάζονται για να αντέχουν στην έκθεση σε υγρασία, θαλασσινό νερό και άλλες διαβρωτικές ουσίες που συναντώνται συχνά σε στο θαλάσσιο περιβάλλον. Χρησιμοποιούν συχνά ειδικά υλικά μόνωσης και μανδύα που είναι αδιαπέραστα από τη διάβρωση και τη διείσδυση νερού.
- Αντοχή σε Υψηλές Θερμοκρασίες: χρησιμοποιούνται καλώδια τα οποία είναι ανθεκτικά στην φλόγα και με υλικά τα οποία επιβραδύνουν την εξάπλωση μιας πιθανής πυρκαγιάς (IEC 60332-3-22, IEC 60331-21, IEC 60331-1).
- Χαμηλές εκπομπές καπνού: για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση πυρκαγιάς τα καλώδια κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εκπέμπουν πολύ μικρή ποσότητα καπνού (IEC 61034).
- Αντοχή σε Χημικά: σχεδιάζονται για να αντέχουν την έκθεση σε λάδια, καύσιμα και χημικές ουσίες που δύναται να βρεθούν στα πλοία (IEC 60754-2, DIN EN 60811-404).

- Χωρίς Αλογόνο: δεν περιέχουν στη δομή τους αλογονωμένα στοιχεία τα οποία μπορούν να προκαλέσουν επικίνδυνες αναθυμιάσεις κατά την έκθεσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες (IEC 60754-1, EN/IEC 50267-1).
- Αντίσταση στην Ηλιακή Ακτινοβολία: η έκθεση καλωδίων που δεν διαθέτουν την κατάλληλη προστασία στον ήλιο προκαλεί την καταστροφή της μόνωσης και κατά συνέπεια την μείωση της απόδοσής τους.
- Ευκαμψία και Ευελιξία: κατά περίπτωση, ανάλογα με την επιθυμητή χρήση, τα ναυτικού τύπου καλώδια χρειάζεται να έχουν επαρκή αντοχή σε επαναλαμβανόμενη κάμψη αλλά και δομή τέτοια όπου τα καθιστά ευέλικτα ώστε να προσαρμόζονται στις ανάγκες της κάθε εφαρμογής.
- Πιστοποίηση Τάσης και Έντασης ρεύματος: κάθε διαφορετικό είδος καλωδίου σχεδιάζεται με σκοπό να ικανοποιεί τις λειτουργικές ανάγκες της εφαρμογής της οποίας βρίσκεται. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε χαμηλές τάσεις διαφέρουν με αυτά των υψηλότερων τάσεων.

Ως προς τη δομή του ένα καλώδιο αποτελείται από τον ηλεκτρικό αγωγό ο οποίος κατασκευάζεται συνήθως από χαλκό (Cu) και σπανιότερα ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών από αλουμίνιο (Al). Ο χαλκός αποτελεί καλύτερο αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος και συνεπώς μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας με λιγότερες απώλειες ενώ επιπλέον προσφέρει ευκολία στην χρήση λόγω της μεγαλύτερης ευκαμψίας του. Οι αγωγοί αλουμινίου εξυπηρετούν την εξοικονόμηση βάρους αλλά παράλληλα αποτελούν και μία πιο ακριβή λύση.

Τον αγωγό περιβάλλουν υλικά τα οποία παρέχουν θερμική και ηλεκτρική μόνωση. Ο αγωγός ενδέχεται να τυλίγεται με μονωτική ταινία ινών γυαλιού (Mica) ενώ για το ενδιάμεσο περίβλημα χρησιμοποιούνται το πολυβινυλοχλωρίδιο, το αιθυλοπροπυλένιο ή σε ακόμα πιο απαιτητικές εφαρμογές το σταυρωτό πολυαιθυλένιο (XLPE) το οποίο παρέχει υψηλότερη διηλεκτρική αντοχή, υψηλή αντίσταση μόνωσης και αυξημένο θερμοκρασιακό εύρος της μόνωσης. Ο εσωτερικός μανδύας αποτελεί το υπόστρωμα κάτω από τη θωράκιση και εξυπηρετεί την προστασία των αγωγών αλλά και τον διαχωρισμό τους από τα εξωτερικά δομικά στοιχεία του καλωδίου. Η θωράκιση ή πανοπλία του καλωδίου η οποία παρέχεται από δικτυωτό μεταλλικό πλέγμα προστατεύει το καλώδιο από την ανάπτυξη ηλεκτρομαγνητικών πεδίων εξαιτίας της λειτουργίας τους και προσφέρει αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις. Τέλος το καλώδιο περιβάλλεται από την εξωτερική επένδυση η οποία είναι από πολυβινυλοχλωρίδιο και προστατεύει το καλώδιο από τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπως η επαφή με ύδατα και η ηλιακή ακτινοβολία.

Μια τυπική διατομή ενός καλωδίου ναυτικού τύπου με τα χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν παραπάνω φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί μαζί με το επεξηγηματικό υπόμνημα.



Εικόνα 23: Διατομή καλωδίου ναυτικού τύπου (Πηγή: Hellenic Cables)

1.	Ηλεκτρικός αγωγός
2.	Τύλιγμα μονωτικής ταινίας
3.	Ηλεκτρική και θερμική μόνωση
4.	Επένδυση εσωτερικού μανδύα
5.	Θωράκιση
6.	Επένδυση εξωτερικού μανδύα

Πίνακας 9: Επεξηγηματικό υπόμνημα για την Εικόνα 19

Τα καλώδια και οι διακόπτες απαντώνται σε τυποποιημένα μεγέθη των οποίων οι τιμές για την μέγιστη ένταση σε Ampere (A) για συνεχή λειτουργία βρίσκονται στον ακόλουθο πίνακα.

6	10	16	20	25	35	50
63	80	100	125	160	200	250
400	630	1000	1250	1600	2000	3150

Πίνακας 10: Τυποποιημένες τιμές διακοπών και ασφαλειών σε Ampere (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)

5.4.2 Υπολογισμός Έντασης Ρεύματος.

Η ονομαστική ένταση του ρεύματος που διαρρέει κάθε καλώδιο, υπολογίζεται στην κατάσταση πλήρους φορτίου μέσω των εξισώσεων που διατυπώνονται ακολούθως. Η ένταση αυτή ονομάζεται «Ένταση Γραμμής», συμβολίζεται με I_{γ} και μετριέται σε μονάδες Ampere (A). Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις για τον υπολογισμό της:

- Για Συνεχές Ρεύμα:

$$I_{\gamma} = \frac{P}{V}$$

- Για μονοφασικό καταναλωτή Εναλλασσόμενου Ρεύματος:

$$I_{\gamma} = \frac{P}{V * \cos\varphi}$$

- Για τριφασικό καταναλωτή Εναλλασσόμενου Ρεύματος:

$$I_{\gamma} = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi}$$

Για τους ανωτέρω τύπους σημειώνονται τα εξής:

P: εκφράζει την ονομαστική απορροφώμενη ισχύ μετρούμενη σε μονάδες Watt (W).

V: εκφράζει την ονομαστική τάση μετρούμενη σε μονάδες Volt (V).

$\cos\varphi$: εκφράζει τον συντελεστή ισχύος (power factor). Τυπικά λαμβάνει τιμή περίπου ίση με 0,85 αλλά σε καθαρά ωμικά φορτία (όπως ο φωτισμός) λαμβάνεται ίσος με 1.

Εφόσον βρεθεί η ονομαστική ένταση του ρεύματος γραμμής εκτελούνται οι υπολογισμοί της έντασης του ρεύματος για τον προσδιορισμό των καλωδίων, των ασφαλειών και των διακοπών σύμφωνα με τις σχέσεις που ακολουθούν.

- Για Δίκτυο Φωτισμού:

$$I = I_{\gamma}$$

- Για γραμμή που τροφοδοτεί έναν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς λειτουργίας:

$$I = 1,25 * I_{\gamma}$$

- Για γραμμή που τροφοδοτεί περισσότερους του ενός ηλεκτροκινητήρα συνεχούς λειτουργίας:

$$I = 1,25 * I_{\gamma 1} + \sum_{i \neq 1} I_{\gamma i} + 0,5 * \sum_j I_{s j}$$

Για τους ανωτέρω τύπους σημειώνονται τα εξής:

$I_{\gamma 1}$: εκφράζει την ονομαστική ένταση της γραμμής για τον μεγαλύτερο κινητήρα του συγκροτήματος μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

$I_{\gamma i}$, $i \neq 1$: εκφράζει την ονομαστική ένταση της γραμμής για καθένα από τους υπόλοιπους κινητήρες της εγκατάστασης μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

$I_{s j}$: εκφράζει την ονομαστική ένταση του εφεδρικού διακόπτη j, σε περίπτωση που προβλέπονται εφεδρικοί διακόπτες στον πίνακα, μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

5.4.3 Πτώση Τάσης Αγωγού.

Σύμφωνα με τον Αγγλικό νηογνώμονα (Lloyd's Register of Ships - LRS) το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο για την τιμή της πτώσης της τάσης σε μία γραμμή ισούται με το 6% της ονομαστικής τάσης για τις εγκαταστάσεις των πλοίων.

Η πραγματική τιμή της πτώσης της τάσης υπολογίζεται βάσει των παρακάτω εξισώσεων.

- Για δίκτυο Συνεχούς Ρεύματος δύο αγωγών:

$$\Delta V = \frac{2 * l * \rho * I}{S}$$

- Για μονοφασικό δίκτυο Εναλλασσόμενου Ρεύματος:

$$\Delta V = \frac{2 * l * \rho * I}{S}$$

- Για τριφασικό δίκτυο τριών ενεργών αγωγών Εναλλασσόμενου Ρεύματος:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * l * \rho * I}{S}$$

Για τους ανωτέρω τύπους σημειώνονται τα εξής:

ΔV : εκφράζει την πτώση της τάσης μετρούμενη σε μονάδες Volt (V).

l : εκφράζει το μήκος της γραμμής μετρούμενο σε μέτρα (m).

ρ : εκφράζει την ειδική αντίσταση του υλικού του αγωγού μετρούμενη σε μονάδες ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)

- Για αγωγούς χαλκού: $\rho = 0,0176 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.
- Για αγωγούς αλουμινίου: $\rho = 0,0294 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

I : εκφράζει την ένταση του ρεύματος μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

S : εκφράζει τη διατομή του αγωγού μετρούμενη σε τετραγωνικά μέτρα (mm^2).

5.4.4 Εύρεση Διατομής Αγωγών.

Η διατομή των αγωγών προσδιορίζεται με τη χρήση πινάκων που παρέχονται από τους νηογνώμονες γνωρίζοντας την ένταση (με τον τρόπο που αυτή δείχθηκε ότι υπολογίζεται στην Παράγραφο [5.4.2](#)) και αναγράφουν την μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος σε συνάρτηση με την ονομαστική τιμή της διατομής του αγωγού. Ακολούθως παρατίθενται πίνακες τυποποιήσεων του νηογνώμονα DNV-GL για θερμοκρασίες λειτουργίας 60°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C, 95°C σε σενάρια συνεχούς λειτουργίας, λειτουργίας 30 λεπτών και λειτουργίας 60 λεπτών. Θεωρώντας τυπικότερες τιμές θερμοκρασιών αυτές της τάξης των 80°C και 85°C ακολουθεί ο αντίστοιχος πίνακας της μέγιστης επιτρεπόμενης έντασης για τις εν λόγω θερμοκρασίες λειτουργίας. Για λόγους πληρότητας παρατίθενται στο [Παράρτημα Β](#) οι αντίστοιχοι πίνακες για τις θερμοκρασίες λειτουργίας των 60°C - 75°C και 90°C - 95°C.

Όνομαστική Διατομή	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για μέγιστη θερμοκρασία ίση με:					
	80 °C			85 °C		
	Συνεχής Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών	Συνεχής Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών
[mm ²]	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.
Μονοπολικά Καλώδια						
1	15	16	16	16	17	17
1.5	19	20	20	20	21	21
2.5	26	28	28	28	30	30
4	35	37	37	38	40	40
6	45	48	43	48	51	51
10	63	67	67	67	71	71
16	84	89	89	90	95	95
25	110	118	117	120	128	127
35	140	151	148	145	157	154
50	165	180	175	180	196	191
70	215	239	228	225	250	239
95	260	294	278	275	311	294
120	300	348	321	320	371	342
150	340	401	367	365	431	394
185	390	476	425	415	506	452
240	460	580	511	490	617	544
300	530	694	599	560	734	633
Διπολικά Καλώδια						
1	13	13	13	14	14	14
1.5	16	17	17	17	18	18
2.5	22	24	23	24	26	25
4	30	32	32	32	35	34
6	38	41	40	41	45	43
10	53	59	56	57	63	60
16	71	80	76	76	86	81
25	93	111	100	102	121	110
Τριπολικά ή Τετραπολικά Καλώδια						
1	10	11	11	11	12	12
1.5	13	14	14	14	15	15
2.5	18	19	19	20	22	21
4	24	26	25	27	29	29
6	31	34	33	34	37	36
10	44	49	47	47	53	50

16	59	67	63	63	72	67
25	77	92	84	84	101	92
35	98	122	108	101	125	111
50	115	150	129	126	164	141
70	150	206	173	157	215	181
95	182	262	217	192	276	228
120	210	315	256	224	336	273
Πολυκλωνικά Καλώδια						
5 × 1.5	11			12		
7 × 1.5	11			10		
10 × 1.5	9			9		
12 × 1.5	8			9		
14 × 1.5	8			8		
16 × 1.5	7			8		
19 × 1.5	7			7		
24 × 1.5	7			7		

Πίνακας 11: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για διαφορετικές διατομές και μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας 80°C και 85°C (Πηγή: DNV GL)

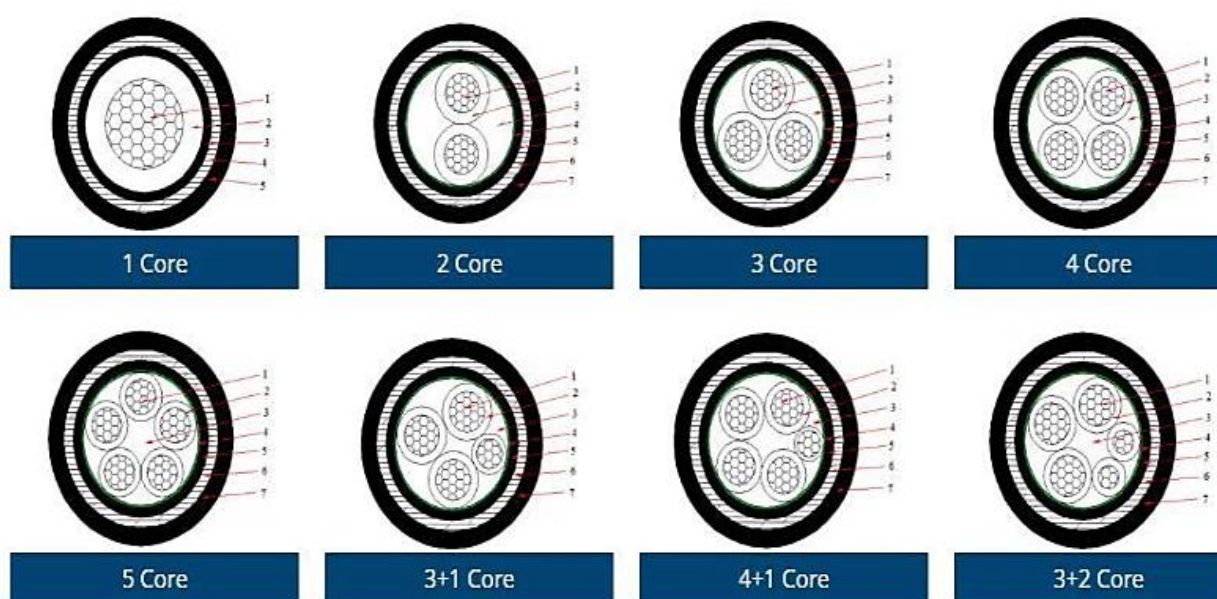
Για την θερμοκρασία των 85°C και για την εκάστοτε επιλεχθείσα τυποποιημένη ονομαστική διατομή, διαστασιοποιείται και η μέγιστη ένταση της συνεργαζόμενης ασφάλειας θερμικής προστασίας από τον παρακάτω πίνακα.

Ονομαστική Διατομή	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγού σε συνεχή λειτουργία στους 85°C	Ονομαστική ένταση συνεργαζόμενης θερμικής ασφάλειας
[mm ²]	[A]	[A]
1.5	20	20
2.5	28	25
4	38	35
6	48	50
10	67	63
16	90	80
25	120	100
35	145	125
50	180	160
70	225	224

95	275	250
120	320	315
150	365	-
185	415	-
240	490	-
300	560	-

Πίνακας 11: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση καλωδίων και συνεργαζόμενων θερμικών ασφαλειών για συνεχή λειτουργία στους 85°C και για διάφορες ονομαστικές διατομές (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)

Εν συνεχεία, εκτελείται ο υπολογισμός της πτώσης της τάσης όπως αυτός παρουσιάστηκε στην [Παράγραφο 5.4.3](#). Αν παρατηρηθεί ότι η τιμή υπερβαίνει το όριο του 6% τότε επιλέγεται το αμέσως επόμενο τυποποιημένο μέγεθος διατομής όπως φαίνεται από τους πίνακες και ακολούθως εκτελείται επανέλεγχος. Η διαδικασία αυτή δύναται να εκτελεσθεί και αντιστρόφως, υπολογίζοντας πρώτα τη μέγιστη επιτρεπτή πτώση τάσης σύμφωνα με την ονομαστική τάση λειτουργίας και ύστερα με επίλυση των εξισώσεων ως προς την επιφάνεια της διατομής S ώστε να προκύψει η ελάχιστη τιμή της. Από τους διαθέσιμους πίνακες επιλέγεται η κατάλληλη διατομή του αγωγού ώστε να ικανοποιούνται τα όρια μέγιστης τάσης και διατομής ταυτόχρονα.



Εικόνα 24: Διαφορετικές διατομές καλωδίων ναυτικού τύπου ανάλογα με το πλήθος των πόλων τους (Πηγή: Lyyrcable)

Ένας διορθωτικός συντελεστής 0,85 επί της αναγραφόμενης τιμής του πίνακα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν περισσότερα από έξι ηλεκτρικά καλώδια, τα οποία αναμένεται να λειτουργούν ταυτόχρονα στην πλήρη ονομαστική τους ικανότητα, είναι τοποθετημένα σε δέσμη καλωδίων τόσο στενά μεταξύ τους ώστε να μην υπάρχει χώρος για την κυκλοφορία του αέρα γύρω τους.

Η μέγιστη τιμή της έντασης του ρεύματος στον ανωτέρω πίνακα αναφέρεται σε κατάσταση όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος ισούται με 45°C. Για διαφορετικές τιμές θερμοκρασιών του περιβάλλοντος η επιτρεπόμενη ονομαστική ένταση ρεύματος πρέπει να προσαρμόζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας:	Θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με:										
	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	85°C
60°C	1.29	1.15	1.00	0.82	-	-	-	-	-	-	-
75°C	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58	-	-	-	-
80°C	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53	-	-	-
85°C	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.50	-	-
90°C	1.10	1.05	1.00	0.94	0.88	0.82	0.74	0.67	0.58	0.47	-
95°C	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55	0.45

Πίνακας 12: Διορθωτικοί συντελεστές αγωγών για διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας και περιβάλλοντος (Πηγή: DNV GL)

Η συνεχής ονομαστική ισχύς του καλωδίου μπορεί να αυξηθεί κατά ένα συντελεστή λειτουργίας (Duty Factor – DF), ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με τα ακόλουθα, όταν το φορτίο δεν είναι συνεχές, δηλαδή όταν πρόκειται για λειτουργίες για περιόδους μισής ώρας ή μιας ώρας και οι περίοδοι χωρίς φορτίο είναι μεγαλύτερες από το τριπλάσιο της σταθεράς χρόνου του καλωδίου, T, σε λεπτά.

$$DF = \sqrt{\frac{1,12}{1 - e^{-\frac{t_s}{T}}}}$$

Όταν το φορτίο δεν είναι συνεχές, επαναλαμβανόμενο και έχει περιόδους μεταξύ των εφαρμογών του φορτίου που είναι μικρότερες από τρεις φορές τη σταθερά χρόνου του καλωδίου, η συνεχής ονομαστική τιμή του καλωδίου μπορεί να αυξηθεί κατά ένα συντελεστή διακοπτόμενου φορτίου (Intermittent Factor – IF), ο οποίος καθορίζεται σύμφωνα με:

$$IF = \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_p}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_s}{T}}}}$$

Για τους ανωτέρω τύπους σημειώνονται τα εξής:

t_s : εκφράζει τον χρόνο φόρτισης μετρούμενη σε λεπτά (min).

T : ισούται με $0,245 * d^{1,35}$ όπου το d εκφράζει την ολική διάμετρο του καλωδίου μετρούμενη σε χιλιοστά (mm).

t_p : η περίοδος των διακοπών, δηλαδή η συνολική περίοδος φόρτισης και μη φόρτισης πριν από την επανάληψη αυτού του κύκλου, μετρούμενη σε λεπτά (min).

5.4.5 Διατομή Ζυγών Πινάκων.

Ζυγοί ονομάζονται οι αγωγοί ορθογωνικής διατομής, οι οποίοι τοποθετούνται εντός των πινάκων και εξυπηρετούν τη στήριξη και τη σύνδεση των τροφοδοτικών καλωδίων των πινάκων με τις γραμμές που τροφοδοτούν τους καταναλωτές. Η διατομή του ζυγού επιλέγεται από έναν πίνακα τυποποιημένων διατομών βάσει της μέγιστης έντασης ρεύματος που αναμένεται να τον διαρρέει η οποία μπορεί να υπολογιστεί με άθροιση όλων των ονομαστικών τιμών ρευμάτων των καταναλωτών που συνδέονται στον εκάστοτε ζυγό σύμφωνα με τους Νόμους Ρευμάτων του Kirchhoff. Στην αθροιστική διαδικασία υπεισέρχονται κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας και ο τελικός υπολογισμός γίνεται μέσω του ακόλουθου τύπου:

$$I = 1,25 * I_{\gamma 1} + \sum_{i \neq 1} I_{\gamma i} + 0,5 * \sum_j I_{s j}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

I_{V1} : εκφράζει την ονομαστική ένταση της γραμμής για τον μεγαλύτερο κινητήρα του συγκροτήματος μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

I_{Vi} , $i \neq 1$: εκφράζει την ονομαστική ένταση της γραμμής για καθένα από τους υπόλοιπους κινητήρες της εγκατάστασης μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

I_{sj} : εκφράζει την ονομαστική ένταση του εφεδρικού διακόπτη j , σε περίπτωση που προβλέπονται εφεδρικοί διακόπτες στον πίνακα, μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

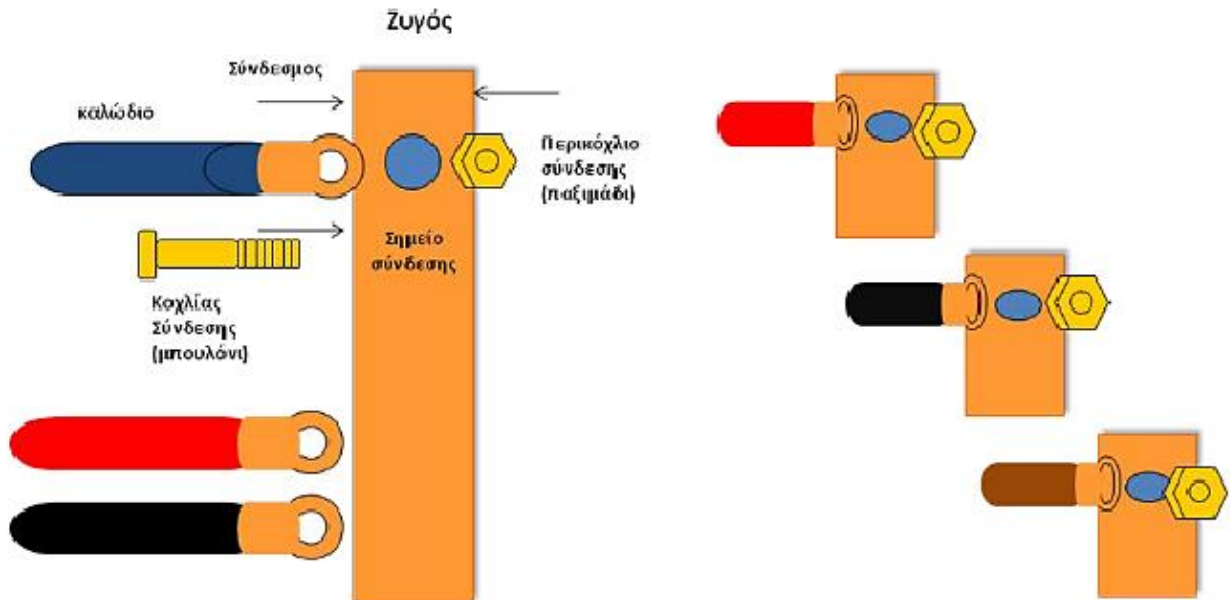
Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας των διαθέσιμων τυποποιημένων διατομών των ζυγών με την αντίστοιχη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της έντασης του ρεύματος για κάθε διατομή.

Διατομή χάλκινου ζυγού [mm ²]	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος [A] max.
100	200
200	315
300	400
400	630
500	800
600	1000
800	1250
1000	1600
1600	2000
2000	2500
2400	3150
3200	4000

Πίνακας 13: Τυποποιημένες διατομές ζυγών με την αντίστοιχη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή έντασης ρεύματος (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)

Σημειώνεται πως η διαστασιολόγηση των ζυγών των πινάκων των γεννητριών εκπίπτουν της διαδικασίας υπολογισμού που έχει περιγραφεί. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της έντασης του ρεύματος θα ισούται σε αυτή την περίπτωση με την ονομαστική τιμή της εκάστοτε γεννήτριας εφόσον σε αντίθετη περίπτωση οι γεννήτριες θα υπερφορτίζονταν. Ειδικότερα, ο πίνακας διασύνδεσης ξηράς απαιτείται να καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου κατά

τον ελλιμενισμό του όπως αυτές προκύπτουν από τον ηλεκτρικό ισολογισμό του πλοίου. Συχνά, γίνεται παράλληλη λειτουργία της διασύνδεσης με την ξηρά και των γεννητριών του πλοίου με στόχο την αποφυγή διακοπών ρεύματος κατά της σύνδεση και την αποσύνδεση του πλοίου.



Εικόνα 25: Σύνδεση ζυγών πινάκων και απεικόνιση τριφασικής διάταξης (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)

Κεφάλαιο 6: Μελέτη Βραχυκυκλώματος.

6.1 Η έννοια του βραχυκυκλώματος.

Ως βραχυκύκλωμα ορίζεται η αγώγιμη σύνδεση δύο σημείων διαφορετικού δυναμικού μέσω πολύ μικρής ωμικής αντίστασης, με αποτέλεσμα την κυκλοφορία ρεύματος πολύ υψηλής έντασης όπως προκύπτει από τον Νόμο του Ohm που δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{V}{R}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

I: εκφράζει την τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

V: εκφράζει την ονομαστική τάση λειτουργίας μετρούμενη σε μονάδες Volt (V).

R: εκφράζει την τιμή της ωμικής αντίστασης σε μονάδες Ohm (Ω).

Επομένως για ολοένα και μικρότερες τιμές της ωμικής αντίστασης η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα βαίνει συνεχώς αυξανόμενη. Για τιμές ωμικής αντίστασης που τείνουν στο μηδέν τότε η ένταση του ρεύματος θα τείνει προς το άπειρο.

Οι συνέπειες ενός βραχυκυκλώματος εξαρτώνται από την ισχύ του ρεύματος, τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος αλλά και τη θέση στην οποία λαμβάνει χώρα. Η διαρροή των αγωγών από ρεύμα πολύ υψηλής έντασης, μεγαλύτερης από την επιτρεπόμενη, προκαλεί την υπερθέρμανση των αγωγών και κατ' επέκταση του εξοπλισμού ολόκληρου. Ως απόρροια, ενδέχεται να καταστραφούν οι ίδιοι οι αγωγοί εξαιτίας της τήξης των μετάλλων αλλά και η μόνωση τους σε περίπτωση που παραβιαστούν τα ασφαλή θερμικά όριά τους. Η υπερθέρμανση είναι ικανή να προκαλέσει την έναρξη πυρκαγιάς θέτοντας σε άμεσο κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή και δευτερευόντως την καταστροφή του εξοπλισμού που θα επηρεαστεί.

Οι μη καταστροφικές συνέπειες ενός βραχυκυκλώματος περιλαμβάνουν τις παραμορφώσεις των αγώγιμων μερών εξαιτίας των πολύ υψηλών αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών και την δημιουργία μηχανικών ταλαντώσεων εξαιτίας της απότομης αλλαγής του φορτίου μεταξύ στοιχείων του κυκλώματος που αποθηκεύουν ενέργεια όπως τα πηνία και οι πυκνωτές.

6.2 Κανονισμοί που διέπουν τα βραχυκυκλώματα.

Η μελέτη των βραχυκυκλωμάτων γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα που ορίζονται από την Διεθνή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνίας (IEC). Οι κανονισμοί της εν λόγω επιτροπής συμπεριλαμβάνουν τις απαιτήσεις τόσο για τις εγκαταστάσεις των πλοίων όσο και της ξηράς. Πιο συγκεκριμένα οι αντίστοιχοι κανονισμοί φαίνονται παρακάτω:

IEC 61660-1: Βραχυκυκλώματα εγκαταστάσεων ξηράς Συνεχούς Ρεύματος.

IEC 61909: Βραχυκυκλώματα εγκαταστάσεων ξηράς Εναλλασσόμενου Ρεύματος.

IEC 61363: Βραχυκυκλώματα εγκαταστάσεων πλοίων Εναλλασσόμενου Ρεύματος.

Αντίθετα με τις εγκαταστάσεις ξηράς για τις οποίες απαιτείται μελέτη βραχυκυκλώματος μόνο για εγκαταστάσεις μεγαλύτερες του 1kV, για τις εγκαταστάσεις των πλοίων απαιτείται η εκτέλεση μελέτης για κάθε δίκτυο. Ο κανονισμός IEC 61363 επεκτείνεται πέραν της μεθοδολογίας υπολογισμού που παρουσιάζεται στον κανονισμό IEC 61909, προσθέτοντας την απαίτηση μελέτης για τριφασικό βραχυκύκλωμα και ορίζοντας ότι οι υπολογισμοί πρέπει να γίνονται για χρονική στιγμή ίση με την πρώτη ημιπερίοδο ($T/2$) της ονομαστικής ηλεκτρικής συχνότητας του δικτύου (οπότε ουσιαστικά δεν έχει πραγματοποιηθεί καθόλου απόσβεση).

6.3 Προστασία από βραχυκύκλωμα.

Η προστασία από ένα βραχυκύκλωμα είναι κρίσιμη για την ασφάλεια των ηλεκτρικών συστημάτων και των συσκευών. Η προφύλαξη από βραχυκυκλώματα έγκειται στην άμεση διακοπή της λειτουργίας ενός κυκλώματος μόλις εντοπιστεί ένταση ρεύματος μεγαλύτερη των επιτρεπτών ορίων. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προστασίας από βραχυκυκλώματα, και ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρικού κυκλώματος και τις ανάγκες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ή περισσότερες συνδυαστικά.

Η πιο συνηθισμένη και οικονομικότερη μορφή προστασίας είναι οι θυσιαζόμενες ασφάλειες. Αποτελούν μια εύκολα αντικαταστάσιμη και φθηνή διάταξη η οποία κατά το βραχυκύκλωμα καίγεται ή ανοίγεται με αποτέλεσμα τη διακοπή της αγωγίσιμης ροής του ρεύματος και τη διαφύλαξη του εξοπλισμού. Οι ίδιες οι ασφάλειες καταστρέφονται με τέτοιο τρόπο που δεν απειλούν την ακεραιότητα του υπόλοιπου εξοπλισμού αφού δεν εμφανίζουν κατά την καταστροφή του κίνδυνο ανάφλεξης ή έκρηξης.

Μία ακόμα μέθοδος προστασίας έναντι του βραχυκυκλώματος αποτελούν οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος (Circuit Breakers). Εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό με τις ασφάλειες και λειτουργούν όμοια διακόπτοντας την ροή του ρεύματος μόλις ανιχνευθεί ένταση ρεύματος μεγαλύτερη από την επιτρεπτή. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων έγκειται στην ικανότητα των αυτόματων διακοπών να μπορούν να επανακινηθούν σε περίπτωση βραχυκυκλώματος εφόσον το αίτιο που το προκάλεσε έχει αποκατασταθεί. Ακόμα, οι αυτόματοι διακόπτες προσφέρουν την ευελιξία της απομόνωσης ενός κυκλώματος σε περίπτωση επισκευών ή συντήρησης.

Για την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία των διακοπτικών διατάξεων, απαιτείται η ονομαστική τιμή του ρεύματος διακοπής να είναι μεγαλύτερη από το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης διότι σε αντίθετη περίπτωση θα καταστρέφονταν και το προστατευτικό στοιχείο αλλά και η εγκατάσταση η ίδια.

6.4 Μελέτη βραχυκυκλώματος.

Η μελέτη βραχυκυκλωμάτων ενός ηλεκτρικού συστήματος είναι απαραίτητη για την επιλογή των κατάλληλων πινάκων, ζυγών και διακοπτικών διατάξεων και για την εκτίμηση της αντοχής των εν λόγω διατάξεων.

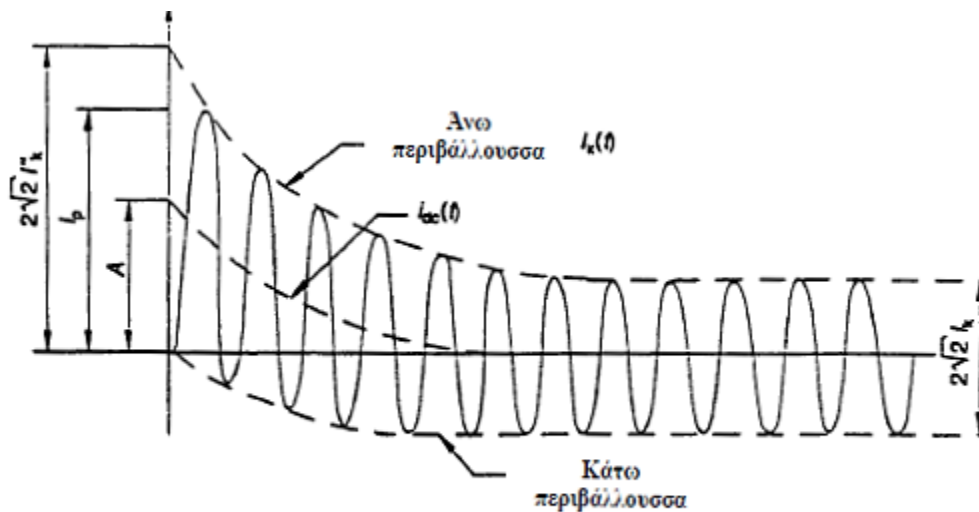
Οι ηλεκτρικές διατάξεις ενός δικτύου, όσον αφορά τη μελέτη του βραχυκυκλώματος, χωρίζονται σε ενεργητικές και παθητικές ανάλογα με τη συμμετοχή τους στην διατήρησή του. Ως παθητικά ορίζονται τα στοιχεία που δεν τροφοδοτούν το βραχυκύκλωμα και λειτουργούν μόνο ως σύνθετες αντιστάσεις. Παραδείγματα τέτοιων στοιχείων είναι τα καλώδια, τα επαγωγικά πηνία και οι μετασχηματιστές. Αντίθετα, τα στοιχεία τα οποία συντηρούν το βραχυκύκλωμα καλούνται ενεργητικά και στα πλαίσια της μελέτης του ηλεκτρικού δικτύου ενός πλοίου ως ενεργητικά λαμβάνονται όλες οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές είτε λειτουργώντας ως κινητήρες είτε ως γεννήτριες.

Οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές χωρίζονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες. Κατά κύριο λόγο οι σύγχρονες μηχανές λειτουργού ως γεννήτριες με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του δικτύου, ενώ οι ασύγχρονες μηχανές αξιοποιούνται ως κινητήρες σε πληθώρα διαφορετικών εφαρμογών στις οποίες απαιτείται η εφαρμογή περιστροφικής κίνησης. Σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, η μεγαλύτερη συνεισφορά στη διατήρηση ενός βραχυκυκλώματος προέρχεται από τις σύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές, με τη συμμετοχή των ασύγχρονων να είναι αρκετά μικρότερη και να εντοπίζεται στην έναρξη του σφάλματος.

Η μελέτη του βραχυκυκλώματος εκτελείται όπως έχει προαναφερθεί για τριφασική κατάσταση βραχυκύκλωσης, η οποία αν και είναι η λιγότερο πιθανή να συμβεί, αποτελεί την δυσμενέστερη κατάσταση βραχυκυκλώματος αφού τότε παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες τιμές έντασης του ρεύματος.

6.4.1 Βραχυκύκλωμα σύγχρονων μηχανών.

Τα κυρίαρχα μεγέθη και ο τρόπος με τον οποία λαμβάνει χώρα ένα βραχυκύκλωμα σύγχρονης μηχανής περιγράφεται με τη βοήθεια της αντίστοιχης τυπικής κυματομορφής του ρεύματος βραχυκύκλωσης.



Εικόνα 26: Τυπική κυματομορφή ρεύματος βραχυκυκλώματος σύγχρονης μηχανής (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)

I''_k	Αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως
i_p	Κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως
I_k	Ρεύμα βραχυκυκλώσεως στη μόνιμη κατάσταση
i_{dc}	Αποσβεννύμενη μη περιοδική συνιστώσα του ρεύματος βραχυκυκλώσεως
A	Αρχική τιμή της μη περιοδικής συνιστώσας

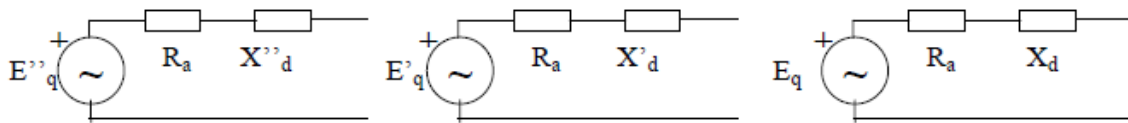
Πίνακας 14: Επεξηγηματικό υπόμνημα για την Εικόνα 22

Η ανωτέρω κυματομορφή αναλύεται στις δύο συνιστώσες από τις οποίες αποτελείται, την συνιστώσα του συνεχούς ρεύματος και τη συνιστώσα του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η συνιστώσα του συνεχούς ρεύματος ευθύνεται για την τιμή της έντασης του ρεύματος στην αρχή του βραχυκυκλώματος, δηλαδή για το κρουστικό ρεύμα της βραχυκύκλωσης, και καθορίζει το ονομαστικό μέγεθος των διακοπτικών στοιχείων. Επιπλέον, εξαιτίας της επίδρασής της στο ξεκίνημα του σφάλματος, προκαλεί ασυμμετρία στην κυματομορφή ως προς τον άξονα των χρόνων η οποία σύντομα αποσβέννυται.

Η συνιστώσα του εναλλασσόμενου ρεύματος, η οποία αποτελεί και την κυρίαρχη συνιστώσα του ρεύματος, βαίνει μειούμενη χρονικά εξαιτίας της αλλαγής των τιμών των επαγωγικών στοιχείων των μηχανών στις τιμές μόνιμης κατάστασης. Οι καταστάσεις τις οποίες διανύει η συνιστώσα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι τρεις και αναλύονται ακολούθως. Αρχικά, κατά την υπομεταβατική κατάσταση οι επαγωγικές αντιδράσεις X_d'' και X_q'' λαμβάνουν τις χαμηλότερες τιμές τους και το φαινόμενο έχει διάρκεια 2-5 κύκλων. Ακολούθως, στην μεταβατική κατάσταση εμφανίζονται οι μεγαλύτερες τιμές των επαγωγικών αντιδράσεων X_d' και X_q' για μία διάρκεια 10-15 κύκλων. Τέλος, η μηχανή περνά στην μόνιμη κατάσταση βραχυκύκλωσης στην οποία οι επαγωγικές αντιδράσεις X_d και X_q είναι μόνιμης κατάστασης και διαρκεί όσο λαμβάνει χώρα το βραχυκύκλωμα.

Ενδεικτικά παρατίθενται οι τυπικές τιμές των επαγωγικών αντιδράσεων με την X_d'' να κυμαίνεται μεταξύ 10-20 %, την X_d' μεταξύ 20-30 % και την X_d μεταξύ 150-200 %.



Εικόνα 27: Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας σε βραχυκύκλωμα. Από αριστερά προς τα δεξιά διακρίνονται οι υπομεταβατική κατάσταση, η μεταβατική κατάσταση και η μόνιμη κατάσταση (Πηγή: Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Χ. Φραγκόπουλος – Ι. Προυσαλίδης)

6.4.2 Μέθοδος υπολογισμού βραχυκυκλώματος.

Ο καθορισμός των μεγεθών του βραχυκυκλώματος και κατ' επέκταση ο υπολογισμός του βασίζεται στον ορισμό κάποιων μεγεθών βάσεως τα οποία λειτουργού ως τιμές αναφοράς των λοιπών ηλεκτρικών μεγεθών. Θεωρώντας ως βασικό μέγεθος την τάση (V_{bas}) μπορούν να προσδιοριστούν και άλλα παράγωγα μεγέθη βάσεως.

Αρχικά προσδιορίζεται η τιμή της βασικής αντίστασης (Z_{bas}) η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$Z_{bas} = \frac{V_{bas}^2}{S_{bas}} \Rightarrow Z_{bas} = \frac{V_{bas}^2}{\frac{P}{\Sigma.I.}}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

Z_{bas} : εκφράζει την τιμή της βασικής αντίστασης μετρούμενη σε μονάδες Ohm (Ω).

V_{bas} : εκφράζει την βασική τάση μετρούμενη σε μονάδες Volt (V).

S_{bas} : εκφράζει τη βασική φαινόμενη ισχύ μετρούμενη σε μονάδες Volt-Ampere (VA).

P: εκφράζει την μέγιστη ισχύ λειτουργίας μετρούμενη σε μονάδες Watt (W).

$\Sigma.I.$: εκφράζει τον συντελεστή ισχύος.

Ακολούθως υπολογίζεται το ρεύμα που διαρρέει την γεννήτρια ακριβώς πριν το βραχυκύκλωμα σύμφωνα με τη σχέση:

$$\tilde{I} = \frac{P * f_s}{\sqrt{3} * \Sigma.I. * V_{bas}} \quad \angle -\cos^{-1}(\Sigma.I.)$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

\tilde{I} : εκφράζει την τιμή της ένταση του ρεύματος ακριβώς πριν το βραχυκύκλωμα μετρούμενη σε μονάδες Ampere (A).

f_s : εκφράζει τον συντελεστή λειτουργίας.

Σημειώνονται τα εξής:

- Συντελεστής ισχύος (Σ.Ι.): ορίζεται ως ο λόγος της ενεργού ισχύος προς τη φαινόμενη και είναι αδιάστατο μέγεθος. Ενοιολογικά, αντιπροσωπεύει το ποσοστό της συνολικά διαρρέουσας ηλεκτρικής ισχύος στο δίκτυο η οποία είναι ενεργός ισχύς. Στα μέρη ενός δικτύου στα οποία καταναλώνεται άεργος ισχύ, λέγεται ότι το υποδίκτυο έχει Σ.Ι. επαγωγικό, ενώ αν παράγεται ενεργός ισχύ, λέγεται ότι το υποδίκτυο έχει Σ.Ι. χωρικό.
- Συντελεστής λειτουργίας (f_s): ορίζεται ως το πηλίκο του μέσου ηλεκτρικού φορτίου σε ένα εικοσιτετράωρο προς το ονομαστικό φορτίο. Ένα τυπικό εύρος για τις τιμές που λαμβάνει είναι 0.75-0.87.

Το επόμενο βήμα του υπολογισμού ακολουθεί η εύρεση της ενεργής τάσης μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$E_q'' = \frac{V}{\sqrt{3}} + \tilde{I} * (R_a + j * X_d'')$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

E_q'' : εκφράζει την ενεργό τάση μετρούμενη σε μονάδες Volt (V).

R_a : εκφράζει την ανά μονάδα ανηγμένη ωμική συνιστώσα της σύνθετης αντίστασης και λαμβάνει τιμές από 0.005% έως 0.01%.

j : εκφράζει τη φανταστική μονάδα

X_d'' : εκφράζει την ανά μονάδα ανηγμένη επαγωγική συνιστώσα της σύνθετης αντίστασης και λαμβάνει τιμές από 10% έως 20%.

Οι αντιστάσεις που δίνονται σε ανηγμένη μορφή υπό τη μορφή ποσοστού, μετατρέπονται σε μονάδες Ohm πολλαπλασιάζοντας τη δοσμένη ανά μονάδα τιμή τους με το πηλίκο του τετραγώνου της ονομαστικής τάσης προς την ονομαστική ισχύ.

Γνωρίζοντας την τιμή των ανωτέρω μεγεθών, μπορεί να εκτιμηθεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης υπομεταβατικής κατάστασης σύμφωνα με:

$$\tilde{I}_{kd}'' = \frac{E_q''}{R_a + j * X_d''}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

I_{kd}'' : εκφράζει το ρεύμα βραχυκυκλώματος μετρούμενο σε μονάδες Ampere (A).

Εφόσον είναι γνωστό το ρεύμα βραχυκύκλωσης, μπορεί εύκολα να υπολογισθεί και το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης με τη χρήση του τύπου:

$$i_p = 2 * \sqrt{2} * |I_{kd}''|$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

i_p : εκφράζει το κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος μετρούμενο σε μονάδες Ampere (A).

6.4.3 Αντοχή ζυγών τροφοδοσίας πινάκων ισχύος.

Ζυγοί τροφοδοσίας των πινάκων ισχύος (Busbars) ονομάζονται οι μεταλλικές ράβδοι ή μπάρες που βρίσκονται εντός των ηλεκτρολογικών πινάκων και χρησιμεύουν στην διανομή ρεύματος υψηλής έντασης τοπικά. Διαστασιολογούνται σύμφωνα με την αναμενόμενη τιμή έντασης ρεύματος από την οποία θα διαρρέονται. Η αντοχή τους είναι απαραίτητο να ελέγχεται αφού κατά το βραχυκύκλωμα η ένταση του διαρρέοντος ρεύματος μεγαλώνει κατά πολύ με κίνδυνο τη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων όπως οι μόνιμες μηχανικές παραμορφώσεις ή ακόμα και η θραύση τους. Οι ζυγοί κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και είναι ορθογωνικής διατομής.



Εικόνα 28: Διάταξη χάλκινων ζυγών πίνακα για ένταση ρεύματος 1500A (Πηγή: Wikipedia)

Για την εύρεση της δύναμης μεταξύ δύο ζυγών χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$F = 0,00204 * \frac{l * i_p^2}{d}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

F: εκφράζει την αναπτυσσόμενη δύναμη μεταξύ δύο ζυγών μετρούμενη σε Kilopond (kp).

l: εκφράζει το μήκος των ζυγών μετρούμενο σε εκατοστά(cm).

d: εκφράζει την απόσταση μεταξύ των ζυγών μετρούμενη σε εκατοστά(cm).

i_p: εκφράζει το κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος μετρούμενο σε μονάδες Ampere (kA).

Ύστερα υπολογίζεται η ροπή αντίστασης της διατομής του ζυγού από την σχέση:

$$W = \frac{h * b^2}{6}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

W: εκφράζει την ροπή αντίστασης της διατομής μετρούμενη σε κυβικά εκατοστά (cm³).

h: εκφράζει το πλάτος του ζυγού σε εκατοστά (cm).

b: εκφράζει το ύψος του ζυγού σε εκατοστά (cm).

Η ασκούμενη ροπή στρέψης στους ζυγούς λαμβάνει τιμή που δίνεται από τον τύπο:

$$M = \frac{F * l}{16}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

M: εκφράζει την ροπή στρέψης που ασκείται στον ζυγό μετρούμενη σε μονάδες δύναμης επί μονάδες μήκους (και εδώ πιο συγκεκριμένα σε $kp \cdot cm$).

Γνωρίζοντας τις τιμές που λαμβάνουν η ροπή αντίστασης και η ροπή στρέψης, μπορεί να ελεγχθεί η μηχανική αντοχή των ζυγών αν ο λόγος των δύο μεγεθών ικανοποιεί τη σχέση:

$$\frac{M}{W} \leq 1200 \frac{kp}{cm^2}$$

Για τις αναπτυσσόμενες μηχανικές ταλαντώσεις των χάλκινων ζυγών απαιτείται η αποφυγή του εύρους συχνοτήτων των 5-10 Hertz ώστε να μην παρουσιάζονται προβλήματα συντονισμού. Σε αντίθετη περίπτωση αλλάζουν τα χαρακτηριστικά των ζυγών ώστε να βρίσκονται εκτός του προαναφερθέντος ορίου. Σε κάθε περίπτωση η συχνότητα εκτιμάται από τον ακόλουθο τύπο:

$$f_m = \frac{112}{l^2} * \sqrt{\frac{1,1 * J * 10^6}{B}}$$

Για τον ανωτέρω τύπο σημειώνονται τα εξής:

f_m : εκφράζει τη συχνότητα των μηχανικών ταλαντώσεων των ζυγών μετρούμενη σε μονάδες Hertz (Hz).

B: εκφράζει το βάρος του ζυγού μετρούμενο σε Kilonond ανά εκατοστό (kp/cm).

J: εκφράζει τη ροπή αδράνειας του ζυγού που δίνεται από τη σχέση $J = \frac{h \cdot b^3}{12}$ μετρούμενη σε εκατοστά τετάρτης (cm^4).

Κεφάλαιο 7: Μελέτη Περιπτώσεων.

7.1 Τα σενάρια Α και Β.

Σύμφωνα με όσα έχουν παρουσιαστεί στα προηγούμενα κεφάλαια και αξιοποιώντας τους τύπους που έχουν αναλυθεί, πραγματοποιήθηκε μελέτη δύο χαρακτηριστικών περιπτώσεων πλοίων. Για κάθε περίπτωση έγινε διαστασιολόγηση των ζυγών των πινάκων τροφοδοσίας και μελέτη αντοχής τους καθώς και μελέτη βραχυκυκλώματος. Οι εν λόγω περιπτώσεις χωρίστηκαν σε δύο σενάρια με τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Σενάριο Α:

Επιλέχθηκε πλοίο όπου η ζητούμενη απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τον ελλιμενισμό του ξεπερνά το 1MW (MegaWatt). Από τα δεδομένα των πλοίων που έχουν ήδη παρουσιαστεί στην [Παράγραφο 4.1](#) επιλέχθηκε το πλοίο με αριθμό 5. Τα κύρια χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Νούμερο Πλοίου	5
DWT (t)	50900
LOA (m)	260.1
Πλάτος (m)	32.25
Κοίλο (m)	19.3
Χωρητικότητα σε TEU	4253
Φορτοεκφορτωτικά Μέσα	N/A
Ισχύς εν όρμω (kW)	3159.2
Πλήθος Γεννητριών	4
Ονομαστική Ισχύς Γεννήτριας (kW)	1810
Φαινόμενη Ισχύς Γεννήτριας (kVA)	1700
Ονομαστική Τάση Γεννήτριας (V)	440
Συχνότητα Γεννήτριας (Hz)	60
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Γεννητριών (kW)	7240

Πίνακας 15: Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου 5

Η διαστασιολόγηση των ζυγών έγινε με τις εξής παραδοχές:

- Θερμοκρασία: 85 °C.
- Συντελεστής ισχύος: 0,85.
- Μέση απόσταση καλωδίων: 10 m.

Ρεύμα Γραμμής I_L (A)	11176.51
Συντελεστής Ισχύος $\Sigma.I.$	0.85
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ένταση (A)	-
Διατομή Χάλκινου Ζυγού (mm ²)	-
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ένταση Ρεύματος στους 85°C (A)	320
Ονομαστική Ένταση Ρεύματος Συνεργαζόμενης Ασφάλειας (A)	315
Ονομαστική διατομή μονοπολικών καλωδίων (mm ²)	120
Πλήθος Καλωδίων	36
Πτώση Τάσης ΔV (V)	0.631
Ποσοστιαία Πτώση Τάσης (%)	0.143%
Μέση Απόσταση Καλωδίων (m)	10
Ειδική Αντίσταση Χαλκού ρ (Ωmm ² /m)	0.0176

Πίνακας 16: Διαστασιολόγηση ζυγού για το σενάριο Α

Εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, η διατομή του χάλκινου ζυγού καθώς και η συνεργαζόμενη ασφάλεια δεν βρίσκονται από τυποποιημένους πίνακες.

Η μελέτη του βραχυκυκλώματος έγινε με τις εξής παραδοχές:

- Συντελεστής ισχύος: 0,8.
- Συντελεστής λειτουργίας: 0,75.
- Ανηγμένη Ωμική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης: 0,01%
- Ανηγμένη Επαγωγική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης: 15%

Βασική Αντίσταση Z_{bas} (Ω)	0.049
Συντελεστής Ισχύος $\Sigma.I.$	0.8
Συντελεστής Λειτουργίας f_s	0.75
Τιμή Έντασης Ρεύματος πριν το Βραχυκύκλωμα \bar{I} (A)	3886.29
Φασική Απόκλιση Έντασης Ρεύματος (deg)	-36.87
Πραγματικό Μέρος Έντασης Ρεύματος	3109.03
Φανταστικό Μέρος Έντασης Ρεύματος	-2331.77
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Έντασης Ρεύματος	3109.03-2331.77j
Ανηγμένη Ωμική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης R_a	0.01%
Ανηγμένη Επαγωγική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης X_d''	15%
Ωμική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης (Ω)	5E-06
Επαγωγική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης (Ω)	0.0074
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Σύνθετης Αντίστασης	0.000005+0.0074j
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Τάσης	254.03
Ενεργή Τάση E_q'' (V)	236.75935685-22.99516315j
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Υπομεταβατικού Ρεύματος Βραχυκύκλωσης I_{kd}''	-3085.83516033366-31996.5927061894j
Κρουστικό Ρεύμα Βραχυκυκλώματος i_p (kA)	90.92

Πίνακας 17: Μελέτη βραχυκυκλώματος για το σενάριο A

Η μελέτη αντοχής των ζυγών τροφοδοσίας έγινε με τις εξής παραδοχές:

- Μήκος ζυγού: 125 cm
- Απόσταση μεταξύ ζυγών: 200 cm
- Πλάτος ζυγού: 14 cm
- Ύψος ζυγού: 6 cm
- Βάρος ζυγού: 0,07 kp/cm

Δύναμη Μεταξύ των Ζυγών F (kp)	10.54
Μήκος Ζυγού l (cm)	125
Απόσταση Μεταξύ των Ζυγών d (cm)	200
Κρουστικό Ρεύμα Βραχυκύκλωσης i_p (kA)	90.92
Ροπή Αντίστασης Διατομής Ζυγού W (cm ³)	504.00
Πλάτος Ζυγού h (cm)	14
Ύψος Ζυγού b (cm)	6
Ροπή Στρέψης στον Ζυγό M (kp*cm)	82.34
Πηλίκο Ροπής Στρέψης προς Ροπή Αντίστασης M/W	0.16
Έλεγχος Αντοχής	Επαρκής αντοχή
Συχνότητα Μηχανικής Ταλάντωσης f_m (Hz)	451.072
Έλεγχος Συχνότητας	Αποδεκτή τιμή συχνότητας
Βάρος Ζυγού B (kp/cm)	0.07
Ροπή Αδράνειας Ζυγού J (cm ⁴)	252.00

Πίνακας 18: Μελέτη αντοχής ζυγών για το σενάριο A

Τα υπολογισθέντα μεγέθη για την εκτίμηση της αντοχής των ζυγών καταδεικνύουν ότι ο σχεδιασμός πληροί τις απαιτήσεις και συνεπώς είναι αποδεκτός.

Σενάριο Β:

Επιλέχθηκε πλοίο όπου η ζητούμενη απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τον ελλιμενισμό του δεν ξεπερνά το 1MW (MegaWatt). Από τα δεδομένα των πλοίων που έχουν ήδη παρουσιαστεί στην [Παράγραφο 4.1](#) επιλέχθηκε το πλοίο με αριθμό 33. Τα κύρια χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Νούμερο Πλοίου	33
DWT (t)	12477
LOA (m)	149
Πλάτος (m)	22.7
Κοίλο (m)	11.3
Χωρητικότητα σε TEU	1155
Φορτοεκφορτωτικά Μέσα	N/A
Ισχύς εν όρμω (kW)	600
Πλήθος Γεννητριών	3
Ονομαστική Ισχύς Γεννήτριας (kW)	600
Φαινόμενη Ισχύς Γεννήτριας (kVA)	2962.5
Ονομαστική Τάση Γεννήτριας (V)	450
Συχνότητα Γεννήτριας (Hz)	60
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Γεννητριών (kW)	1800

Πίνακας 19: Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου 33

Η διαστασιολόγηση των ζυγών έγινε με τις ίδιες παραδοχές που ελήφθησαν στο Σενάριο Α.

Ρεύμα Γραμμής I_L (A)	2716.94
Συντελεστής Ισχύος $\Sigma.I.$	0.85
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ένταση (A)	3150
Διατομή Χάλκινου Ζυγού (mm^2)	2400
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ένταση Ρεύματος στους 85°C (A)	320
Ονομαστική Ένταση Ρεύματος Συνεργαζόμενης Ασφάλειας (A)	315
Ονομαστική διατομή μονοπολικών καλωδίων (mm^2)	120
Πλήθος Καλωδίων	9
Πτώση Τάσης ΔV (V)	0.614
Ποσοστιαία Πτώση Τάσης (%)	0.136%
Μέση Απόσταση Καλωδίων (m)	10
Ειδική Αντίσταση Χαλκού ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	0.0176

Πίνακας 20: Διαστασιολόγηση ζυγού για το σενάριο Β

Η μελέτη του βραχυκυκλώματος έγινε με τις ίδιες παραδοχές που ελήφθησαν στο Σενάριο Α.

Βασική Αντίσταση Z_{bas} (Ω)	0.270
Συντελεστής Ισχύος $\Sigma.I.$	0.8
Συντελεστής Λειτουργίας f_s	0.75
Τιμή Έντασης Ρεύματος πριν το Βραχυκύκλωμα \bar{I} (A)	721.69
Φασική Απόκλιση Έντασης Ρεύματος (deg)	-36.87
Πραγματικό Μέρος Έντασης Ρεύματος	577.35
Φανταστικό Μέρος Έντασης Ρεύματος	-433.01
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Έντασης Ρεύματος	577.35-433.01j
Ανηγμένη Ωμική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης R_a	0.01%
Ανηγμένη Επαγωγική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης X_d''	15%
Ωμική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης (Ω)	0.000027
Επαγωγική Συνιστώσα της Σύνθετης Αντίστασης (Ω)	0.0405
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Σύνθετης Αντίστασης	0.000027+0.0405j
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Τάσης	259.81
Ενεργή Τάση E_q'' (V)	242.25750655-23.37098373j
Μιγαδική Αλγεβρική Εξίσωση Υπομεταβατικού Ρεύματος Βραχυκύκλωσης I_{kd}''	-573.073294081828-5982.04887725778j
Κρουστικό Ρεύμα Βραχυκυκλώματος i_p (kA)	17.00

Πίνακας 21: Μελέτη βραχυκυκλώματος για το σενάριο Β

Η μελέτη αντοχής των ζυγών τροφοδοσίας έγινε με τις εξής παραδοχές:

- Μήκος ζυγού: 100 cm
- Απόσταση μεταξύ ζυγών: 75 cm
- Πλάτος ζυγού: 8 cm
- Ύψος ζυγού: 3 cm
- Βάρος ζυγού: 0,07 kp/cm

Δύναμη Μεταξύ των Ζυγών F (kp)	0.79
Μήκος Ζυγού l (cm)	100
Απόσταση Μεταξύ των Ζυγών d (cm)	75
Κρουστικό Ρεύμα Βραχυκύκλωσης i_p (kA)	17.00
Ροπή Αντίστασης Διατομής Ζυγού W (cm ³)	36.00
Πλάτος Ζυγού h (cm)	8
Ύψος Ζυγού b (cm)	3
Ροπή Στρέψης στον Ζυγό M (kp*cm)	4.91
Πηλίκο Ροπής Στρέψης προς Ροπή Αντίστασης M/W	0.14
Έλεγχος Αντοχής	Επαρκής αντοχή
Συχνότητα Μηχανικής Ταλάντωσης f_m (Hz)	188.366
Έλεγχος Συχνότητας	Αποδεκτή τιμή συχνότητας
Βάρος Ζυγού B (kp/cm)	0.07
Ροπή Αδράνειας Ζυγού J (cm ⁴)	18.00

Πίνακας 22: Μελέτη αντοχής ζυγών για το σενάριο B

Τα υπολογισθέντα μεγέθη για την εκτίμηση της αντοχής των ζυγών καταδεικνύουν ότι ο σχεδιασμός πληροί τις απαιτήσεις και συνεπώς είναι αποδεκτός.

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η ποντοπόρος ναυτιλία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του παγκόσμιου εμπορίου αφού οι θαλάσσιες μεταφορές αντιπροσωπεύουν τη συντριπτική πλειοψηφία στην διακίνηση αγαθών. Εξαιτίας του μεγέθους της, η ναυτιλιακή δραστηριότητα παρουσιάζει έντονο περιβαλλοντικό αποτύπωμα για το οποίο γίνονται έντονες προσπάθειες να μειωθεί υιοθετώντας ολοένα και αυστηρότερα μέτρα. Η κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων απαιτεί ηλεκτρολογική εγκατάσταση ισοδύναμη με ένα πλωτό εργοστάσιο ηλεκτρικής ενέργειας, με τις απαιτήσεις αυτές να έχουν μόνο ανοδική πορεία εξαιτίας του εξηλεκτρισμού και των νέων τεχνολογιών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέγεται και αναλύεται η τεχνολογία του Cold Ironing για την επίτευξη της μείωσης της περιβαλλοντικής ρύπανσης και των αέριων ρύπων. Τα δεδομένα πάνω στα οποία βασίζονται τα αποτελέσματα προέρχονται από ένα δείγμα 35 πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Από τη μελέτη των στοιχείων αυτών προέκυψε ένας τρόπος πρόβλεψης των ενεργειακών αναγκών κατά τον ελλιμενισμό πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων γνωρίζοντας μόνο το Ολικό Μήκος (LOA), το DeadWeight (DWT) ή την χωρητικότητά τους σε TEU. Ειδικότερα, οι εξισώσεις που κατασκευάστηκαν ώστε να προβλέπουν τις ενεργειακές απαιτήσεις, κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι ίδιων φορτοεκφορτωτικών μέσων.

Επιλέγοντας δύο περιπτώσεις πλοίων διαφορετικών ενεργειακών αναγκών, προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά μεγέθη του πίνακα διασύνδεσης ξηράς και έγινε η διαστασιολόγησή του για την εκάστοτε περίπτωση. Με τον τρόπο αυτό τα αποτελέσματα της μελέτης λειτουργούν ως σημείο αναφοράς για εγκαταστάσεις παρόμοιων χαρακτηριστικών.

Με εφιαλτήριο την παρούσα διπλωματική εργασία, παρατίθενται προτάσεις για μελλοντικές έρευνες στα πλαίσια του Cold Ironing που δύναται να επεκτείνουν και να βελτιώσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που έχουν ήδη παρουσιαστεί.

- Ανάλυση μεγαλύτερου πλήθους πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αλλά και άλλων τύπων πλοίων με στόχο την δημιουργία ακριβέστερου μοντέλου πρόβλεψης των ενεργειακών αναγκών.
- Αξιολόγηση της επίδρασης του Cold Ironing στον δείκτη CII (Carbon Intensity Indicator). Διερεύνηση της επιρροής που έχει η λύση του Cold Ironing στην κατηγοριοποίηση που λαμβάνουν τα πλοία μέσω του δείκτη CII τους σε βάθος χρόνου εξαιτίας τη συνεχούς αυστηροποίησης των κατωτάτων ορίων αξιολόγησης.

- Εμπειριστατωμένη μελέτη κόστους της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης για τον πίνακα διασύνδεσης. Συλλογή κοστολογικών στοιχείων από κατασκευαστές και ναυπηγεία με στόχο την εκτίμηση της συνολικής επένδυσης τόσο ως προς τα υλικά αλλά και ως προς την ίδια την διαδικασία και τις εργασίες της εγκατάστασης.
- Εκτίμηση του περιβαλλοντικού οφέλους του Cold Ironing στο κλίμα και την ποιότητα του αέρα των λιμανιών έναντι της χρήσης καυσίμων χαμηλού θείου αλλά και συστημάτων Scrubber.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Φραγκόπουλος Χ., Προυσαλίδης Ι. (2019), *Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου*, Εκδόσεις Davinci, Αθήνα.

Προυσαλίδης Ι. (2014), *Βασικές Αρχές Ηλεκτροτεχνίας*, Εκδόσεις Ι.ΣΙΔΕΡΗ, Αθήνα.

Προυσαλίδης Ι. (2012), *Ηλεκτροτεχνικές Εφαρμογές σε Πλοία και Πλωτές Κατασκευές*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Στασινόπουλος Φ. (2022), *Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών Εμπορικών Πλοίων κατά το Στάδιο του Ελλιμενισμού τους & Διαστασιολόγηση Πίνακα Διασύνδεσης Ξηράς*, Αθήνα.

Ξένη Βιβλιογραφία

Corbett J.J., Winebrake J.J., Green E.H. Kasibhatla P., Eyring V., Lauer A. (2007), *Mortality from ship emissions: a global assessment*, Environ.

Ericsson P., Fazlagic C. (2008), *Shore-Side Power Supply: A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port*, ABB, Göteborg.

Prousalidis J.M. (2011), *The necessity of reactive power balance in ship electric energy systems*, Journal of Marine Engineering & Technology, 10:1, 37-47.

DNV GL AS (2015), Part 3: Surface ships, Chapter 3: Electrical Installations.

Bazari Z. (2020), *National Workshop on Ratification and Effective Implementation of MARPOL Annex VI for Algeria*, Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea (REMPEC).

US Environmental Protection Agency (EPA), Office of Transportation and Air Quality (2017), *Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports*.

Ballini F., Bozzo R. (2015), *Air Pollution from Ships in Ports: The Socio-Economic Benefit of Cold-Ironing Technology*.

Michail A. (2020), *World Ports Initiatives on Climate Change Mitigation and Decarbonisation of Shipping*, Multi-year Expert Meeting on Transport, Trade Logistics and Trade Facilitation, 8th Session.

Karapidakis E., Nikolaidis E., Moraitakis G., Georgakis F., Papadakis M. (2022), *Cold Ironing Feasibility Study at the Heraklion Port*.

Pruyn J., Willeijns J. (2022), *Cold ironing: Modelling the Interdependence of Terminals and Vessels in their Choice of Suitable Systems*.

Port Equipment Manufacturers Association (PEMA), *Shore Connection: Regulatory Developments and Best Practice in Port Operations*.

IEEE (2023), *Electrification* (Volume 11, Number1).

IEC/ISO/IEEE (2019), International Standard 80005-1, *Utility Connections in Port - Part 1: High Voltage Shore Connection Systems (HSVC) – General Requirements*.

IEC/ISO/IEEE (2016), International Standard 80005-2, *Utility Connections in Port - Part 2: High and Low Voltage Shore Connection Systems – Data Communication for Monitoring and Control*.

IEC/ISO/IEEE (2014), International Standard 80005-3, *Utility Connections in Port- Part 3: Low Voltage Shore Connection Systems – General Requirements*.

Gutierrez Saenz J. (2019), *Energy Analysis and Costs Estimation of an On-shore Power Supply System in the Port of Gävle*.

Electronic Quality Shipping Information System (Equasis) (2021), *The 2021 World Merchant Fleet Statistics from Equasis*.

IMO (2021), *Fourth IMO Greenhouse Gas Study*.

Eyring V., Kohler H. W., Van Aardenne J., Lauer A. (2005), *Emissions form international Shipping: The Last 50 Years*.

Zis P.V. T. (2018), *Prospects of Cold Ironing as an Emission Reduction Option*, Denmark.

Resolution MEPC.203(62) (2011).

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) (2022), *Review of Maritime Transport 2022*.

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) (2022), *Handbook of Statistics 2022*, Geneva.

Lloyd's Register of Shipping (2022), *Rules and Regulations*.

Resolution MEPC.377(80).

Ιστότοποι

<https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/How-newbuilds-can-comply-with-IMOs-2030-CO2-reduction-targets.html>

<https://www.elandcables.com/>

<https://www.electricalindia.in/>

<https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/420r17004-2017-update.pdf>

<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

<https://gr.lyyrcable.com/>

<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>

<https://mycableengineering.com/>

<https://www.nexans.no/en/>

https://www.porttechnology.org/technical-papers/the_economics_of_cold_ironing/

<https://safety4sea.com/cm-do-you-know-what-cold-ironing-is/>

<https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/exhaust-gas-emissions-from-ships>

<https://www.wartsila.com/insights/article/wartsila-engineers-offer-technical-solutions-for-cold-ironing>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Busbar>

<https://www.ukpandi.com/news-and-resources/articles/2023/mepc-80-a-summary/>

Παράρτημα Α

Στους παρακάτω πίνακες καταγράφονται αναλυτικά τα λιμάνια τα οποία διαθέτουν εγκαταστάσεις Cold Ironing στην Ευρώπη, στην Αμερική και στην Ασία. Παρατίθενται ακόμα οι συμπληρωματικές πληροφορίες για το πλήθος των εγκατεστημένων μονάδων Cold Ironing, την τάση, την μέγιστη ισχύ και το έτος από το οποίο οι εγκαταστάσεις αυτές τέθηκαν σε λειτουργία.

Τα στοιχεία για τις εγκαταστάσεις της Ευρώπης αντλήθηκαν από δεδομένα δημοσιοποιημένα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission).

Country	Port	Number of berths with CI	Voltage (kV)	Max Power (MW)	Operational since
Belgium	Zeebrugge	1	6.6	1.25	2006
Belgium	Antwerpen	1	6.6	0.8	2008
Germany	Cuxhaven	1	-	-	2018
Germany	Kiel	3	6.6/ 10/ 11	4.5	2019
Germany	Hamburg	1	6.6/ 11	9.8	2015
Germany	Luebeck	1	11	9.8	-
Germany	Luebeck	2	6.6	2.2	-
Germany	Luebeck	2	11	3.5	2010
Denmark	Frederikshavn	1	-	4.48	2016
Denmark	København	1	-	-	2021
Denmark	Ronne	1	-	-	-
Denmark	Koge	1	-	-	-
Denmark	Hirtshals	1	-	-	2019
Denmark	Fredericia	1	-	-	-
Denmark	Esbjerg	1	0.4	0.2	2020
Denmark	Esbjerg	1	0.4	0.2	2020
Denmark	Esbjerg	3	0.69	0.828	2021
Denmark	Esbjerg	4	0.4/ 0.44/ 0.69	0.69	2021
Denmark	Esbjerg	4	0.4/ 0.44/ 0.69	0.69	2021
Denmark	Esbjerg	4	0.4/ 0.44/ 0.69	0.69	2021
Denmark	Helsingor	1	11	4.5	2018
Denmark	Kalundborg	22	0.4	0.065	-
Spain	Tallinn Paljarsaare Harbour	1	0.4	0.14	-

Spain	Tallinn Old City Harbour	10	0.4	0.6	-
Spain	Tallinn Paljarsaare Harbour	8	0.4	0.8	-
Spain	S. Sebastián de la Gomera	1	0.4	0.14	-
Spain	S. Sebastián de la Gomera	1	0.4	0.4	-
Spain	Santa Cruz de Tenerife	1	0.4	1.44	-
Spain	Santa Cruz de Tenerife	1	-	1.44	-
Spain	Santa Cruz de Tenerife	1	0.4	0.2	-
Spain	Palma de Mallorca	1	0.4	-	-
Spain	Palma de Mallorca	1	11	1.6	2020
Spain	Barcelona	1	6	3	2020
Spain	Barcelona	1	6	3.4	2014
Spain	Santa Cruz de La Palma	1	0.4	-	2019
Spain	Santa Cruz de La Palma	1	0.4	-	-
Spain	Motril	1	0.42	0.8	2018
Spain	Melilla	1	0.4	0.8	2014
Finland	Oulu	1	6.6	-	2008
Finland	Kemi	1	6.6	-	2006
Finland	Helsinki	1	-	-	2020
Finland	Helsinki	4	0.4	0.175	-
Finland	Helsinki	6	0.4	0.175	-
France	Le havre	1	0.41/ 0.23	-	2018
France	Le havre	2	0.41/ 0.23	0.05	2018
France	Rouen	2	0.41/ 0.23	0.05	2018
France	Dunkerque	1	6.6	6	2019
France	Marseille	3	11	1.44	2015
Italy	Livorno	1	-	-	2015
Italy	Ancona	2	0.44/ 0.69	1.6	2016
Lithuania	Klaipeda	1	0.4	0.4	-
Lithuania	Klaipeda	5	0.4	0.4	-
Lithuania	Klaipeda	1	0.4	0.015	-

Latvia	Riga	2	10	0.5	-
Latvia	Riga	2	6.6	1.6	2014
Latvia	Liepaja	2	10	0.5	-
Latvia	Ventspils	23	0.4	0.05	-
Malta	Marsaxlokk	1	6.6	2.4	2016
Netherlands	Amsterdam	8	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	8	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	11	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	24	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	6	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	10	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	4	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	8	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	12	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	12	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	2	0.4	0.055	2010
Netherlands	Amsterdam	4	0.4	0.165	2010
Netherlands	Amsterdam	2	0.4	1	2010
Netherlands	Amsterdam	2	0.4	2	2010
Netherlands	Amsterdam	12	0.4	2	2010
Netherlands	Amsterdam	10	0.4	2.5	2010
Netherlands	Amsterdam	8	0.4	0.11	2020
Netherlands	Rotterdam	2	11	-	2012
Portugal	Leixoes	9	0.4	0.0825	2020
Sweden	Trelleborg	6	10.5	3.2	2017
Sweden	Stockholm	1	6.6	2	2017
Sweden	Stockholm	2	11	6	2019
Sweden	Stockholm	2	0.69	4	1980
Sweden	Stockholm	2	0.69	4	1990
Sweden	Visby	4	11	5	2019
Sweden	Ystad	1	11	10	2013
Sweden	Goteborg	6	6.6/ 11	2.5	2000
Sweden	Helsingborg	1	11	4.5	2018
Norway	Ågotnes	3	0.4/ 0.44/ 0.69	1.4	2016
Norway	Ålesund	2	0.4/ 0.44/ 0.69	0.8	2018
Norway	Arendal	2	0.44/ 0.69	3.6	2017
Norway	Arendal	3	0.4/ 0.69	-	2019
Norway	Askøy	3	0.4/ 0.44/ 0.6/ 0.69	-	2017
Norway	Averøy	3	0.4/ 0.44/ 0.69/ 11	-	2016
Norway	Båtsfjord	3	0.4/ 0.44/ 0.69	2.8	2019
Norway	Bergen	1	6.6/ 6.9	-	2018

Norway	Bergen	1	0.4/ 0.44/ 0.69	-	2019
Norway	Bergen	1	0.44/ 6.9	0.8	2019
Norway	Bergen	3	6.6/ 11	12.8	2021
Norway	Bergen	1	0,4/ 0.44/ 0.69	0.8	2020
Norway	Brevik	1	0,400/ 0,440/	1.2	2019
Norway	Brevik	1	0.4/ 6.9	-	2019
Norway	Drammen	2	0.4/ 0.44/ 0.69	-	2020
Norway	Egersund	2	0.4/ 0.44/ 0.48/ 0.66/ 0.69	-	2019
Norway	Farsund	1	0.44	-	2016
Norway	Florø	2	0.4/ 0.44/ 0.48/ 0.6/ 0.66/ 0.69	1	2020
Norway	Florø	2	0.4/ 0.69	-	-
Norway	Gulen	9	0.4/ 0.69/ 11	2	2019
Norway	Gulen	2	0.44/ 6.9	-	-
Norway	Halsnøy	1	0.4/ 0.69	-	2018
Norway	Hammerfest	3	0.4/ 0.44/ 0.69	-	2019
Norway	Hammerfest	2	0.44/ 6.9	-	2019
Norway	Harstad	2	0.4/ 0.44/ 0.69	1	-
Norway	Haugesund	1	0.4/ 0.44/ 0.46/ 0.69	-	2019
Norway	Haugesund	2	0.4/ 0.44/ 0.46/ 0.69	0.8	2019
Norway	Karmøy	2	0.44/ 6.9	-	2011
Norway	Kristiansand	2	0.4/ 0.69	-	2015
Norway	Kristiansand	1	6.6/ 11	-	2018
Norway	Kristiansand	2	0.4/ 6.9	-	2020
Norway	Kristiansand	2	0.4/ 6.9/ 11	-	2016
Norway	Kristiansund	3	0.44/ 6.9	-	2018
Norway	Kristiansund	4	0.44/ 6.9	-	2018
Norway	Langevåg, Bømlo	2	0.4/ 6.9	-	2017
Norway	Larvik	1	11	2.5	2016
Norway	Leirvik, Hyllestad	1	0.4/ 0.44/ 0.69	-	2017
Norway	Lyngdal	1	0.4/ 6.9	1.1	-
Norway	Mo i Rana	1	0.4/ 0.44/ 0.48/ 0.66	-	2018
Norway	Moss	1	0.4/ 0.44/ 0.69	0.5	2019
Norway	Myre	2	0.4/ 6.9	-	-
Norway	Ølen	1	0.4/ 0.44/ 0.69	-	-
Norway	Oslo	1	11	4.5	2011
Norway	Oslo	1	11	-	2019
Norway	Risavika	3	0.4/ 6.9	-	2019
Norway	Risavika	3	0.4/ 6.9	-	2019

Norway	Rubbestadneset, Bømlo	2	0.4/ 6.9	-	2017
Norway	Sandefjord	1	11	6.5	2019
Norway	Sandefjord	1	11	1.8	-
Norway	Sandnes	1	0.4/ 0.44/ 0.48/ 0.6/ 0.69	-	2021
Norway	Slemmestad	1	0.4/ 0.44	2.5	2019
Norway	Stavanger	1	0.4/ 6.9	-	2019
Norway	Stavanger	1	0.4/ 6.9	-	2019
Norway	Stavanger	7	0.4/ 6.9	-	2019
Norway	Stord	2	0.38/ 0.69	-	2017
Norway	Stord	1	0.4/ 6.9	-	2020
Norway	Stord	2	0.4/ 6.9	-	2020
Norway	Tromsø	2	0.4/ 0.69	-	2017
Norway	Tromsø	1	0.4/ 0.69	-	2017
Norway	Tromsø	1	0.4/ 0.44/ 0.69	-	2018
Norway	Trondheim	2	-	-	2021

Πίνακας 23: Λίστα των Ευρωπαϊκών λιμανιών που διαθέτουν εγκαταστάσεις Cold Ironing

Για τις εγκαταστάσεις της Αμερικής τα δεδομένα αντλήθηκαν από μελέτη της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (United States Environmental Protection Agency – EPA).

Port	Voltage	Max Power (MW)	Year of Installation
Juneau	6.6/ 11	11	2001
Seattle	6.6/ 11	12.8	2005
San Francisco	6.6/ 11	12	2010
Brooklyn	6.6/ 11	20	2015
Los Angeles	6.6	40	2004
Long Beach	6.6/ 11	16	2000/2009/2011
San Diego	6.6/ 11	16	2010
Oakland	6.6	8	2012
Hueneme	-	-	2014
Tacoma	6.6	-	2009
Seattle	0.4	0.096	-
Boston	-	-	-
New Bedford	0.22	0.0264	2011
Philadelphia	-	-	-
Baltimore	0.48	0.25	-
Los Angeles/ Long Beach	-	0.3402	2009

Πίνακας 24: Λίστα των Αμερικάνικων λιμανιών που διαθέτουν εγκαταστάσεις Cold Ironing

Τα δεδομένα για τις εγκαταστάσεις της Ασίας και ειδικά της Κίνας δεν δημοσιοποιούνται από ίδιες πηγές και τα στοιχεία αυτών βρίσκονται δύσκολα. Από αναφορές μελετών, προμηθευτών και άλλων σχετικών με τη ναυτιλία δημοσιεύσεων συντάχθηκε ο παρακάτω πίνακας για τις τοποθεσίες των εγκαταστάσεων Cold Ironing της Ασίας.

Country	Port
China	Shanghai
China	Qingdao
China	Tianjin
China	Guangzhou
China	Lianyungang
China	Ningbo - Zhousan
China	Shenzhen
China	Hong Kong
Japan	Yokohama
Japan	Kobe
Japan	Tokyo
South Korea	Bousan
South Korea	Incheon
Taiwan	Taipei
Taiwan	Kaohsiung
Singapore	Singapore
Malaysia	Klang
Malaysia	Tanjung Pelepas
Hong Kong	Hong Kong

Πίνακας 25: Λίστα των Ασιατικών λιμανιών που διαθέτουν εγκαταστάσεις Cold Ironing

Παράρτημα Β

Όνομα στική Διατομή ή [mm ²]	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για μέγιστη θερμοκρασία ίση με:					
	60 °C			75 °C		
	Συνεχής Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών	Συνεχής Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών
	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.
Μονοπολικά Καλώδια						
1	8	8	8	13	14	14
1.5	12	13	13	17	18	18
2.5	17	18	18	24	25	25
4	22	23	23	32	34	34
6	29	31	31	41	43	43
10	40	42	42	57	60	60
16	54	57	57	76	81	81
25	71	76	75	100	107	106
35	87	94	92	125	135	133
50	105	114	111	150	164	159
70	135	150	143	190	211	201
95	165	186	177	230	260	246
120	190	220	203	270	313	289
150	220	260	238	310	366	335
185	250	305	273	350	427	382
240	290	365	322	415	523	461
300	335	439	379	475	622	537
Διπολικά Καλώδια						
1	7	7	7	11	12	12
1.5	10	11	11	14	15	15
2.5	14	15	15	20	21	21
4	19	21	20	27	29	29
6	25	27	27	35	38	37
10	34	38	36	48	53	51
16	46	52	49	65	73	70
25	60	71	65	85	101	92
Τριπολικά ή Τετραπολικά Καλώδια						
1	6	6	6	9	10	10
1.5	8	9	8	12	13	13
2.5	12	13	13	17	18	18
4	15	16	16	22	24	23

6	20	22	21	29	32	31
10	28	31	30	40	45	42
16	38	43	41	53	60	57
25	50	60	55	70	84	76
35	61	76	67	87	108	96
50	73	95	82	105	137	118
70	94	129	108	133	182	153
95	115	165	137	161	232	192
120	133	200	162	189	284	231
Πολυκλωνικά Καλώδια						
5 × 1.5	7			10		
7 × 1.5	6			9		
10 × 1.5	6			8		
12 × 1.5	5			7		
14 × 1.5	5			7		
16 × 1.5	5			7		
19 × 1.5	4			6		
24 × 1.5	4			6		

Πίνακας 26: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για διαφορετικές διατομές και μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας 60°C και 75°C (Πηγή: DNV GL)

Όνομα στική Διατομή ή [mm ²]	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για μέγιστη θερμοκρασία ίση με:					
	90 °C			95 °C		
	Συνεχής Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών	Συνεχής Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών
	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.	[A] max.
Μονοπολικά Καλώδια						
1	18	19	19	20	21	21
1.5	23	24	24	24	25	25
2.5	40	43	43	32	34	34
4	51	54	54	42	45	45
6	52	55	55	55	58	58
10	72	77	77	75	80	80
16	96	102	102	100	106	106
25	127	135	134	135	144	143
35	157	170	167	165	178	175
50	196	214	208	200	218	212
70	242	269	257	255	283	270
95	293	331	314	310	350	332

120	339	390	362	360	410	385
150	389	459	420	410	484	443
185	444	541	484	470	573	512
Διπολικά Καλώδια						
1				17	18	18
1.5	20	21	21	20	21	21
2.5	26	28	28	27	29	29
4	34	37	36	36	39	38
6	44	48	46	47	51	50
10	61	68	65	64	71	68
16	82	93	88	85	96	91
25	108	128	116	115	137	124
Τριπολικά ή Τετραπολικά Καλώδια						
1				14	15	15
1.5	16	17	17	17	18	18
2.5	21	23	22	22	24	23
4	28	30	30	29	32	31
6	36	39	38	38	42	40
10	50	56	53	52	58	55
16	67	77	72	70	80	75
25	89	107	97	94	113	102
35	110	136	121	115	143	127
50	137	178	153	140	182	157
70	169	232	195	178	244	205
95	205	295	244	217	312	258
120	237	356	289	252	378	307
Πολυκλωνικά Καλώδια						
5 × 1.5				14		
7 × 1.5				13		
10 × 1.5				11		
12 × 1.5				10		
14 × 1.5				10		
16 × 1.5				9		
19 × 1.5				9		
24 × 1.5				8		

Πίνακας 27: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγών για διαφορετικές διατομές και μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας 90°C και 95°C (Πηγή: DNV GL)