



Διπλωματική Εργασία

Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών Εμπορικών Πλοίων κατά το Στάδιο του Ελλιμενισμού τους & Διαστασιολόγηση Πίνακα Διασύνδεσης Ξηράς

Στασινόπουλος Φίλιππος

A.M.: 08118701

Επιβλέπων

Προυσαλίδης Ιωάννης

Ευχαριστίες

Μέσα από αυτή την διπλωματική εργασία μου δίνεται η δυνατότητα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους εκείνους που με στήριξαν κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας, αλλά και καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη, Καθηγητή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την άψογη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για την συμπαράστασή τους και την υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλες μου τις προσπάθειες και αποφάσεις.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου για την συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου έδειχναν σε κάθε μου βήμα.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Εισαγωγή.....	4
Κεφάλαιο 1. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις πλοίων.....	5
1.1 Συχνότητα και τάση ηλεκτρολογικού ρεύματος	5
1.2 Ηλεκτρικός ισολογισμός.....	6
1.3 Εκτεταμένος ηλεκτρικός ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος.....	9
1.4 Γενική τοπολογία ηλεκτρικών δικτύων πλοίου.....	12
1.4.1 Διαστασιολόγηση καλωδίων, ασφαλειών και διακοπών	12
1.4.2 Υπολογισμός έντασης προσδιορισμού καλωδίων, ασφαλειών και διακοπών.....	14
1.4.3 Υπολογισμός πτώσης τάσης κατά μήκος του αγωγού.....	15
1.4.4 Προσδιορισμός κατάλληλης διατομής αγωγών	16
1.4.5 Προσδιορισμός κατάλληλης διατομής ζυγών πινάκων	21
Κεφάλαιο 2. Μελέτη βραχυκυκλωμάτων	25
2.1 Βραχυκύκλωμα.....	25
2.1.1 Κανονισμοί μελέτης βραχυκυκλωμάτων	26
2.1.2 Ηλεκτρικό δίκτυο και βραχυκύκλωμα	27
2.2 Υπολογισμός βραχυκυκλώματος	28
2.2.1 Σύγχρονες μηχανές και βραχυκύκλωμα.....	28
2.2.2 Ασύγχρονες μηχανές και βραχυκύκλωμα	30
2.2.3 Ηλεκτρικά κυκλώματα και σύστημα αναφοράς.....	32
2.2.4 Μεθοδολογία υπολογισμού βραχυκυκλώματος	33
2.2.5 Επιλογή διακοπών προστασίας	34
Κεφάλαιο 3. Ηλεκτρική διασύνδεση ελλιμενιζόμενου πλοίου – Cold ironing	36
3.1 Ορισμός του cold ironing.....	36
3.2 Οφέλη και πιθανές προκλήσεις.....	38
3.3 Εφαρμογή του cold ironing.....	39
3.4 Μετατροπή και μετασκευή πλοίων	40
3.5 Κανονισμοί.....	40
3.5.1 IEC PAS 80005-3	40
3.5.2 IEC/IEEE 80005-1.....	42
3.6 Ανασκόπηση τυπολογίου.....	43
Κεφάλαιο 4. Ενεργειακές ανάγκες εμπορικών πλοίων	45
4.1 Δεδομένα εμπορικών πλοίων.....	45
4.2 Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην.....	47

4.3 Πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου	49
4.4 Πλοία μεταφοράς επιβατών και οχημάτων	51
4.5 Άλλοι τύποι εμπορικών πλοίων	56
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	61
Βιβλιογραφία.....	64
Παράρτημα Α.....	66
Παράρτημα Β	74
Παράρτημα Γ	79
Παράρτημα Δ	83
Παράρτημα Ε	87

Περίληψη

Το ενδιαφέρον που κίνησε στο να πραγματοποιηθεί η διπλωματική εργασία αυτή είναι ότι το Cold Ironing έχει πολύ μεγάλη σημασία για τη μείωση της ρύπανσης τόσο της ατμοσφαιρικής όσο και της θαλάσσιας. Για το λόγο αυτό στην εργασία αυτή αναλύονται οι ενεργειακές ανάγκες εμπορικών πλοίων κατά το στάδιο του ελλιμενισμού τους ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί διαστασιολόγηση του πίνακα διασύνδεσης ξηράς.

Οι τύποι των εμπορικών πλοίων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εννέα και ήταν οι εξής Bulk Carrier, Tanker, Ro-Pax, Container Ship, LNG, LPG, Car Carrier, Cruise Ship και High Speed Craft. Στη συνέχεια αφού κατηγοριοποιήθηκαν τα πλοία με βάση τον τύπο και το Deadweight τους ή το πλήθος των επιβαινόντων, ανάλογα το τύπο του πλοίου, απομονώθηκαν οι ενεργειακές ανάγκες τους κατά την παραμονή τους στο λιμάνι είτε για μεγάλο χρονικό διάστημα είτε για να φορτώσουν ή να εκφορτώσουν.

Τέλος, επιλέχθηκε η χειρότερη κατάσταση λειτουργίας τους, η οποία ήταν αυτή όπου τα πλοία είχαν μεγαλύτερη απαίτηση από ηλεκτρικό φορτίο, και δημιουργήθηκαν διαγράμματα, με το συνολικό φορτίο της χειρότερης κατάστασης και με το Deadweight ή το πλήθος των επιβατών.

Abstract

The interest to conduct this thesis rose due to the fact that Cold Ironing is of great importance for air and sea pollution reduction. For this reason, the commercial ships' energy needs during their docking, is analyzed in this project, in order to actualize the shore connection dimension.

Nine types of commercial ships were used: Bulk Carrier, Tanker, Ro-Pax, Container Ship, LNG, LPG, Car Carrier, Cruise Ship and High Speed Craft. First the ships were categorized based on their type and deadweight, or the number of persons on board, according to the type of the ship. Then their energy needs were isolated, during their stay at the port, either for a long period or for loading/unloading.

Finally, the worst functioning scenario was selected, in which the ships required the maximum electric charge. Charts were created with the worst scenario total charge and the deadweight or the number of persons on board.

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται εκτίμηση ενεργειακών αναγκών εμπορικών πλοίων κατά το στάδιο του ελλιμενισμού τους και διαστασιολόγηση του πίνακα διασύνδεσης ξηράς. Η εργασία αυτή χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια εκ των οποίων τα πρώτα τρία αναφέρονται στο θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόησή της, ενώ τα υπόλοιπα δύο αναφέρονται στις ενεργειακές ανάγκες που έχουν διαφορετικοί τύποι εμπορικών πλοίων.

Πιο αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά τόσο στη συχνότητα και τάση του ηλεκτρικού ρεύματος που υπάρχει στις εγκαταστάσεις των πλοίων όσο και στο πως φτιάχνεται ένας ηλεκτρικός ισολογισμός ενός πλοίου. Επιπλέον αναλύεται ο υπολογισμός του ρεύματος γραμμής ούτως ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί η κατάλληλη διατομή των καλωδίων και των ζυγών του πίνακα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση της έννοιας του βραχυκυκλώματος καθώς επίσης και των επιπτώσεων και των μέσων προστασίας από το βραχυκύκλωμα. Επίσης αναλύονται οι κανονισμοί που ισχύουν για τη μελέτη των βραχυκυκλωμάτων και στη μεθοδολογία υπολογισμού βραχυκυκλώματος,

Στο επόμενο κεφάλαιο, το τρίτο, αναλύεται η έννοια του Cold Ironing καθώς και τα οφέλη και οι πιθανές προκλήσεις του. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά τόσο στις χώρες και στα πλοία όπου εφαρμόζεται αυτό το σύστημα όσο και στις μετατροπές και μετασκευές που χρειάζονται τα πλοία για να μπορέσουν να εφαρμόσουν την διαδικασία του Cold Ironing. Τέλος πραγματοποιείται ανασκόπηση τυπολογίου των τριών πρώτων κεφαλαίων και επισημαίνονται οι κανονισμοί οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στα δεδομένα που λήφθηκαν για την διεξαγωγή των υπολογισμών. Επιπλέον γίνεται παρουσίαση των ηλεκτρικών ισολογισμών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και η διαδικασία με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί. Κατόπιν παρουσιάζονται διαγράμματα, για κάθε τύπο εμπορικού πλοίου, με βάση τις ενεργειακές ανάγκες και το Deadweight ή τους επιβάτες που έχει κάθε πλοίο.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο συγκρίνονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας που επιτεύχθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, καθώς επίσης παρουσιάζονται και οι εξισώσεις σύμφωνα με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η ενεργειακή απαίτηση πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους.

Εν κατακλείδι λοιπόν παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, μιας και δεν υπήρχαν αρκετά δεδομένα για την ανάλυσή τους.

Κεφάλαιο 1

Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις πλοίων

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στη τάση και την συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που υπάρχουν στις εγκαταστάσεις των πλοίων καθώς επίσης και στο πώς πραγματοποιείται ο ηλεκτρικός ισολογισμός ενός πλοίου. Επίσης γίνεται αναφορά στο ηλεκτρικό δίκτυο των πλοίων και στο πώς υπολογίζεται το ρεύμα γραμμής ούτως ώστε να προσδιοριστεί η κατάλληλη διατομή των καλωδίων και των ζυγών του πίνακα καθώς επίσης και οι ασφάλειες και οι διακόπτες που χρησιμοποιούνται.

1.1 Συχνότητα και τάση ηλεκτρολογικού ρεύματος

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις των πλοίων, μέχρι και το 1940, ήταν συνεχούς ρεύματος με τάση 110 V, 220 V και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις 24 V. Σήμερα όμως, μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα διότι οι εγκαταστάσεις είναι εναλλασσόμενου ρεύματος. Στα πιο γνωστά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος, για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση, καθώς επίσης και για φωτισμό, η συχνότητα και η τάση είναι αντίστοιχα:

- 60 Hz / 440 V ή 50 Hz / 380 V
- 60 Hz / 110 V ή 50 Hz / 220 V

Όμως το επίπεδο της ονομαστικής τάσης λειτουργίας φτάνει πάνω από τα 1000 V, τιμή πάνω από την οποία η τάση ονομάζεται Υψηλή Τάση, σε πλοία με έντονο εξηλεκτρισμό και με συστήματα πολύ ενεργοβόρα, και συναντάται στα εξής επίπεδα:

- 3 kV, 3.3 kV, 4.17 kV, 6 kV, 6.6 kV, 11 kV, 15 kV στα 60 Hz

Σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές η πιο διαδεδομένη τιμή, για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containers), για πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), κ.α., είναι τα 6.6 kV ενώ για μεγάλα κρουαζιερόπλοια είναι η τάση με τιμή 11 kV.

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που χρησιμοποιούνται συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης. Ένας από αυτούς είναι ότι «με υψηλότερη τάση μειώνεται το ρεύμα λειτουργίας, οδηγώντας σε καλωδιώσεις και εξοπλισμό μικρότερων διαστάσεων και ελαφρύτερο». Επιπλέον ένας ακόμα λόγος είναι ότι «με υψηλότερη τάση οι απώλειες στο ηλεκτρικό δίκτυο μειώνονται αισθητά για παράδειγμα με αλλαγή από 440 V σε 6.6 kV δηλαδή 15 φορές μεγαλύτερη, οι αντίστοιχες απώλειες μειώνονται κατά 225 φορές, κάτι που φαίνεται και στην κατανάλωση του καυσίμου».

Αναλυτικότερα τα δίκτυα συνεχούς ρεύματος διαθέτουν δύο ή τρεις αγωγούς εκ των οποίων ο μεσαίος είναι μονωμένος. Από την άλλη τα μονοφασικά δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν δύο αγωγούς ενώ τα τριφασικά δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος διαθέτουν τρεις ή τέσσερις αγωγούς με τον ουδέτερο αγείωτο.

Τέλος σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις συνεχούς ρεύματος, οι εγκαταστάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν μικρότερο βάρος και κόστος καθώς επίσης και μεγαλύτερη αξιοπιστία και πιο εύκολη συντήρηση. Από την άλλη πλευρά όμως το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι πιο επικίνδυνο από πλευράς ηλεκτροπληξίας από ότι το συνεχές ρεύμα. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

1.2 Ηλεκτρικός ισολογισμός

Ηλεκτρικός ισολογισμός πλοίου είναι ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής ισχύος του συνόλου των καταναλωτών σε ένα πλοίο, στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του. Για παράδειγμα οι καταστάσεις αυτές μπορεί να είναι η κανονική πορεία, οι χειρισμοί, η παραμονή στο λιμάνι και άλλες.

Αρχικά μια εκτίμηση του ηλεκτρικού φορτίου του πλοίου με βάση διαφόρων εμπειρικών σχέσεων, πραγματοποιείται κατά το πρώτο στάδιο σχεδιασμού του πλοίου. Έπειτα όμως και εφόσον έχουν καθοριστεί με ακρίβεια τα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου, θα πρέπει να γίνει λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός ούτως ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα είτε για την επιλογή των καλωδίων είτε για την επιλογή των ηλεκτρογεννητριών του πλοίου κ.λπ.

Πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό του ισολογισμού καταστρώνεται ένας πίνακας ο οποίος περιέχει όλους τους καταναλωτές του πλοίου χωρισμένους σε ομάδες. Οι ομάδες αυτές μπορεί να είναι για παράδειγμα βοηθητικά μηχανήματα πρόωσης, βοηθητικά χώρων ενδιαίτησης, πίνακες φωτισμού κ.λπ. Επιπλέον για την δημιουργία του πίνακα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν όλες οι καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου όπως για παράδειγμα κατάσταση κανονικής πορείας, κατάσταση χειρισμών, κατάσταση εν όρμω κ.λπ. Είναι αναγκαίο ο πίνακας να περιλαμβάνει μία στήλη με τον βαθμό απόδοσης, η , κάθε καταναλωτή, μία στήλη με το πλήθος των όμοιων φορτίων, N , και μία στήλη με την ονομαστική αποδιδόμενη ισχύ, $P_{ov.αποδ.}$. Από τα μεγέθη αυτά και με την βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων μπορούν να υπολογιστούν αντίστοιχα η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά κάθε καταναλωτής, $P_{ov.απορ.}$, καθώς επίσης και η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς, $P_{εγκατ.}$, και να τοποθετηθούν σε αντίστοιχες στήλες.

$$P_{ov.απορ.} = P_{ov.αποδ.}/\eta \quad (1.1)$$

$$P_{εγκατ.} = N \cdot P_{ov.απορ.} \quad (1.2)$$

Όπου:

- $P_{ον.απορ.}$, $P_{ον.αποδ.}$, $P_{εγκατ.}$ σε μονάδες (kW)

Σε κάθε κατάσταση λειτουργία χρειάζονται τρεις στήλες, εκ των οποίων η μία θα περιλαμβάνει τον αριθμό των καταναλωτών, N' , που βρίσκονται σε λειτουργία, η επόμενη θα περιέχει τον συντελεστή λειτουργίας κάθε καταναλωτή, f_s , και η τελευταία θα περιλαμβάνει την ισχύ λειτουργίας, $P_{λειτ.}$.

Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής λειτουργίας ορίζεται ως το μέσο φορτίο 24-ώρου προς το ονομαστικό φορτίο και υπολογίζεται εύκολα από την εξίσωση που ακολουθεί.

$$f_s = \sum_i (P_i \cdot t_i) / (24 \cdot P_{ον.αποδ.}) \quad (1.3)$$

Όπου:

- P_i ισχύς λειτουργίας κατά τη χρονική περίοδο i του 24-ώρου
- t_i ώρες λειτουργίας με ισχύ P_i κατά τη διάρκεια ενός 24-ώρου

Στη συνέχεια η μέση απορροφώμενη ισχύς λειτουργίας υπολογίζεται διαφορετικά για τα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα και διαφορετικά για τις ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμό κ.λπ. Οι εξισώσεις που υπολογίζουν της ισχύς λειτουργίας, των περιπτώσεων που αναφέρθηκαν, είναι αντίστοιχα οι εξής. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

$$P_{λειτ.} = N' \cdot f_s \cdot P_{ον.απορ.} \quad (1.4)$$

$$P_{λειτ.} = f_s \cdot P_{εγκατ.} \quad (1.5)$$

Όπου:

- $P_{λειτ.}$ σε μονάδες (kW)

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας σύμφωνα με τον οποίο φαίνεται πως καταστρώνεται ο ηλεκτρικός ισολογισμός.

Καταναλωτής	η	N	Εγκατεστημένη Ισχύς				Ισχύς Κανονικής Πορείας			Ισχύς Χειρισμών			Ισχύς 'Εν όρμω'		
			$P_{ον.αποδ.}$		$P_{ον.απορ.}$	$P_{εγκατ.}$	N'	f_s	$P_{λειτ.}$	N'	f_s	$P_{λειτ.}$	N'	f_s	$P_{λειτ.}$
			[PS]	[kW]	[kW]	[kW]			[kW]			[kW]			[kW]
<u>Βοηθητικά Μηχ. Πρόωσης</u>															
Αντλία Λαδιού Λίπανσης Κ.Μ.															
⋮															
<u>Βοηθητικά Χώρων Ενδιαίτ.</u>															
Συμπιεστές Κλιματισμού															
⋮															
<u>Βοηθητικά Σκάφους</u>															
Πλευρικός Προωστήριος Μηχ.															
⋮															
<u>Πίνακες Φωτισμού</u>															
Μηχανοστάσιο															
⋮															
Σύνολο															

Πίνακας 1.1: Λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός

1.3 Εκτεταμένος ηλεκτρικός ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος

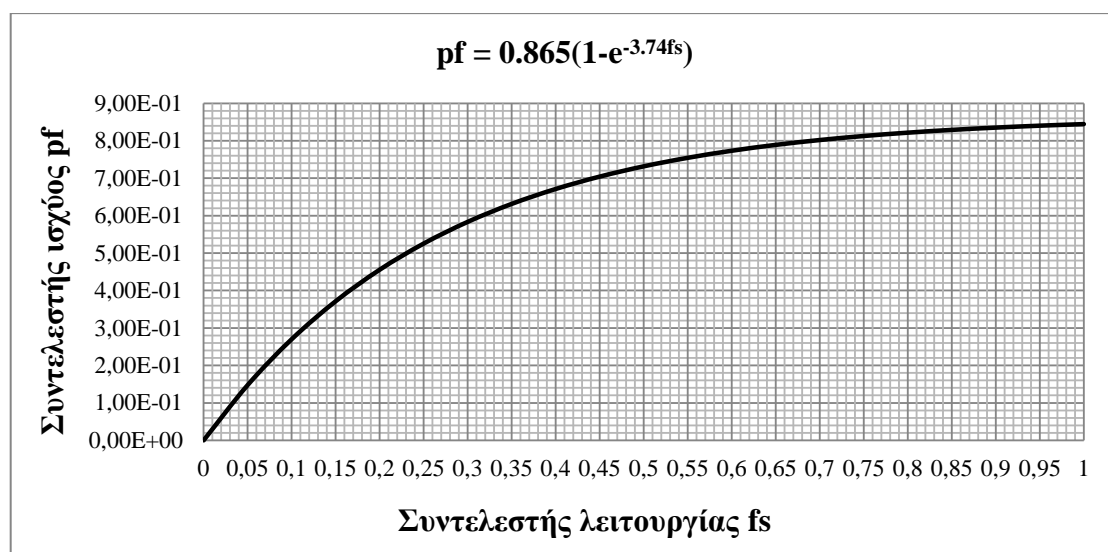
Μιας και τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο φαινόμενο εξηλεκτρισμού των ενεργειακών συστημάτων του πλοίου, θα πρέπει η μελέτη του ισολογισμού, που παρουσιάστηκε προηγουμένως, εκτός από τις ακριβείς εκτιμήσεις σε ενεργό ισχύ να συμπληρώνεται και από υπολογισμούς άεργου ισχύος. Έτσι με αυτόν τον τρόπο μπορεί η συνολική απαίτηση σε φόρτιση των γεννητριών του πλοίου, να εκτιμηθεί. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

Η άεργος ισχύς ενός ηλεκτρικού δικτύου αναφέρεται σε μια ποσότητα ενέργειας που κυκλοφορεί σε ένα κύκλωμα και η οποία μολονότι είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του κυκλώματος, δεν παράγει έργο.

Σημειώνεται επίσης ότι σε ένα ηλεκτρικό σύστημα ενέργειας πλοίου, οι επαγωγικοί κινητήρες απαιτούν άεργο ισχύ ενώ από την άλλη οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν άεργο ισχύ και λειτουργούν ως πυκνωτές. Επομένως με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια ισορροπία. (Prousalidis, 2011)

Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι «οι επαγωγικοί κινητήρες έχουν αναλογικά μεγαλύτερες απαιτήσεις σε άεργο ισχύ όταν λειτουργούν σε μερική φόρτιση απ' ότι σε ονομαστικό φορτίο». Σύμφωνα με αυτή την παρατήρηση, πραγματοποιείται η προσπάθεια, η απαίτηση σε άεργο ισχύ των φορτίων κίνησης να ανταποδοθεί με τους συντελεστές λειτουργίας οι οποίοι αξιολογούνται για την ενεργό ισχύ. Με τη βοήθεια των τεχνικών παρεμβολής η σχέση που συνδέει τον συντελεστή ισχύος, pf , με τον συντελεστή λειτουργίας, f_s , παρουσιάζεται παρακάτω. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

$$pf = 0.865 \cdot (1 - e^{-3.74 \cdot f_s}) \quad (1.6)$$



Σχήμα 1.1: Συντελεστής ισχύος ως συνάρτηση του συντελεστή λειτουργίας
Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

Η άεργος ισχύ υπολογίζεται πλέον με την ακόλουθη σχέση.

$$Q = P \cdot \{[\sqrt{1 - (pf)^2}]/pf\} \quad (1.7)$$

Όπου:

- Q σε μονάδες (kVAR)

Επομένως η κατάστρωση του εκτεταμένου ισολογισμού ενεργού και άεργου ισχύος παρουσιάζεται στο πίνακα (1.2), όπου οι ενεργειακές ανάγκες σε ενεργό και άεργο ισχύ για τις καταστάσεις λειτουργίας προκύπτουν από τα επιμέρους αθροίσματα των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών.

Η επιλογή των γεννητριών θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασίζεται περισσότερο στην ενεργό ισχύ, διαμέσου όμως του εκτεταμένου ισολογισμού πραγματοποιείται και η εκτίμηση του συντελεστή ισχύος στον οποίο θα λειτουργούν οι γεννήτριες, αν και κατά κανόνα η σχεδίαση τους είναι για συντελεστή ισχύος 0.8 επαγωγικό. (Prousalidis, 2011)

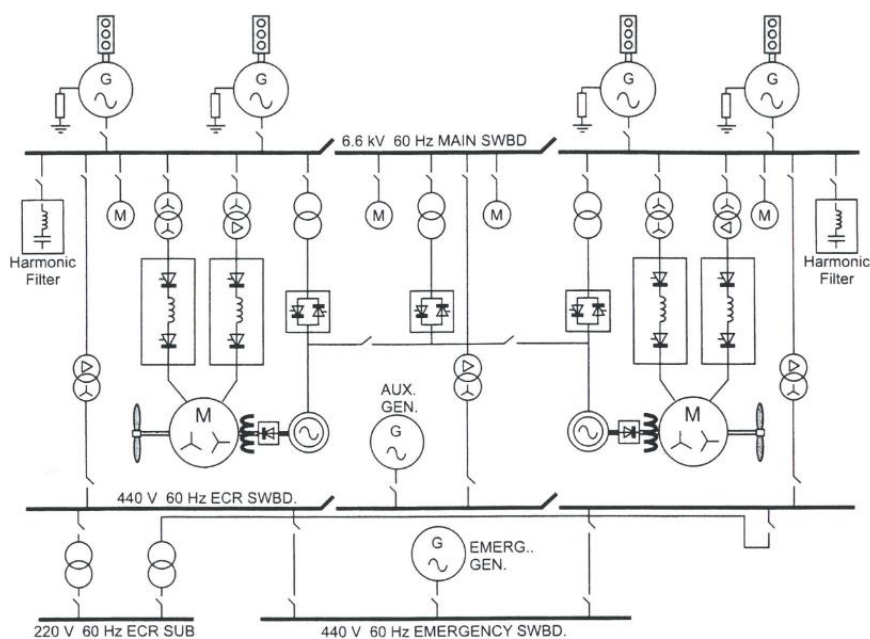
Καταναλωτής	η	pf	N	Εγκατεστημένη Ισχύς			Ισχύς Κανονικής Πορείας					Ισχύς Χειρισμών					Ισχύς 'Εν όρμω'					
				$P_{ον.αποδ.}$		$P_{ον.απορ.}$	$P_{εγκατ.}$	N'	f_s	$P_{λειτ.}$	pf	$Q_{λειτ.}$	N'	f_s	$P_{λειτ.}$	pf	$Q_{λειτ.}$	N'	f_s	$P_{λειτ.}$	pf	$Q_{λειτ.}$
				[PS]	[kW]	[kW]	[kW]			[kW]		[kVAR]			[kW]		[kVAR]			[kW]		[kVAR]
<u>Βοηθητικά Μηχ. Πρόωσης</u>																						
Αντλία Λαδιού Λίπανσης Κ.Μ.																						
⋮																						
<u>Βοηθητικά Χώρων Ενδιαίτ.</u>																						
Συμπιεστές Κλιματισμού																						
⋮																						
<u>Βοηθητικά Σκάφους</u>																						
Πλευρικός Προωστήριος Μηχ.																						
⋮																						
<u>Πίνακες Φωτισμού</u>																						
Μηχανοστάσιο																						
⋮																						
Σύνολο																						

Πίνακας 1.2: Λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος

1.4 Γενική τοπολογία ηλεκτρικών δικτύων πλοίου

Στην πλειοψηφία των πλοίων αρχικά, το ηλεκτρικό δίκτυο είναι τριφασικό εναλλασσόμενου ρεύματος με τιμές τάσης 440V ή 380V. Από την άλλη πλευρά όμως ο φωτισμός του πλοίου και διάφορα μονοφασικά φορτία χαμηλής ισχύος που λειτουργούν συνήθως σε τάση 220V μέσω κατάλληλων μετασχηματιστών. Όλοι επομένως οι καταναλωτές ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοτούνται από τον κεντρικό πίνακα του ηλεκτροστασίου μέσω του κύριου δικτύου διανομής και των τοπικών πινάκων. Επιπλέον υπάρχει ένα ξεχωριστό δίκτυο διανομής ανάγκης (emergency distribution system), το οποίο τροφοδοτείται από τη γεννήτρια ασφαλείας (emergency generator) ή από άλλη πηγή όπως είναι οι συσσωρευτές, που δίνει τη δυνατότητα παράλληλης σύνδεσης σε συγκεκριμένους καταναλωτές οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την λειτουργία και την ασφάλεια του πλοίου, σε περίπτωση μη λειτουργίας του κύριου δικτύου.

(https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER107/Εκπαιδευτικό%20υλικό/Παρουσιάσεις/10_Ηλεκτρικά_δίκτυα_πλοίων%28Εαρινό_2015%29.pdf)



Σχήμα 1.2: Ηλεκτρικό δίκτυο πλοίου (HV/LV)

Πηγή: https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER107/Εκπαιδευτικό%20υλικό/Παρουσιάσεις/10_Ηλεκτρικά_δίκτυα_πλοίων%28Εαρινό_2015%29.pdf

Σε μεγάλα επιβατηγά πλοία όλοι οι καταναλωτές κατανέμονται σε δύο ή τρεις υποσταθμούς διανομής, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κατάλληλα σημεία του πλοίου και έτσι δεν χρειάζεται να συνδέονται στον κεντρικό πίνακα. Με τη μέθοδο αυτή οι ηλεκτρικές απώλειες είναι λιγότερες και επίσης η εγκατάσταση είναι οικονομικότερη. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

1.4.1 Διαστασιολόγηση καλωδίων, ασφαλειών και διακοπών

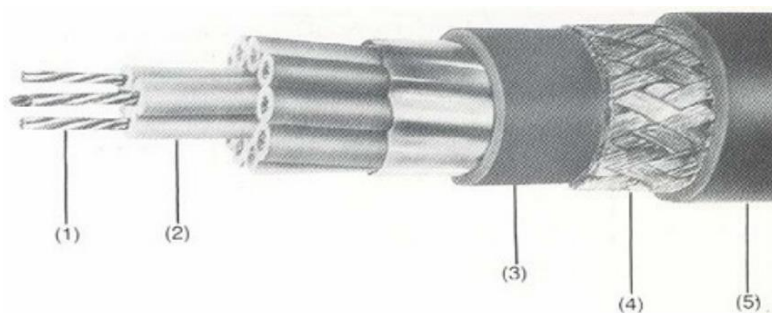
Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικό δίκτυο πλοίου πρέπει να είναι εγκεκριμένου ‘ναυτικού τύπου’, πιστοποιημένα από νηογνώμονα, μιας και οι

συνθήκες λειτουργίας τους διαφέρουν από εκείνες σε ένα κλασσικό δίκτυο διανομής στεριάς, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία, η υγρασία κ.α.

Πρέπει επίσης τα καλώδια αυτά να είναι άφλεκτα και στεγανά, δηλαδή σε περίπτωση πυρκαγιάς δεν σημαίνει πως δεν καταστρέφονται αλλά ότι δεν αναφλέγονται ούτως ώστε να μεταδώσουν την φωτιά. Τα καλώδια λοιπόν κατηγοριοποιούνται σε δύο βασικές κατηγορίες, με βάση το σκοπό χρήσης τους, τα εύκαμπτα και τα δύσκαμπτα. Τα εύκαμπτα καλώδια χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αντοχή του καλωδίου σε επανειλημμένες κάμψεις, όπως για παράδειγμα στις ηλεκτρικές φορητές συσκευές. Ενώ τα δύσκαμπτα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται ευκαμψία του καλωδίου, όπως για παράδειγμα στα κυκλώματα ηλεκτρικής διανομής, και τα οποία είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε θερμότητα και φλόγα. Τέλος τα περισσότερα καλώδια που χρησιμοποιούνται στα πλοία έχουν εξωτερική θωράκιση.

Τα βασικά λοιπόν μέρη που αποτελούν ένα καλώδιο είναι:

- Ηλεκτρικοί αγωγοί
- Μονωτικά υλικά
- Παρεμβάσματα
- Προστατευτική επένδυση



- (1) Ηλεκτρικός αγωγός Cu
- (2) Ηλεκτρική μόνωση μεταξύ αγωγών -FPR καουτσούκ
- (3) Εσωτερική επένδυση
- (4) Θωράκιση καλωδίου Cu
- (5) Εξωτερική επένδυση Polychloroprene καουτσούκ

Σχήμα 1.3: Τυπική δομή καλωδίων ναυτικού τύπου

Πηγή: https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER107/Εκπαιδευτικό%20υλικό/Παρουσιάσεις/10_Ηλεκτρικά_δίκτυα_πλοίων%28Εαρινό_2015%29.pdf

Πιο συγκεκριμένα οι ηλεκτρικοί αγωγοί χαρακτηρίζονται ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών ως μονοπολικά, ένας αγωγός, τριπολικά, τρεις αγωγοί, τετραπολικά, τέσσερις αγωγοί και αποτελούνται από χαλκό υψηλή καθαρότητας. Τα μονωτικά υλικά κατασκευάζονται συνήθως από αιθυλοπροπυλένιο ή χλωριούχο πολυβινύλιο (polyvinyl-chloride, p.v.c.). Παλαιότερα βέβαια σαν μονωτικά υλικά χρησιμοποιούνταν το λάστιχο, το χαρτί κ.α που σήμερα έχουν σχεδόν καταργηθεί. Τα παρεμβάσματα είναι υλικά για την πλήρωση πιθανών κενών μεταξύ των μονωμένων αγωγών ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η κυλινδρική δομή του καλωδίου. Τέλος η προστατευτική επένδυση είναι συνήθως από δικτυωτό μεταλλικό πλέγμα από χάλυβα,

ορείχαλκο ή αλουμίνιο και εξασφαλίζει την προστασία του καλωδίου από πιθανές μηχανικές καταπονήσεις και από την υγρασία.

(https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER107/Εκπαιδευτικό%20υλικό/Παρουσιάσεις/10_Ηλεκτρικά_δίκτυα_πλοίων%28Εαρινό_2015%29.pdf)

Στην υποενότητα 1.4.4 παρουσιάζονται τυποποιημένα μεγέθη καλωδίων καθώς επίσης και η αντοχής τους σε ηλεκτρική ένταση σε μονάδες (A). Στον παρακάτω πίνακα όμως παρουσιάζονται τυποποιημένα μεγέθη ασφαλειών και διακοπών όπου οι αριθμοί δίνουν τη μέγιστη ένταση σε μονάδες (A) για συνεχή λειτουργία.

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

Πίνακας 1.3: Μεγέθη ασφαλειών και διακοπών σε μονάδες (A)

Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

1.4.2 Υπολογισμός έντασης προσδιορισμού καλωδίων, ασφαλειών και διακοπών

Για την κατάσταση πλήρους φορτίου, P , υπολογίζεται η ένταση γραμμής, I_γ σε μονάδες (A), με την βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων.

- Συνεχές ρεύμα:

$$I_\gamma = P/V \quad (1.8)$$

- Μονοφασικός καταναλωτής εναλλασσόμενου ρεύματος:

$$I_\gamma = P/(V \cdot \cos \varphi) \quad (1.9)$$

- Τριφασικός καταναλωτής:

$$I_\gamma = P/(\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi) \quad (1.10)$$

Όπου:

- $P = P_{ον.απορ.}$
Ονομαστική απορροφούμενη ισχύς σε μονάδες (W)
- V
Ονομαστική τάση του καταναλωτή σε μονάδες (V)
- $\cos \varphi$
Ονομαστικός συντελεστής ισχύος
* Για καθαρά ωμικό φορτίο ισχύει ότι $\cos \varphi = 1$

Αφού υπολογιστεί η ένταση γραμμής θα πρέπει στη συνέχεια να υπολογιστεί η ένταση, I σε μονάδες (A), ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός των

καλωδίων, των ασφαλειών και των διακοπών. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω εξισώσεις.

- Δίκτυο φωτισμού:

$$I = I_{\gamma} \quad (1.11)$$

- Γραμμή που τροφοδοτεί μόνο έναν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς λειτουργίας:

$$I = 1.25 \cdot I_{\gamma} \quad (1.12)$$

- Δίκτυο που τροφοδοτεί περισσότερους από έναν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς λειτουργίας:

$$I = 1.25 \cdot I_{\gamma 1} + \sum_{i \neq 1} I_{\gamma i} + 0.5 \cdot \sum_j I_{s j} \quad (1.13)$$

Όπου:

- $I_{\gamma 1}$
Ονομαστική ένταση γραμμής του μεγαλύτερου κινητήρα του συγκροτήματος
- $I_{\gamma i}, i \neq 1$
Ονομαστική ένταση γραμμής για τον καθένα από τους υπόλοιπους κινητήρες
- $I_{s j}$
Ονομαστική ένταση του εφεδρικού διακόπτη j, όταν προβλέπονται εφεδρικοί διακόπτες στον πίνακα.

Τέλος «για δίκτυα που τροφοδοτούν ηλεκτροκινητήρες διακεκομμένης λειτουργίας, όπως για παράδειγμα φορτωτήρες, εργάτης άγκυρας κ.λπ, καθώς και για άλλες ειδικές περιπτώσεις θα πρέπει να δει κανείς τους κανονισμούς των νηογνομόνων». (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

1.4.3 Υπολογισμός πτώσης τάσης κατά μήκος του αγωγού

Η μέγιστη επιτρεπτή πτώση τάσης κατά μήκος του αγωγού δίνεται σαν ποσοστό της ονομαστικής τάσης λειτουργίας και ισχύουν τα εξής:

- **6%**
Σε εγκαταστάσεις πλοίων (κατά LRS)
- **1%**
Σε εγκαταστάσεις στεριάς για δίκτυα φωτισμού
- **3%**
Σε εγκαταστάσεις στεριάς για δίκτυα κινήσεως

Για να υπολογιστεί λοιπόν η πτώση τάσης, σε μονάδες (V), κατά μήκος μιας γραμμής θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις.

- Δίκτυο συνεχούς ρεύματος (DC) δύο αγωγών:

$$\Delta V = (2 \cdot l \cdot \rho \cdot I) / S \quad (1.14)$$

- Δίκτυο μονοφασικό εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) :

$$\Delta V = (2 \cdot l \cdot \rho \cdot I) / S \quad (1.15)$$

- Δίκτυο τριφασικό τριών ενεργών αγωγών εναλλασσόμενου ρεύματος (AC):

$$\Delta V = (\sqrt{3} \cdot l \cdot \rho \cdot I) / S \quad (1.16)$$

Όπου:

- ***l***
Μήκος της γραμμής τροφοδοσίας σε μονάδες (m)
- ***ρ***
Ειδική αντίσταση του υλικού του αγωγού σε μονάδες ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
*Χαλκός: $\rho = 0.0176 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
*Αλουμίνιο: $\rho = 0.0294 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- ***I***
Ένταση ρεύματος σε μονάδες (A), σύμφωνα με την υποενότητα 1.4.2
- ***S***
Διατομή του αγωγού σε μονάδες (mm^2)

«Οι κανονισμοί LRS απαιτούν αποκλειστική χρήση χάλκινων αγωγών στις εγκαταστάσεις πλοίων». (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

1.4.4 Προσδιορισμός κατάλληλης διατομής αγωγών

Αρχικά όσον αφορά τον προσδιορισμό της διατομής των αγωγών ισχύει ότι σύμφωνα με τους κανονισμούς του GL και με γνωστή την ένταση υπολογισμού του *I*, επιλέγεται τυποποιημένη διατομή αγωγού από τον πίνακα 1.4. Στον πίνακα αυτό δίνονται οι ικανότητες μεταφοράς ρεύματος των καλωδίων, σε θερμοκρασίες 80°C και 85°C, τόσο για συνεχή λειτουργία όσο και για λειτουργία 30 και 60 λεπτών.

Ονομαστική Διατομή	Θερμοκρασία Λειτουργίας 80°C			Θερμοκρασία Λειτουργίας 85°C		
	Συνεχή Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών	Συνεχή Λειτουργία	Λειτουργία 30 λεπτών	Λειτουργία 60 λεπτών
	[mm ²]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
Μονοπολικά Καλώδια						
1.0	15	16	16	16	17	17
1.5	19	20	20	20	21	21
2.5	26	28	28	28	30	30
4.0	35	37	37	38	40	40
6.0	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						
1.0	13	13	13	14	14	14
1.5	16	17	17	17	18	18
2.5	22	24	23	24	26	25
4.0	30	32	32	32	35	34
6.0	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						
1.0	10	11	11	11	12	12
1.5	13	14	14	14	15	15
2.5	18	19	19	20	22	21
4.0	24	26	25	27	29	29
6.0	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 x 1.5	11			12		
7 x 1.5	11			10		
10 x 1.5	9			9		
12 x 1.5	8			9		
14 x 1.5	8			8		
16 x 1.5	7			8		
19 x 1.5	7			7		
24 x 1.5	7			7		

Πίνακας 1.4: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος φόρτισης καλωδίων για διάφορες διατομές καλωδίων
Πηγή: http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/gl/marimerules/gl_i-1-3_e_new.pdf

Επιπλέον μπορεί να επιλεγεί τυποποιημένη διατομή καλωδίου από τον πίνακα που παρουσιάζεται παρακάτω, εάν βέβαια είναι γνωστή η ένταση υπολογισμού του I, καθώς επίσης και να επιλεγεί συνεργαζόμενη ασφάλεια θερμικής προστασίας. Στον πίνακα 1.5 λοιπόν παρουσιάζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος φόρτισης καλωδίων και συνεργαζόμενων ασφαλειών, σε θερμοκρασία 85°C για συνεχή λειτουργία.

Ονομαστική Διατομή	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ένταση Ρεύματος Συνεχούς Λειτουργίας σε Θερμοκρασία 85°C	Ονομαστική Ένταση Ρεύματος Συνεργαζόμενης Ασφάλειας
[mm ²]	[A]	[A]
Μονοπολικά Καλώδια		
1.5	20	20
2.5	28	25
4.0	38	35
6.0	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	363	-
185	415	-
240	490	-
300	560	-
Τριπολικά ή Τετραπολικά Καλώδια		
1.5	14	16
2.5	20	20
4.0	27	25
6.0	34	35
10	47	50
16	63	63
25	84	80
35	101	100
50	126	125
70	157	160
95	192	200
120	224	224

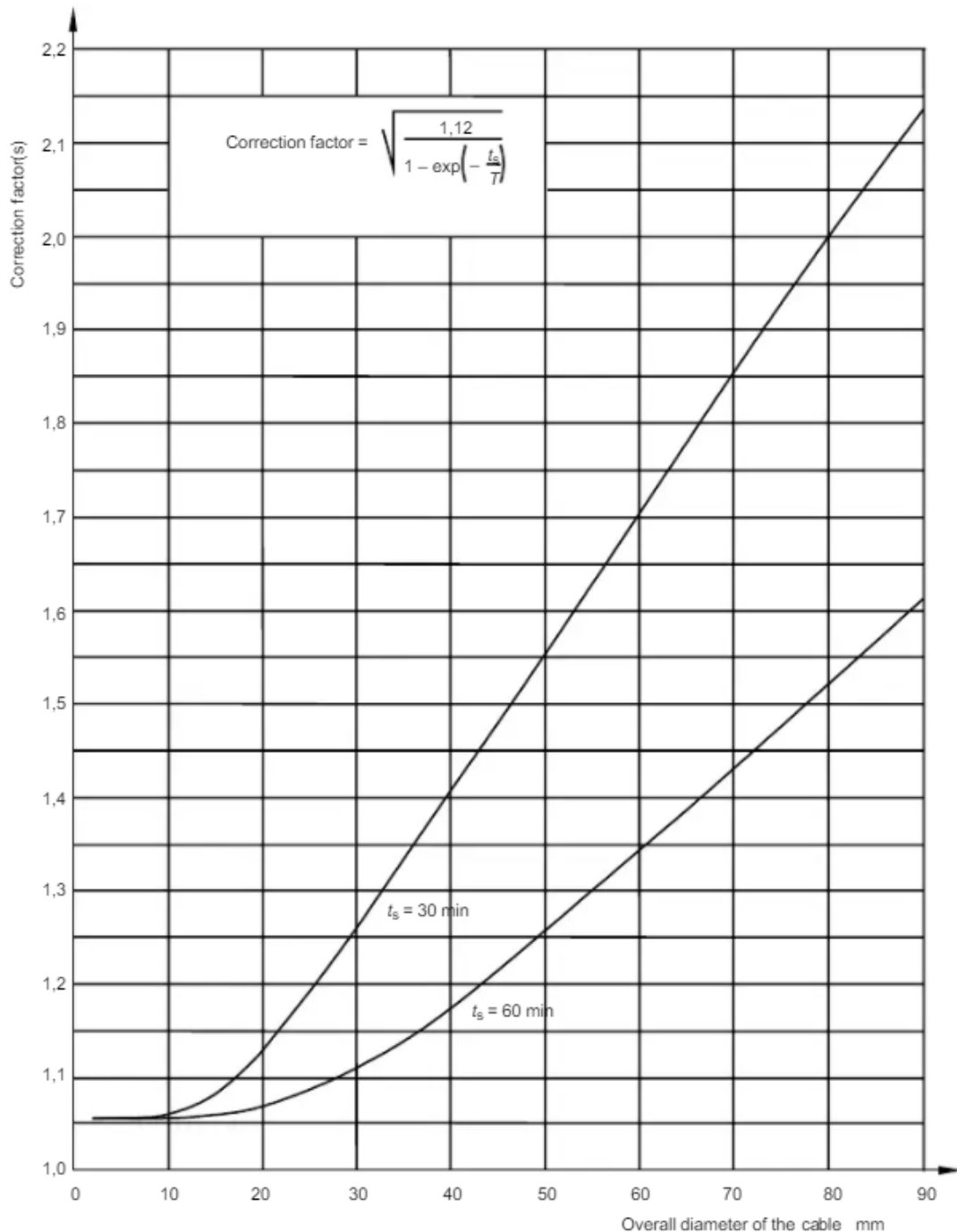
Πίνακας 1.5: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος φόρτισης καλωδίων και συνεργαζόμενων ασφαλειών για διάφορες διατομές καλωδίων

Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέγιστη πτώση τάσης από τον κύριο πίνακα μέχρι τον καταναλωτή και σε περίπτωση που είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπτή, επιλέγεται η αμέσως μεγαλύτερη τυποποιημένη διατομή και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

(https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER107/Εκπαιδευτικό%20υλικό/Παρουσιάσεις/10_Ηλεκτρικά_δίκτυα_πλοίων%28Εαρινό_2015%29.pdf)

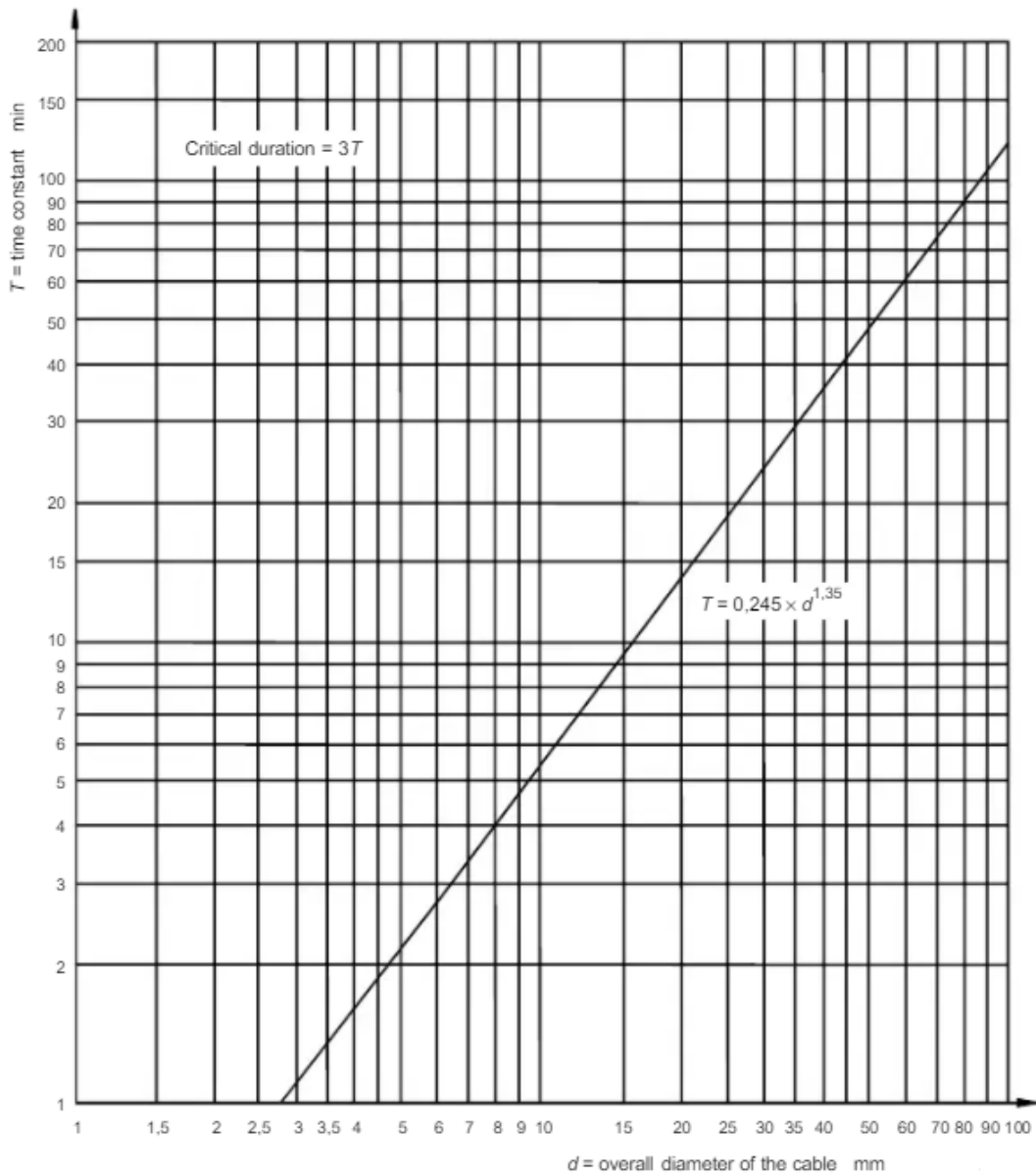
Πιο συγκεκριμένα ισχύει ότι, εάν ένα καλώδιο το οποίο προορίζεται για την τροφοδοσία εξοπλισμού που θα λειτουργεί μόνο για διάστημα 30 λεπτών ή 60 λεπτών, η ικανότητα μεταφοράς ισχύος που έχει προσδιοριστεί για συνεχή λειτουργία θα πρέπει να αυξηθεί σύμφωνα με τους συντελεστές διόρθωσης που φαίνονται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4: Συντελεστής διόρθωσης για μισή ώρα και μία ώρα λειτουργίας

Πηγή: https://www.academia.edu/28714945/Electrical_installations_in_ships_Part_352_Choice_and_installation_of_electrical_cables

Επιπλέον για τον υπολογισμό του χρόνου T , της εξίσωσης χρησιμοποιείται το διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 1.5: Σταθερά χρόνου καλωδίων

Πηγή: https://www.academia.edu/28714945/Electrical_installations_in_ships_Part_352_Choice_and_installation_of_electrical_cables

Οι ικανότητες μεταφοράς ρεύματος που αναφέρονται στους πίνακες 1.4 και 1.5 ισχύουν, για οριζόντιες διαμορφώσεις καλωδίων που δεν αποτελούνται από περισσότερα από 6 καλώδια τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο ή σε ομαδοποιήσεις το πολύ 3 καλωδίων, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. (http://rules.dnvgi.com/docs/pdf/gl/maritimerules/gl_i-1-3_e_new.pdf)

Flat arrangement:

○○○○○ ○○○○○ etc.

Groupings of not more than 3 cables:

○○ ○○ etc.
○○ ○○ or ○○○○ etc.

Σχήμα 1.6: Διατάξεις καλωδίων

Πηγή: http://rules.dnvgi.com/docs/pdf/gl/maritimerules/gl_i-1-3_e_new.pdf

Όταν περισσότερα από έξι καλώδια τοποθετούνται σε μία δέσμη, τότε στο καθένα από αυτά η επιτρεπτή ένταση είναι ίση με το 85% της ονομαστικής τιμής, δηλαδή της τιμής που αναφέρουν οι παραπάνω πίνακες.

Τέλος η μέγιστη επιτρεπτή ένταση των καλωδίων που δίνουν οι πίνακες 1.4 και 1.5, ισχύει για θερμοκρασία περιβάλλοντος 45°C, εκτός βέβαια εάν αναφέρεται κάτι διαφορετικό. «Εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος αναμένεται να είναι διαφορετική, οι κανονισμοί LRS συνιστούν την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών» που δίνει ο πίνακας 1.6 για διάφορα μονωτικά υλικά.

(Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

Μόνωση	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)						
	25	30	35	40	45	50	55
Λάστιχο ή PVC (Γενικής Χρήσης)	1.53	1.41	1.29	1.15	1.00	0.82	0.58
PVC Υψηλής Θερμικής Αντοχής	1.29	1.22	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82
Λάστιχο Βουτυλίου	1.25	1.20	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85
Αιθυλοπροπυλαίνιο Πολυαιθυλαίνιο	1.22	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87
Ορυκτά Υλικά Λάστιχο Σιλκόνης	-	-	-	1.05	1.00	0.95	0.89

Πίνακας 1.6: Διορθωτικοί συντελεστές επιτρεπτής έντασης καλωδίων [LRS (1987)]

Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

1.4.5 Προσδιορισμός κατάλληλης διατομής ζυγών πινάκων

Οι ζυγοί, αρχικά, είναι χάλκινοι αγωγοί ορθογωνικής διατομής και τοποθετούνται στο εσωτερικό των πινάκων. Επίσης μπορεί να είναι κατασκευασμένοι είτε από επιχαλωμένο αλουμίνιο είτε από αλουμίνιο ανθεκτικό στη διάβρωση. Πάνω στους ζυγούς συνδέονται και στερεώνονται τόσο τα καλώδια τροφοδότησης των πινάκων όσο και οι αναχωρήσεις των γραμμών τροφοδοσίας των καταναλωτών, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

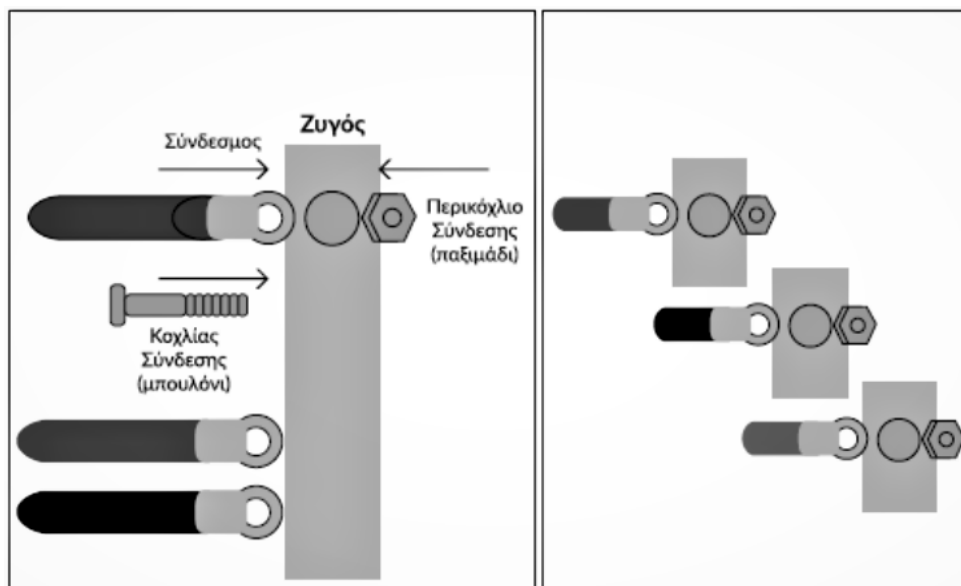
Στη συνέχεια οι ζυγοί είναι τυποποιημένοι και η διατομή τους επιλέγεται με βάση τη μέγιστη ένταση ρεύματος που τους διαρρέει. Για να εκτιμηθεί η μέγιστη ένταση χρησιμοποιείται ο Νόμος Ρευμάτων Kirchoff, αθροίζοντας τα ονομαστικά ρεύματα των καταναλωτών που εξυπηρετούνται από τον συγκεκριμένο ζυγό, αλλά με κατάλληλους συντελεστές ασφαλείας. Η σχέση 1.17, η οποία είναι ίδια με τη σχέση 1.13, είναι η εξίσωση που υπολογίζει την μέγιστη αυτή ένταση.

(Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

$$I = 1.25 \cdot I_{\gamma 1} + \sum_{i \neq 1} I_{\gamma i} + 0.5 \cdot \sum_j I_{s j} \quad (1.17)$$

Όπου:

- $I_{\gamma 1}$
Ονομαστική ένταση γραμμής του μεγαλύτερου κινητήρα του συγκροτήματος
- $I_{\gamma i}, i \neq 1$
Ονομαστική ένταση γραμμής για τον καθένα από τους υπόλοιπους κινητήρες
- I_{sj}
Ονομαστική ένταση του εφεδρικού διακόπτη j, όταν προβλέπονται εφεδρικοί διακόπτες στον πίνακα.



Σχήμα 1.6: Ζυγοί πινάκων. (Αριστερά: Λεπτομέρειες σύνδεσης αγωγών, Δεξιά: Τριφασική Διάταξη)
Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι ζυγοί έχουν ορθογωνικές διατομές και είναι τυποποιημένοι, επομένως μπορούν να επιλεγθούν είτε από τον πίνακα 1.7 είτε από τον πίνακα 1.8.

Διατομή Χάλκινου Ζυγού [mm ²]	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ένταση Ρεύματος [A]
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 1.7: Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση για ζυγούς πινάκων
Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

Πλάτος x Πάχος	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Φόρτιση [A] με 50/60 Hz							
	Βαμμένο (Μαύρο Ματ)				Άβαφο			
	Αριθμός Ζυγών				Αριθμός Ζυγών			
	1	2	3	4	1	2	3	4
[mm]	I	II	III	II II	I	II	III	II II
15 x 3	230	390	470	-	200	350	445	-
20 x 3	290	485	560	-	250	430	535	-
20 x 5	395	690	900	-	340	620	855	-
20 x 10	615	1145	1635	-	530	1020	1460	-
25 x 3	355	580	650	-	300	510	615	-
25 x 5	475	820	1040	-	405	725	985	-
30 x 3	415	670	735	-	350	590	700	-
30 x 5	555	940	1170	-	470	830	1110	-
30 x 10	835	1485	2070	-	710	1310	1835	-
40 x 5	710	1180	1410	-	595	1035	1350	-
40 x 10	1050	1820	2480	3195	885	1600	2195	2825
50 x 5	860	1410	1645	2490	720	1230	1560	2380
50 x 10	1260	2130	2875	3655	1055	1870	2530	3220
60 x 5	1020	1645	1870	2860	850	1425	1875	2740
60 x 10	1460	2430	3235	4075	1220	2130	2850	3595
80 x 5	1320	2080	2265	3505	1095	1795	2170	3370
80 x 10	1860	2985	3930	4870	1535	2615	3460	4275
100 x 10	2240	3530	4610	5615	1845	3075	4040	4935
120 x 10	2615	4060	5290	6360	2155	3545	4635	5580
160 x 10	3348	5121	6646	7836	2752	4451	5803	6857
200 x 10	4079	6162	7973	9287	3335	5344	6956	8109

Πίνακας 1.8: Επιτρεπόμενη φόρτιση χάλκινων κύριων ζυγών ορθογωνικής διατομής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 45°C

Πηγή: http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/gl/maritimerules/gl_i-1-3_e_new.pdf

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η αύξηση της θερμοκρασίας δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 45K ενώ οι παράλληλοι ζυγοί της ίδιας φάσης θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση τουλάχιστον όσο είναι το πάχος ενός ζυγού.

Οι διατομές των ζυγών θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να αποφεύγεται η θερμική υπερφόρτωση του εξοπλισμού σε πλήρες φόρτιση καθώς και σε περίπτωση βραχυκυκλώματος.

(http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/gl/maritimerules/gl_i-1-3_e_new.pdf)

Από την άλλη πλευρά εξαίρεση στην παραπάνω διαδικασία διαστασιολόγησης, αποτελούν οι ζυγοί των γεννητριών, στον κεντρικό πίνακα των οποίων η διάσταση δεν υπολογίζεται από την σχέση 1.17. Προσδιορίζεται όμως σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ των γεννητριών.

Τέλος μια ειδική περίπτωση είναι αυτή του πίνακα διασύνδεσης ξηράς. «Παλαιότερα, ο πίνακας διασύνδεσης χρησιμοποιούνταν μόνον κατά το δεξαμενισμό για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό συντήρηση πλοίο, ενόσω δεν λειτουργούσε

καμία γεννήτρια του πλοίου». Όμως τα τελευταία χρόνια υπάρχουν οι τάσεις για μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ειδικά όταν το πλοίο βρίσκεται ελλιμενισμένο. Για τον λόγο αυτό οι τάσεις οδηγούν στην απαίτηση το πλοίο αυτό να μπορεί να διασυνδέεται ηλεκτρικά με το ηλεκτρικό δίκτυο ξηράς. Μερικές φορές παρέχεται η δυνατότητα η παροχή να συνδέεται παράλληλα με τις γεννήτριες του πλοίου ούτως ώστε να καλύπτονται οι περιπτώσεις σύνδεσης και αποσύνδεσης του πλοίου, χωρίς να υπάρχει γενική διακοπή ρεύματος. «Σε κάθε περίπτωση όμως, ο πίνακας διασύνδεσης ξηράς πρέπει να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου ενόσω είναι ελλιμενισμένο, οι οποίες στην απλούστερη περίπτωση προκύπτουν από τον αναλυτικό ισολογισμό στην ‘εν όρμω’ κατάσταση».

(Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

Κεφάλαιο 2

Μελέτη βραχυκυκλωμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται τόσο η έννοια του βραχυκυκλώματος όσο και οι επιπτώσεις, στις οποίες μπορούν να οδηγήσουν τα βραχυκυκλώματα, και τα μέσα προστασίας από το βραχυκύκλωμα. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στους κανονισμούς που ισχύουν για τη μελέτη των βραχυκυκλωμάτων, στη σχέση του ηλεκτρικού δικτύου με το βραχυκύκλωμα καθώς επίσης και στη μεθοδολογία υπολογισμού βραχυκυκλώματος.

2.1 Βραχυκύκλωμα

Βραχυκύκλωμα ονομάζεται η αγωγή σύνδεση δύο σημείων διαφορετικού δυναμικού μέσω πολύ μικρής ωμικής αντίστασης. Σαν αποτέλεσμα αυτού είναι η κυκλοφορία πολύ μεγάλου ρεύματος, μιας και από το Νόμο του Ohm ισχύει η παρακάτω σχέση.

$$I = V/R \quad (2.1)$$

Όπου:

- ***I***
Ρεύμα βραχυκυκλώματος σε μονάδες (A)
- ***V***
Ονομαστική τάση λειτουργίας σε μονάδες (V)
- ***R***
Ωμική αντίσταση σε μονάδες (Ω)

Επομένως ισχύει ότι όταν η ωμική αντίσταση τείνει στο μηδέν τότε το ρεύμα βραχυκύκλωσης τείνει στο άπειρο. Είναι φανερό λοιπόν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τάση, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ρεύμα βραχυκυκλώματος.

Οι επιπτώσεις οι οποίες προέρχονται από τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης είναι ότι εμφανίζονται διακυμάνσεις, σε όλα τα σημεία του κυκλώματος, στο μέτρο των τάσεων λειτουργίας. Οι διακυμάνσεις αυτές είναι τόσο σημαντικές όσο είναι και η θέση του βραχυκυκλώματος. Πιο συγκεκριμένα οι διακυμάνσεις αυτές είναι βυθίσεις τάσεων οι οποίες οδηγούν σε μη ασφαλή λειτουργία ή ακόμα και παύση λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών. Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατόν να εμφανιστούν και υπερτάσεις, όπως συμβαίνει στα αγειώτα συστήματα των πλωτών κατασκευών, που σημαίνει ότι θα υπάρξουν καταπονήσεις στις μονώσεις.

Επιπλέον η διακοπή και εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος οδηγεί επίσης στην ανάπτυξη υπερτάσεων ακόμα και αν εκκαθαρίζουν μόνον οι φάσεις με βραχυκύκλωμα.

Πέραν από τις παραπάνω επιπτώσεις, τα βραχυκυκλώματα μπορούν να οδηγήσουν σε υπερθέρμανση του εξοπλισμού, λόγω του φαινομένου Joule, στη τήξη των αγωγίων μερών καθώς επίσης και στη τήξη των μονωτικών υλικών δηλαδή σε μερική ή σε ολική απώλεια μονώσεων. Επιπροσθέτως άλλες συνέπειες των μεγάλων ρευμάτων βραχυκύκλωσης είναι οι πυρκαγιές και η ολική καταστροφή εξοπλισμού, η ανάπτυξη μεγάλων δυνάμεων Laplace, οι στρεβλώσεις και κάμψεις αγωγίων μερών καθώς και οι μηχανικές ταλαντώσεις.

Τα μέσα προστασίας ενός κυκλώματος από το βραχυκύκλωμα, είναι αυτά τα οποία προβλέπουν σε διακοπή του κυκλώματος όταν ανιχνεύσουν υψηλές τάσεις. Τέτοια στοιχεία είναι οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος. Πιο συγκεκριμένα στις ασφάλειες τήξεως συνήθως τήκεται ένα μεταλλικό στοιχείο λόγω της ροής μεγάλου ρεύματος.

Τα στοιχεία προστασίας λοιπόν, διαθέτουν κάποιες χαρακτηριστικές παραμέτρους, οι οποίες είναι το μέγεθος του διακοπόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης και ο χρόνος διακοπής. Ο χρόνος διακοπής είναι από τη στιγμή της αναγνώρισης ύπαρξης βραχυκυκλώματος και εντολή διακοπής έως την πλήρη διακοπή κάθε μορφής ροής ρεύματος.

Ακόμα είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι, η ονομαστική ένταση ρεύματος διακοπής των διακοπτικών στοιχείων πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Εάν δεν συμβεί το παραπάνω τότε η διακοπή δεν θα επιτευχθεί και θα καταστραφεί τόσο η εγκατάσταση όσο και το διακοπτικό στοιχείο.

Τέλος ο χρόνο διακοπής περιλαμβάνει τόσο χρόνους καθυστέρησης λόγω των φυσικών φαινομένων διακοπής όσο και σκόπιμης καθυστέρησης που ρυθμίζεται από τους ηλεκτρονόμους. Κατά την εκκίνηση του φαινομένου απομάκρυνσης των αγωγίων επαφών του διακόπτη, στην φάση διακοπής, αναπτύσσεται ηλεκτρικό τόξο στην ενδιάμεσο χώρο, που πληρώνεται μέσω κάποιων μονωτικών μέσων, όπως είναι ο αέρας, το κενό, το μονωτικό έλαιο κ.λπ. Για το λόγο αυτό, ο φυσικός μηχανισμός για την αποκατάσταση της μόνωσης στο εσωτερικό διακόπτη, απαιτεί κάποιο χρόνο. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

2.1.1 Κανονισμοί μελέτης βραχυκυκλωμάτων

Σύμφωνα με την International Electrotechnical Committee, Διεθνής Επιτροπή Ηλεκτροτεχνίας, η οποία έχει εκδώσει τους παρακάτω κανονισμούς σχετικά με τα βραχυκυκλώματα, θα πρέπει στις εγκαταστάσεις ξηράς να πραγματοποιούνται μελέτες βραχυκυκλωμάτων για τάσεις μεγαλύτερες του 1kV. Από την άλλη πλευρά

όμως στις πλωτές κατασκευές θα πρέπει να διεξάγεται μελέτη βραχυκυκλωμάτων για κάθε δίκτυο ακόμα και αν οι τάσεις είναι χαμηλότερες των 1000V, σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC 61363.

- Βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος ξηράς:

IEC 61909

- Βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος πλοίων:

IEC 61363

- Βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις συνεχούς ρεύματος ξηράς:

IEC 61660-1

Επιπροσθέτως όσον αφορά τους κανονισμούς νηογνωμόνων, ο γερμανικός DNV-GL είναι ο μόνος ο οποίος έχει τις λεπτομερέστερες οδηγίες, με αναφορές, για τη μελέτη βραχυκυκλωμάτων και επίσης παρέχει συμπληρωματικές διευκρινήσεις στους κανονισμούς της IEC.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο κανονισμός IEC 61363 είναι ο πιο αυστηρός, μιας και αναφέρει ότι για τα πλοία οφείλεται να πραγματοποιείται μελέτη για τριφασικό βραχυκύκλωμα και οι υπολογισμοί να γίνονται για χρονική στιγμή ίση με την πρώτη ημιπερίοδο, $T/2$, της ονομαστικής ηλεκτρικής συχνότητας του δικτύου, επομένως ουσιαστικά δεν θα έχει επιτευχθεί καθόλου απόσβεση. Αντιθέτως ο κανονισμός IEC 61909 αναφέρει μόνο τη μεθοδολογία υπολογισμού, χωρίς όμως να σημειώνει τις ιδιαίτερες συνθήκες που πρέπει να ληφθούν κατά τη μελέτη βραχυκυκλώματος. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

2.1.2 Ηλεκτρικό δίκτυο και βραχυκύκλωμα

Πρώτα απ' όλα για το βραχυκύκλωμα τα ηλεκτρικά στοιχεία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στα παθητικά και στα ενεργητικά, ανάλογα δηλαδή με το εάν συμμετέχουν απλώς ως σύνθετες αντιστάσεις ή εάν συμμετέχουν στην τροφοδότηση του ρεύματος βραχυκυκλώματος.

Αναλυτικότερα τα ενεργητικά είναι όλες οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές, ανεξάρτητα εάν λειτουργούν ως γεννήτριες ή κινητήρες, δηλαδή τα ηλεκτρικά στοιχεία που διαθέτουν ωμικές αντιστάσεις, R -στοιχεία, και πηνία, L -στοιχεία, μαζί με πηγές τάσης. Η μεγαλύτερη συνεισφορά στην τροφοδότηση των βραχυκυκλωμάτων σε όλη τη διάρκειά τους προέρχεται από τις σύγχρονες μηχανές. Οι ασύγχρονες, από την άλλη πλευρά, συνεισφέρουν μόνο κατά την έναρξη. Τέλος η

κατάσταση φόρτισης των μηχανών πριν το βραχυκύκλωμα επιδρά και αυτή στη συμπεριφορά τους.

Αντιθέτως τα παθητικά στοιχεία, δηλαδή αυτά που δεν τροφοδοτούν το ρεύμα βραχυκυκλώματος, συμμετέχουν απλώς ως σύνθετες αντιστάσεις. Στα στοιχεία αυτά συγκαταλέγονται τα καλώδια, οι μετασχηματιστές, τα επαγωγικά πηνία και αποτελούνται μόνο από ωμικές αντιστάσεις, R -στοιχεία, και πηνία, L -στοιχεία.

Είναι να σημαντικό να ειπωθεί ότι όταν μία στρεφόμενη ηλεκτρική μηχανή αντιληφθεί το βραχυκύκλωμα τότε αντιδρά προσπαθώντας να το τροφοδοτήσει, εμφανιζόμενη στο δίκτυο, με χαμηλές βέβαια επαγωγικές αντιδράσεις, ως πηγή τάσης. Επίσης οι ωμικές αντιστάσεις δρουν αποσβεστικά και συνεισφέρουν στη διαμόρφωση σταθερού χρόνου απόσβεσης των φαινομένων. Τέλος «για να ικανοποιηθούν και οι αρχικές συνθήκες του διαμορφωμένου προβλήματος, οι ημιτονοειδείς κυματομορφές ρεύματος εμφανίζονται με ασυμμετρία περιλαμβάνοντας αποσβεννύμενες συνιστώσες συνεχούς ρεύματος που αποτυπώνουν ακριβώς τις αρχικές συνθήκες». (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

2.2 Υπολογισμός βραχυκυκλώματος

Όταν μελετάται ή σχεδιάζεται ένα ηλεκτρικό σύστημα απαιτείται να πραγματοποιηθεί μελέτη βραχυκυκλωμάτων, με άλλα λόγια θα πρέπει να υπολογίζονται τα ρεύματα που θα διαρρεύσουν τις καλωδιώσεις και τους ζυγούς των πινάκων σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Επομένως με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής θα πρέπει να διαστασιολογούνται και να επιλέγονται οι διακόπτες ισχύος των πινάκων τροφοδοσίας καθώς επίσης και να γίνονται υπολογισμοί αντοχής των ζυγών τροφοδοσίας των ίδιων πινάκων.

Αυτό απαιτείται να πραγματοποιείται για τάσεις λειτουργίας μεγαλύτερες των 1000V για την ξηρά ενώ για τις πλωτές κατασκευές «επιβάλλεται για κάθε επίπεδο τάσης, με μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των περιπτώσεων μελέτης για δίκτυα τάσης πάνω από 1kV σε σχέση με αυτές για δίκτυα κάτω από 1kV».

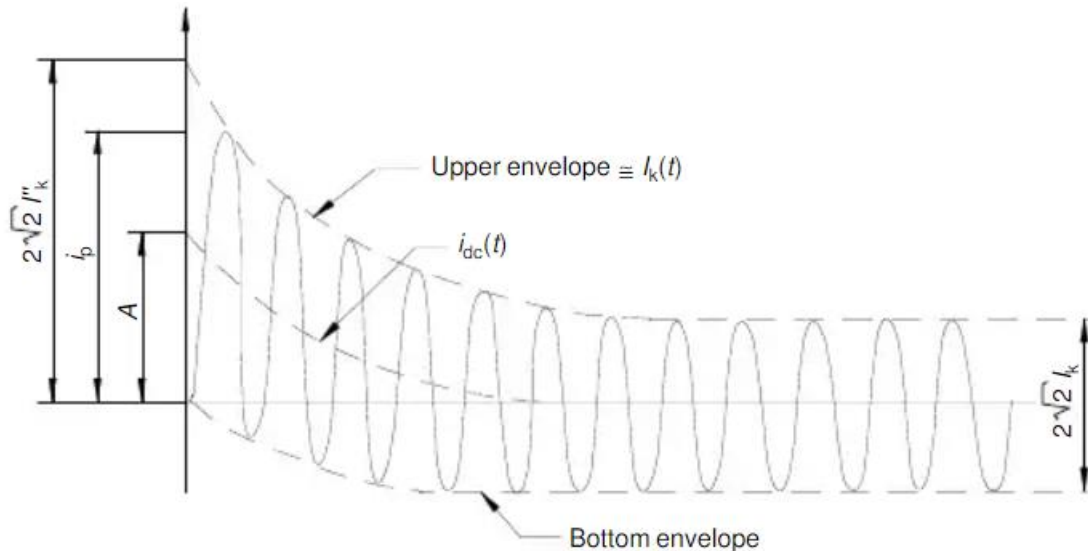
(Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

Τέλος είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι, ο υπολογισμός του βραχυκυκλώματος, σύμφωνα με την υποενότητα 2.1.1, θα πρέπει να πραγματοποιείται για τη δυσμενέστερη κατάσταση, η οποία είναι το τριφασικό βραχυκύκλωμα και αυτό γιατί σε αυτή την κατάσταση αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες εντάσεις.

2.2.1 Σύγχρονες μηχανές και βραχυκύκλωμα

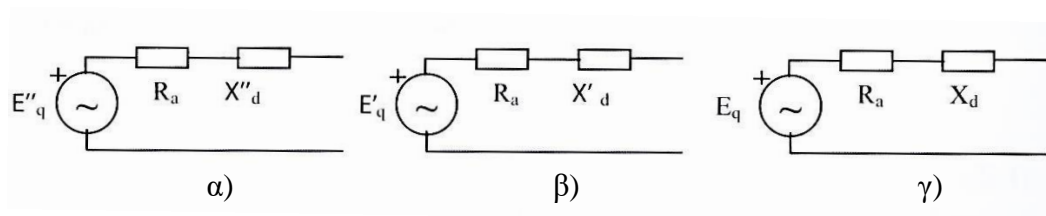
Στη συνέχεια όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στην υποενότητα 2.1.2, η κυρίαρχη συνεισφορά στο βραχυκύκλωμα οφείλεται στις σύγχρονες μηχανές.

Τονίζεται επίσης ότι, οι σύγχρονοι κινητήρες τροφοδοτούν ένα βραχυκύκλωμα συμπεριφερόμενοι ως γεννήτριες. Παρακάτω παρουσιάζεται τόσο η τυπική κυματομορφή ρεύματος βραχυκυκλώματος σύγχρονης μηχανής όσο και το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα.



- I''_k
Αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης
- 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

Σχήμα 2.1: Τυπική κυματομορφή ρεύματος βραχυκυκλώματος σύγχρονης μηχανής [IEC 61363-1 (1998)]
Πηγή: https://www.academia.edu/15628377/Electrical_installations_of_ships_and_mobile_and_fixed_offshore_units_Part_1_Procedures_for_calculating_short_circuit_currents_in_three_phase_a_c



Σχήμα 2.2: Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας σε βραχυκύκλωμα
Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

Στην κυματομορφή αυτή του ρεύματος βραχυκύκλωσης διακρίνονται δύο συνιστώσες, η συνιστώσα συνεχούς ρεύματος και η συνιστώσα εναλλασσόμενου ρεύματος. Η πρώτη συνιστώσα είναι αυτή η οποία ευθύνεται για την ασυμμετρία της κυματομορφής ως προς τον άξονα των χρόνων. Ο ρόλος της είναι σημαντικό στη

στιγμιαία τιμή κατά την έναρξη του βραχυκυκλώματος, κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης, για το λόγο αυτό δεν μπορεί να αμεληθεί στις μελέτες διαστασιολόγησης των διακοπτικών στοιχείων. Η δεύτερη συνιστώσα μεταβάλλεται χρονικά λόγω ότι τα επαγωγικά στοιχεία των μηχανών από τις πολύ χαμηλές τιμές τους αποκαθίστανται στις τιμές μόνιμης κατάστασης. Η συνιστώσα αυτή διακρίνεται στα τρία χρονικά διαστήματα που φαίνονται παρακάτω.

Το πρώτο χρονικό διάστημα είναι η υπομεταβατική κατάσταση, σχήμα 2.2α, όπου η μηχανή εμφανίζει τις ελάχιστες δυνατές επαγωγικές αντιδράσεις, X_d'' και X_q'' . Η χρονική διάρκεια καθορίζεται από τις εξής σταθερές χρόνου, T_d'' και T_q'' , και ισούται με 40-100ms για τα 50Hz. Το δεύτερο χρονικό διάστημα είναι η μεταβατική κατάσταση, σχήμα 2.2β, όπου η μηχανή εμφανίζει τις μεγαλύτερες επαγωγικές αντιδράσεις, X_d' και X_q' . Η χρονική διάρκεια καθορίζεται από τις εξής σταθερές χρόνου, T_d' και T_q' , και ισούται με 200-300ms για τα 50Hz. Τέλος το τρίτο χρονικό διάστημα είναι η μόνιμη κατάσταση βραχυκύκλωσης, σχήμα 2.2γ, όπου η μηχανή εμφανίζει τις σύγχρονες επαγωγικές αντιδράσεις μόνιμης κατάστασης, X_d και X_q . Η χρονική διάρκεια καθορίζεται από τις εξής σταθερές χρόνου, T_d και T_q , και διαρκεί όσο υφίσταται το βραχυκύκλωμα. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

Ενδεικτικές τιμές, των παραπάνω, για σύγχρονες μηχανές είναι οι εξής:

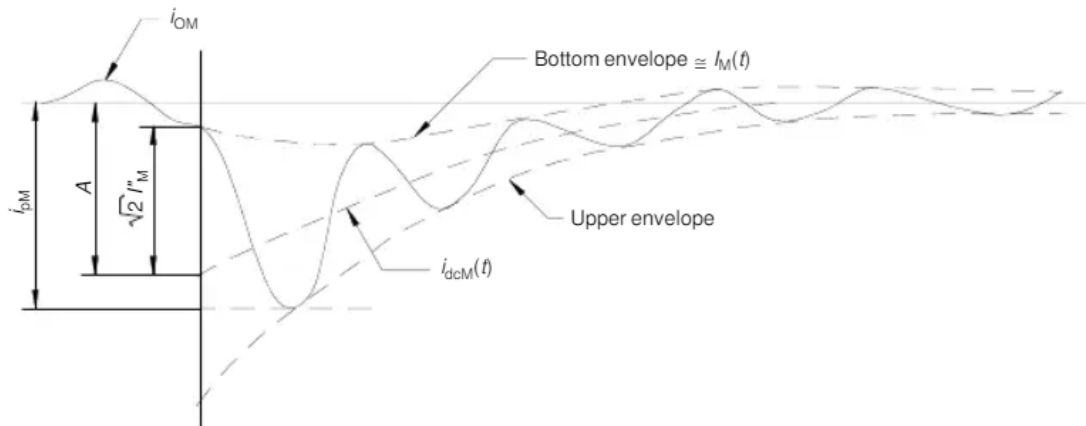
- X_d''
10 – 20 %
- X_d'
20 – 30 %
- X_d
150 – 200 %
- R_a
0.005 – 0.01 %
- T_d''
30 – 40 ms
- T_{d0}''
50 – 100 ms
- T_d'
300 – 500 ms
- T_{d0}'
1 – 3 s

2.2.2 Ασύγχρονες μηχανές και βραχυκύκλωμα

Από την άλλη πλευρά η συνεισφορά των ασύγχρονων μηχανών είναι παρόμοια ως προς τα χαρακτηριστικά με αυτή των σύγχρονων, μικρότερης βέβαια δυναμικότητας. Οι ασύγχρονες μηχανές δεν έχουν τύλιγμα διεγέρσεως, συνεπώς κατά αντιστοιχία με

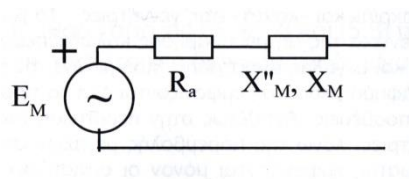
τις σύγχρονες μηχανές η συνεισφορά τους είναι σημαντική μόνο κατά την υπομεταβατική τους περίοδο, ενώ δεν υπάρχει μόνιμη κατάσταση.

Παρακάτω παρουσιάζεται τόσο η τυπική κυματομορφή ρεύματος βραχυκυκλώματος ασύγχρονης μηχανής όσο και το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα.



- i_{0M}
Ρεύμα χωρίς φορτίο
- I''_M
Αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης
- i_{pM}
Κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως
- i_{dcM}
Αποσβεννύμενη μη περιοδική συνιστώσα του ρεύματος βραχυκυκλώσεως
- A
Αρχική τιμή της μη περιοδικής συνιστώσας

Σχήμα 2.3: Τυπική κυματομορφή ρεύματος βραχυκυκλώματος ασύγχρονης μηχανής [IEC 61363-1 (1998)]
Πηγή: [https://www.academia.edu/15628377/Electrical_installations_of_ships_and_mobile_and_fixed_offshore_u
nits_Part_1_Procedures_for_calculating_short_circuit_currents_in_three_phase_a_c](https://www.academia.edu/15628377/Electrical_installations_of_ships_and_mobile_and_fixed_offshore_units_Part_1_Procedures_for_calculating_short_circuit_currents_in_three_phase_a_c)



Σχήμα 2.4: Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα ασύγχρονης μηχανής σε βραχυκύκλωμα
Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

Όπως και στις σύγχρονες μηχανές διακρίνονται και εδώ χρονικά διαστήματα βραχυκύκλωσης (υπομεταβατική, μεταβατική και μόνιμη κατάσταση όπου εδώ είναι μηδενική). Επομένως η υπομεταβατική σταθερά του χρόνου, T_M'' , αφορά στη ραγδαία απόσβεση της συνιστώσας εναλλασσόμενου ρεύματος και εξαρτάται από την επίδραση του κυκλώματος του δρομέα στην απόσβεση. «Η σταθερά χρόνου συνεχούς ρεύματος αφορά την απόσβεση της μη περιοδικής συνιστώσας του ρεύματος

βραχυκυκλώσεως και εξαρτάται κυρίως από την επίδραση του κυκλώματος του στάτη στην απόσβεση».

Οι ασύγχρονοι κινητήρες επιπλέον μπορούν να χωριστούν, όσον αφορά στη συμμετοχή τους στο βραχυκύκλωμα, σε δύο κατηγορίες, στους μεγάλους κινητήρες και στους μικρούς κινητήρες. Αυτή η ομαδοποίηση εξαρτάται τόσο από την ισχύ των γεννητριών όσο και από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του κινητήρα. Πιο αναλυτικά μεγάλοι κινητήρες θεωρούνται οι κινητήρες της πρόωσης, των αντλιών φορτίου, των γερανών και των βαρέων μηχανημάτων καταστρώματος, ενώ μικροί κινητήρες θεωρούνται οι κινητήρες που τροφοδοτούν τα βοηθητικά συστήματα των πλοίων. Επίσης οι μεγάλοι κινητήρες συμμετέχουν αυτόνομα στη μελέτη βραχυκυκλωμάτων, ενώ οι πολυάριθμοι μικροί κινητήρες ομαδοποιούνται σε έναν ισοδύναμο κινητήρα.

Τέλος, όσον αφορά δίκτυα 50/60Hz, μπορούν με την βοήθεια των παρακάτω σχέσεων να προσεγγιστούν η σύνθετη αντίσταση κινητήρα και οι χρονικές σταθερές, εάν βέβαια δεν είναι διαθέσιμες. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

	Μεγάλος Κινητήρας (>100kW)		Μικρός Κινητήρας (<100kW)	
Σύνθετη Αντίσταση	$z''_M = 0.16 \text{ p.u}$		$z''_M = 0.2 \text{ p.u}$	
	$x''_M = 0.15 \text{ p.u}$		$x''_M = 0.188 \text{ p.u}$	
	$r_S = 0.034 \text{ p.u}$		$r_S = 0.043 \text{ p.u}$	
	$r_R = 0.021 \text{ p.u}$		$r_R = 0.027 \text{ p.u}$	
	$r_M = r_R + r_S = 0.055 \text{ p.u}$		$r_M = r_R + r_S = 0.07 \text{ p.u}$	
Χρονικές Σταθερές	60Hz	$T''_M = 18.67 \text{ ms}$	60Hz	$T''_M = 18.67 \text{ ms}$
		$T_{dcM} = 11.73 \text{ ms}$		$T_{dcM} = 11.73 \text{ ms}$
	50Hz	$T''_M = 22.40 \text{ ms}$	50Hz	$T''_M = 22.40 \text{ ms}$
		$T_{dcM} = 14.08 \text{ ms}$		$T_{dcM} = 14.08 \text{ ms}$

Πίνακας 2.1: Τυπικά χαρακτηριστικά ασύγχρονων κινητήρων
Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

2.2.3 Ηλεκτρικά κυκλώματα και σύστημα αναφοράς

Είναι γνωστό ότι αρκετές φορές διευκολύνει τα ηλεκτρικά κυκλώματα να επιλύονται ανηγμένα στο ανά μονάδα σύστημα (α.μ.) αναφοράς ηλεκτρικών μεγεθών. Στην αγγλική βιβλιογραφία, επίσης, βρίσκεται ως per unit ή p.u. Στο σύστημα αυτό τα ηλεκτρικά μεγέθη δεν μετρώνται σε απόλυτες τιμές αλλά σε τιμές ως προς κάποια τιμή αναφοράς, λεγόμενη και ως τιμή βάσεως, αντίστοιχα με τα ποσοστιαία μεγέθη % ή %.

Το ανά μονάδα σύστημα αναφοράς προσφέρει εύκολη σύγκριση ομοειδών μεγεθών και γρήγορη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό βρίσκει εκτεταμένη εφαρμογή σε υπολογισμούς σε ηλεκτρικά δίκτυα ισχύος με πολλαπλά επίπεδα τάσης λειτουργίας. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

2.2.4 Μεθοδολογία υπολογισμού βραχυκυκλώματος

Για τον υπολογισμό λοιπόν του βραχυκυκλώματος θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η βασική αντίσταση, Z_{bas} , έτσι ώστε στη συνέχεια να προσδιοριστούν μέσω κατάλληλων τιμών, κάποιες από τις οποίες παρουσιάζονται στην υποενότητα 2.2.1, οι σύνθετες αντιστάσεις συναρτήσει της αντίστασης αυτής. Για τον προσδιορισμό της βασικής αντίστασης χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση.

$$Z_{bas} = V_{bas}^2 / (P / \Sigma . I.) \quad (2.2)$$

Όπου:

- Z_{bas}
Βασική αντίσταση σε μονάδες (Ω)
- V_{bas}
Βασική τάση σε μονάδες (V)
- P
Ισχύς λειτουργίας της δυσμενέστερης κατάστασης σε μονάδες (W)
- $\Sigma . I.$
Συντελεστής ισχύος ίσος με 0.8 επαγωγικός

Έπειτα μπορούν να προσδιοριστούν οι σύνθετες αντιστάσεις ως ποσοστό της βασικής αντίστασης, με την βοήθεια ορισμένων σχέσεων. Κάποιες από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

$$X''_d = 15\% \cdot Z_{bas} \quad (2.3)$$

$$R_\alpha = 0.01\% \cdot Z_{bas} \quad (2.4)$$

Είναι σημαντικό στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της φόρτισης των μηχανών πριν την εκδήλωση του βραχυκυκλώματος. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται απλώς να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση η οποία δίνει μία προσεγγιστική λύση.

$$\tilde{I} = \frac{P \cdot 75\%}{\sqrt{3} \cdot \Sigma . I. \cdot V_{bas}} \angle -\cos(\Sigma . I.)^{-1} \quad (2.5)$$

Όπου:

- \tilde{I}
Ρεύμα πριν το βραχυκύκλωμα σε μονάδες (A)
- V_{bas}
Βασική τάση σε μονάδες (V)
- P
Ισχύς λειτουργίας της δυσμενέστερης κατάστασης σε μονάδες (W)
- $\Sigma . I.$
Συντελεστής ισχύος ίσος με 0.8 επαγωγικός

Η τάση, E'' , η οποία εξαρτάται από το ρεύμα πριν την φόρτιση, μπορεί πλέον να υπολογιστεί με την παρακάτω εξίσωση.

$$\tilde{E}''_q = \frac{\tilde{V}}{\sqrt{3}} + \tilde{I} \cdot (R_a + jX''_d) \quad (2.6)$$

Όπου:

- \tilde{E}''_q
Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε μονάδες (V)
- $\tilde{V} = V_{bas} \angle 0^\circ$
Τάση σε μονάδες (V)

Με την βοήθεια όσον αναφέρθηκαν προηγουμένως, είναι εύκολο να προσδιοριστεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Για να επιτευχθεί αυτό είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί η σχέση 2.7.

$$\tilde{I}''_{kd} = \frac{\tilde{E}''_q}{R_a + jX''_d} \quad (2.7)$$

Όπου:

- \tilde{I}''_{kd}
Ρεύμα μετά το βραχυκύκλωμα σε μονάδες (A)

Τέλος, με την σχέση 2.8, μπορεί να υπολογιστεί το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης ούτως ώστε να επιλεγεί κατάλληλος διακόπτης προστασίας.

$$i_p = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot |\tilde{I}''_{kd}| \quad (2.8)$$

Όπου:

- i_p
Κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης σε μονάδες (A)

2.2.5 Επιλογή διακοπών προστασίας

Μετά από τους πιο πάνω υπολογισμούς είναι χρήσιμο να προσδιοριστεί ο κατάλληλος διακόπτης προστασίας. Οι διακόπτες προστασίας προδιαγράφονται βάσει κάποιων παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτές είναι η ονομαστική τάση λειτουργίας, η ικανότητα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα, η ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώματος, η ικανότητα διακοπής συνιστώσας συνεχούς ρεύματος, ο χρόνος διαχωρισμού επαφών και ο συντελεστής ισχύος κατά τη διακοπή βραχυκυκλώματος.

Πιο συγκεκριμένα η ικανότητα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα «ισούται με την κρουστική τιμή ρεύματος βραχυκυκλώματος» και η ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώματος ισούται με τη συνιστώσα εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκυκλώματος για χρόνο διακοπής ίσο με 3-4 περιόδους. Επίσης η ικανότητα διακοπής συνιστώσας συνεχούς ρεύματος ισούται με την τιμή της συνιστώσας συνεχούς ρεύματος του ρεύματος βραχυκυκλώματος κατά την ενεργοποίηση ανοίγματος των επαφών του διακόπτη και ενδιαφέρει μόνον για τάσεις μεγαλύτερες των 1000V. Όσον αφορά το χρόνο διαχωρισμού επαφών, «στους διακόπτες τάσεων λειτουργίας μεγαλύτερων των 1000V ενδιαφέρει και ο χρόνος καθυστέρησης του βοηθητικού ηλεκτρονόμου που ενεργοποιεί το άνοιγμα των επαφών». Τέλος ο συντελεστής ισχύος κατά τη διακοπή βραχυκυκλώματος εξ' ορισμού λαμβάνεται ίσος με 0.15 επαγωγικός, για τάση λειτουργίας μεγαλύτερη των 1000V.

Παρακάτω παρουσιάζονται τυποποιημένες τιμές ικανότητας διακοπής διακοπών, βάσει του κρουστικού ρεύματος.

10	15	25
36	50	

Πίνακας 2.2: Τυποποιημένες τιμές ικανότητας διακοπής διακοπών σε μονάδες (kA)
Πηγή: Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019

Σύμφωνα με τον IEC-61363, τη χρονική στιγμή που υπολογίζονται τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, συνίστανται να γίνονται για το χρονικό διάστημα 0 έως T/2. «Η επιλογή του διακόπτη με βάση την τιμή του βραχυκυκλώματος για τη χρονική στιγμή 0 είναι σαφώς από τη συντηρητικά ασφαλή πλευρά, ωστόσο στις περιπτώσεις των πλωτών εγκαταστάσεων με τάση έως 1000V δεν οδηγεί σε αντι-οικονομική υπερδιαστασιολόγηση. (Φραγκόπουλος – Προυσαλίδης, 2019)

Κεφάλαιο 3

Ηλεκτρική διασύνδεση ελλιμενιζόμενου πλοίου-Cold ironing

Παρακάτω θα αναλυθεί τόσο η έννοια του Cold Ironing όσο και τα οφέλη και οι πιθανές προκλήσεις του. Επιπλέον γίνεται αναφορά στις χώρες και στα πλοία όπου εφαρμόζεται αυτό το σύστημα καθώς επίσης και στις μετατροπές και μετασκευές που χρειάζονται τα πλοία για να μπορέσουν να εφαρμόσουν την διαδικασία του Cold Ironing. Τέλος, επισημαίνονται οι κανονισμοί οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί για το Cold Ironing και γίνεται ανασκόπηση τυπολογίου των προηγούμενων κεφαλαίων.

3.1 Ορισμός του cold ironing

Το Cold Ironing είναι η διαδικασία παροχής ισχύος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πλοίου από μία πηγή στην ξηρά. Επομένως τα πλοία μπορούν να κλείσουν τους κινητήρες τους ενώ αγκυροβολούν και να συνδέονται σε μία χερσαία πηγή ισχύος. Η ισχύς από την ξηρά μεταφέρει το φορτίο ισχύος του πλοίου στην παροχή χερσαίας τροφοδοσίας χωρίς να γίνεται διακοπή στις υπηρεσίες του πλοίου. Με αυτή τη διαδικασία ο εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης, η ψύξη, η θέρμανση, ο φωτισμός και άλλος εξοπλισμός εξακολουθούν να είναι σε θέση να λαμβάνουν συνεχή ηλεκτρική ισχύ, ενώ ταυτόχρονα το πλοίο φορτώνει ή εκφορτώνει το φορτίο του.

(https://yaramarine.com/shore-power-system/?gclid=EA1aIQobChMivITL_Nyv8AIVDxoGAB0eYQIEEAAAYASAAEgJKevD_BwE)

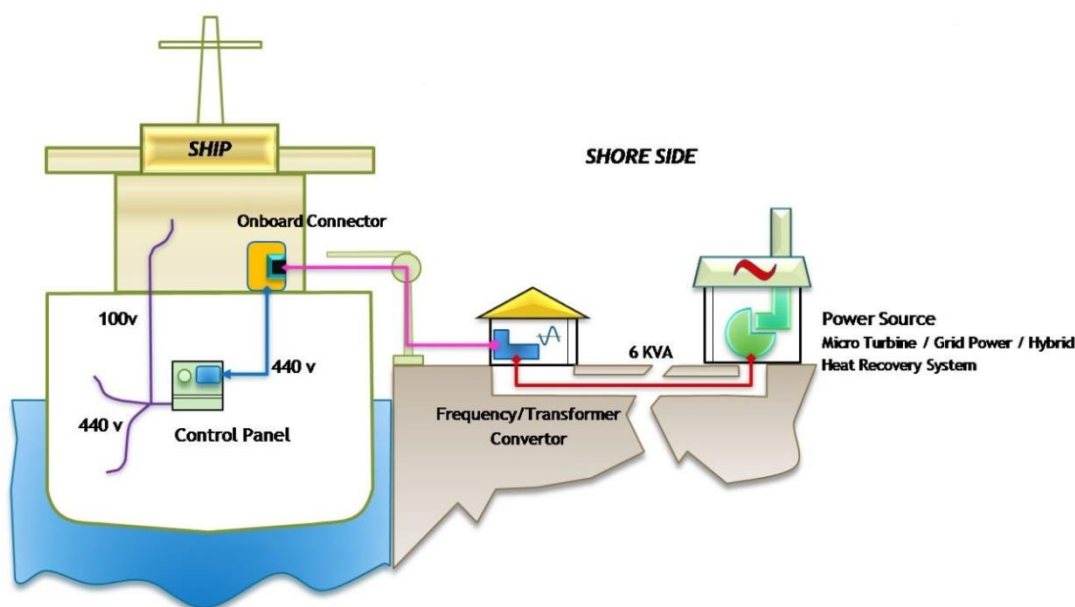
Ο όρος Cold Ironing χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά όταν τα πλοία χρησιμοποιούσαν κινητήρες με κάρβουνο. Πιο συγκεκριμένα όταν ένα πλοίο αγκυροβολούσε στο λιμάνι και σταμάταγαν να τροφοδοτούν τις μηχανές με κάρβουνο τότε οι μηχανές πρόωσης κρύωναν εντελώς. Από αυτή τη διαδικασία πήρε αυτό το όνομα, Cold Ironing - Κρύο Σιδέρωμα.

Από την άλλη πλευρά όμως, σήμερα όταν τα πλοία είναι ελλιμενισμένα χρησιμοποιούν τους βοηθητικούς κινητήρες ούτως ώστε να υποστηρίξουν ορισμένες βασικές λειτουργίες. Με αυτή την διαδικασία όμως παράγονται τόσο SO_x, NO_x, CO₂ και εκκένωση σωματιδίων όσο και θόρυβος και κραδασμοί. Για να μετριαστούν τα παραπάνω ζητήματα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η διαδικασία του Cold Ironing. Η τεχνολογία αυτή είναι βασικά ένα μέτρο κατά της ρύπανσης, επομένως για να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση που παράγεται από γεννήτριες diesel θα πρέπει εναλλακτικά να γίνει χρήση του ηλεκτρικού δικτύου διανομής.

(<https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>)

Γενικά η συμμετοχή του πλοίου στην ατμοσφαιρική ρύπανση δεν περιορίζεται μόνο στα ποντοπόρα πλοία αλλά και σε αυτά που αγκυροβολούν. Ειδικά, ένα πλοίο το οποίο είναι αγκυροβολημένο στο λιμάνι απαιτεί ένα ορισμένο επίπεδο ενέργειας που συνήθως παρέχεται από μία ή περισσότερες γεννήτριες diesel, ανάλογα με την ζήτηση ενέργειας και με την τεχνολογία του πλοίου. Έτσι σε κάθε λιμάνι του κόσμου καταναλώνονται αρκετοί τόνοι καυσίμων την ημέρα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κακή ποιότητα του αέρα περιβάλλοντος.

Προκειμένου λοιπόν να μειωθεί η ρύπανση των λιμένων, η Διεθνή Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL) έβαλε όρια στη περιεκτικότητα του θείου στα καύσιμα. Επιπλέον η οδηγία 2005/33/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιόρισε την περιεκτικότητα του θείου στα καύσιμα σε 0.1% για τα σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας και για αυτά που βρίσκονται αγκυροβολημένα σε λιμάνι. Παρά τους κανονισμούς αυτούς, μια από τις καλύτερες λύσεις για τη μείωση της ρύπανσης των λιμένων είναι το Cold Ironing. (F. D'Agostino *et al.*, 2021)



Σχήμα 3.1: Διαδικασία του Cold Ironing
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Cold_ironing

Παρά τα αναμφισβήτητα περιβαλλοντικά οφέλη, το Cold Ironing είναι ένα σύνθετο τεχνολογικό σύστημα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.5, το οποίο αποτελείται από πολλά στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα είναι απαραίτητη η ηλεκτρική υποδομή στα λιμάνια, δηλαδή θα πρέπει να υπάρχουν μηχανικά και ολοκληρωμένα συστήματα τα οποία θα ταιριάζουν σε όλους τους τύπους των λιμένων, επίσης θα πρέπει να υπάρχουν ηλεκτρικές υποδομές στα πλοία, είτε μετασκευές είτε νέες κατασκευές καθώς επίσης και να υπάρχουν λύσεις σύνδεσης και ελέγχου ούτως ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια του προσωπικού και η συνεχής μεταφορά ισχύος. Τέλος είναι σημαντικό να έχει το πλοίο ένα ολοκληρωμένο σύστημα που θα περιλαμβάνει τον αναγκαίο εξοπλισμό ισχύος για τη σύνδεσή του σε σημείο ισχύος στο λιμάνι και

να υπάρχει ο απαιτούμενος εξοπλισμός ο οποίος θα διασφαλίζει την αυτόματη μεταφορά ισχύος του φορτίου του πλοίου από τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του πλοίου στην πηγή του λιμανιού και πίσω. (<https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>)

3.2 Οφέλη και πιθανές προκλήσεις

Το Cold Ironing παρέχει κυρίως περιβαλλοντικά οφέλη, δηλαδή εάν η τεχνολογία εφαρμοστεί σωστά μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα του αέρα επειδή θα μειωθούν οι εκπομπές CO₂. Στην πραγματικότητα λόγω της υψηλής απόδοσης του Cold Ironing μπορούν να εξοικονομηθούν πάνω από το 30% των εκπομπών CO₂ και περισσότερο από το 95% των NO_x και των σωματιδίων. Για παράδειγμα εάν ένα κρουαζιερόπλοιο αγκυροβολήσει στο λιμάνι για 10 ώρες, τότε οι εκπομπές του μειώνονται από 72.2 σε 50.1 τόνους CO₂, από 1.45 σε 0.04 τόνους οξειδίου του αζώτου και από 1.23 σε 0.04 τόνους οξειδίου του θείου.

Εκτός από το περιορισμό των εκπομπών, το Cold Ironing βοηθάει τόσο στη μείωση της ηχορύπανσης όσο και στη μείωση του κόστους κύκλου ζωής, λόγω της μείωσης κατανάλωσης καυσίμου και του κόστους συντήρησης. Επιπλέον παρέχει καλύτερη άνεση στο πλοίο κατά τη διάρκεια που βρίσκεται στο λιμάνι.

Αντιθέτως θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και ορισμένες προκλήσεις που μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του Cold Ironing. Ένα σημαντικό εμπόδιο που μπορεί να προκύψει είναι στην υποδομή των θαλάσσιων τερματικών σταθμών. Οι σταθμοί αυτοί χρειάζεται να έχουν επιπλέον ηλεκτρική χωρητικότητα, αγωγούς και την υποδοχή 'βύσματος' ούτως ώστε να δέχονται τα καλώδια τροφοδοσίας από ένα πλοίο. Για παράδειγμα ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να χρειαστεί έως και 1600kW ισχύος ενώ βρίσκεται ελλιμενισμένο, αλλά αυτή η ισχύς μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος καθώς η ηλεκτρική υποδομή του λιμανιού, για το Cold Ironing, είναι πιο ακριβή από έναν συμβατικό τερματικό σταθμό. Από την άλλη πλευρά, η παροχή κινήτρων για επένδυση αυτής της τεχνολογίας σε λιμάνια, όπως η μείωση εκπομπών, είναι μία πιθανή λύση στο πρόβλημα αυτό.

Ένα άλλο εμπόδιο θα μπορούσε να είναι η έλλειψη τυποποίησης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε τεχνικά ζητήματα. Κυρίως αυτό σχετίζεται με τη συμβατότητα των παραμέτρων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πολλά πλοία διαφέρουν ως προς την τάση και την συχνότητα.

Στη συνέχεια ένας άλλος παράγοντας που εμποδίζει την εξάπλωση του Cold Ironing είναι η βελτίωση και η χρήση τόσο νέων και καλύτερων κινητήρων όσο και συστημάτων τροφοδοσίας. (<https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>)

3.3 Εφαρμογή του cold ironing

Σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) και με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ελαχιστοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία, η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει επικεντρωθεί στο σχεδιασμό και την κατασκευή πράσινων πλοίων καθώς και πράσινων πλοίων από κατάλληλες τεχνικές μετασκευής. Για το λόγο αυτό όλα τα λιμάνια αποκαθιστούν την στρατηγική τους ούτως ώστε να γίνουν ενεργειακοί κόμβοι που θα κυριαρχούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικότερα, οι λιμενικές εγκαταστάσεις και υπηρεσίες που σχετίζονται με τον στόχο αυτό, περιλαμβάνουν την εγκατάσταση, λειτουργία και διαχείριση συστημάτων όπως είναι το Cold Ironing, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ο έξυπνος φωτισμός του λιμανιού, οι γερανοί διακίνησης φορτίου καθώς επίσης και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Η χωρητικότητα των εγκαταστάσεων Cold Ironing, σε κάθε λιμάνι, και το επενδυτικό κόστος εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτές είναι ο τύπος των πλοίων που επισκέπτονται τα τερματικά λιμάνια, η συχνότητα επίσκεψης ανά τύπο πλοίου καθώς και οι απαιτήσεις ισχύος των πλοίων και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά όπως η ονομαστική τάση και συχνότητα. (<https://ieeexplore.ieee.org/document/9512359>)

Παρά τις προκλήσεις που μπορεί να προκύψουν από την εγκατάσταση συστημάτων Cold Ironing, αρκετά μεγάλα λιμάνια έχουν ήδη εφαρμόσει αυτή τη λύση. Τα λιμάνια που προσφέρουν Cold Ironing είναι το λιμάνι του Λος Άντζελες, το λιμάνι του Λονγκ Μπιτς, το λιμάνι του Σιάτλ, το λιμάνι της Αμβέρσας καθώς επίσης και το λιμάνι της Κυλλήνης.

Το λιμάνι του Λος Άντζελες άνοιξε, το 2004, τον πρώτο τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων ο οποίος χρησιμοποίησε Cold Ironing. Μετά από δύο μήνες αφού είχε κατασκευαστεί η εγκατάσταση, το λιμάνι καλωσόρισε το πρώτο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο που κατασκευάστηκε με προδιαγραφές Cod Ironing, το NYK ATLAS. Στη συνέχεια η Καλιφόρνια έδωσε εντολή ότι θα πρέπει τα μισά από τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων να λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα, επομένως το 2014 το λιμάνι του Λονγκ Μπιτς ολοκλήρωσε τις κατασκευές συνδέσεων τροφοδοσίας.

Επίσης η λιμενική αρχή της Αμβέρσας ήθελε να δημιουργήσει τις απαραίτητες συνθήκες για την παροχή χερσαίας ισχύος στο λιμάνι για τα ποντοπόρα πλοία. Για το λόγο αυτό το 2018 υπέγραψε δύο συμφωνίες για να επιτρέψει την παροχή χερσαίας ισχύος στα πλοία αυτά. Τέλος το 2018 το λιμάνι της Κυλλήνης είχε κατασκευάσει τη πρώτη σύνδεση τροφοδοσίας στην Ανατολική Μεσόγειο όπου εκεί συνδέθηκε το Επιβατηγό - Οχηματαγωγό πλοίο Fior Di Levante. (<https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>)

3.4 Μετατροπή και μετασκευή πλοίων

Κατά τη κατασκευή ενός νέου πλοίου ή τη μετασκευή ενός ήδη υπάρχοντος πλοίου θα πρέπει αρχικά να υπάρχει μία είσοδος καθώς επίσης και μία υποδοχή για το καλώδιο σύνδεσης. Επίσης είναι χρήσιμο να υπάρχει ένας μετασχηματιστής ο οποίος θα μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια υψηλής τάσης σε 440V και αυτός θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στο κεντρικό πίνακα διακοπών στο μηχανοστάσιο.

Κατά το στάδιο της μετασκευής ενός πλοίου, για να επιτραπεί η σύνδεσή του με την υψηλή τάση της ξηράς, θα πρέπει να επιτευχθεί μία αξιολόγηση καθώς ενδέχεται να μην είναι δυνατή η προσαρμογή του πλοίου σε αυτή τη τεχνολογία. Πιο αναλυτικά ο χώρος, σύμφωνα βέβαια με το ναυτικό σχεδιασμό, θα πρέπει να μεγαλώσει, όμως τα περισσότερα βαπόρια και ειδικά τα πιο παλιά τείνουν να έχουν περιορισμένο χώρο διαθέσιμο κοντά στον πίνακα διανομής. Η έλλειψη χώρου μπορεί να είναι προβληματική ειδικά όταν υπάρχει διαφορά στη συχνότητα μεταξύ του βαποριού και της ακτής και αυτό γιατί θα υπάρχει ανάγκη τοποθέτησης μετατροπέα συχνότητας στο πλοίο. Το μέγεθος του μετατροπέα εξαρτάται από την χωρητικότητά του και εκτιμάται ότι ένας μετατροπέας συχνότητας, για μετατροπή περίπου 15 και 20MnH ο οποίος χρησιμοποιείται συχνά, καλύπτει επιφάνεια περίπου 150 έως 200 m². Επομένως καθίσταται προφανές ότι η μετασκευή παλαιών πλοίων δεν είναι πάντα δυνατή και για αυτό το λόγο στα νεότερα πλοία υπάρχει χώρος για μελλοντικές μετασκευές για το Cold Ironing.

(<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/4092898>)

3.5 Κανονισμοί

Για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένων και των περιβαλλοντικών παραγόντων, γίνεται όλο και πιο απαιτητό τα πλοία να κλείνουν τις γεννήτριές τους και να συνδέονται με την πηγή ακτής για όσο το δυνατόν περισσότερο κατά τη διάρκεια παραμονής τους στο λιμάνι. Η διαδικασία αυτή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ονομάζεται Cold Ironing. (IEC/IEEE 80005-1, 2019)

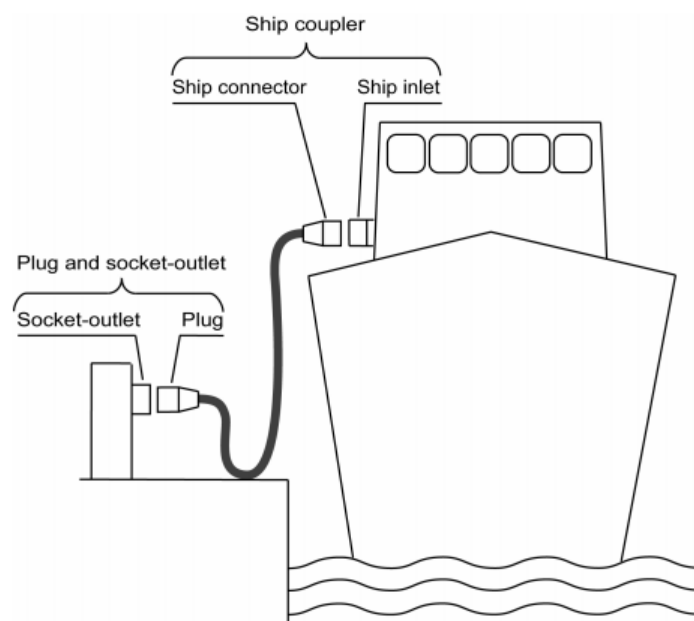
Για να μπορέσει να επιτευχθεί η διαδικασία αυτή, από την πλευρά του πλοίου, έπρεπε να δημιουργηθούν διεθνείς κανονισμοί. Οι κανονισμοί οι οποίοι έχουν φτιαχτεί είναι ο IEC PAS 80005-3 και ο IEC/IEEE 80005-1. Ο πρώτος δημιουργήθηκε το 2014 και αναφέρεται στις γενικές απαιτήσεις των συστημάτων σύνδεσης ακτής χαμηλής τάσης (Low Voltage Shore Connection-LVSC). Ο IEC/IEEE 80005-1 αναθεωρήθηκε το 2019 και αναφέρεται στις γενικές απαιτήσεις των συστημάτων σύνδεσης ακτής υψηλής τάσης (High Voltage Shore Connection-HVSC).

3.5.1 IEC PAS 80005-3

Ο σκοπός αυτού του κανονισμού είναι να καθορίσει τις απαιτήσεις που χρειάζονται για την εφαρμογή κατάλληλων λειτουργικών πρακτικών, την αποτελεσματικότητα

και την ασφάλεια των συνδέσεων συμβατών πλοίων με συμβατά τροφοδοτικά χαμηλής τάσης στην ξηρά, μέσω συμβατής σύνδεσης από την ξηρά προς το πλοίο.

Με την υποστήριξη επαρκούς προγραμματισμού, συνεργασίας μεταξύ πλοίων και τερματικών εγκαταστάσεων καθώς και κατάλληλων λειτουργικών διαδικασιών, ο κανονισμός αυτός προορίζεται να επιτρέψει τη σύνδεση διαφορετικών πλοίων, όπως πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ή μεταφοράς υγρού φορτίου, με την ακτή, σε διαφορετικά αγκυροβόλια, μέσω συστημάτων χαμηλής τάσης (LVSC). Από την άλλη πλευρά τα πλοία τα οποία δεν θα εφαρμόζουν αυτόν τον κανονισμό θα είναι αδύνατο να συνδεθούν με συμβατή ακτή.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα που δείχνει τη χρήση των εξαρτημάτων
Πηγή: IEC PAS 80005-3, 2014

Επιπλέον το διεθνές αυτό πρότυπο επισημαίνει, τις πιθανές επιπτώσεις στη συμβατότητα εάν υπάρξουν αποκλίσεις από τις απαιτήσεις και τις συστάσεις που έχει ορίσει.

Μέσα στον κανονισμό αυτό αναφέρονται δώδεκα ρήτρες οι οποίες προορίζονται για την εφαρμογή όλων των συστημάτων LVSC. Αυτές αφορούν κυρίως την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων LVSC με ένα ελάχιστο επίπεδο απαιτήσεων, που θα τυποποιηθούν σε μία λύση. Περιλαμβάνεται επίσης μέσα στον κανονισμό η απαίτηση να ολοκληρωθεί μία λεπτομερής αξιολόγηση συμβατότητας για κάθε συνδυασμό πλοίου και ακτής πριν πραγματοποιηθεί η άφιξη ενός συγκεκριμένου πλοίου το οποίο θα συνδεθεί με μία συγκεκριμένη παράκτια παροχή για πρώτη φορά.

Τέλος τα άλλα παραρτήματα αυτού του προτύπου περιλαμβάνουν πρόσθετες απαιτήσεις οι οποίες σχετίζονται με την τυποποίηση λύσεων για την επίτευξη

συμβατότητας για συμβατά πλοία σε διαφορετικά συμμορφούμενα αγκυροβόλια και με την αντιμετώπιση ζητημάτων ασφαλείας. Τα παραρτήματα αυτά χρησιμοποιούν την ίδια αρίθμηση με τις δώδεκα ρήτρες απλώς πριν την αρίθμηση υπάρχει το γράμμα του αντίστοιχου παραρτήματος. Πιο συγκεκριμένα η αρίθμηση δεν είναι απαραίτητα συνεχής και επίσης όπου υπάρχουν πρόσθετες απαιτήσεις η ρήτρα δεν εμφανίζεται. (IEC PAS 80005-3, 2014)

3.5.2 IEC/IEEE 80005-1

Το διεθνές αυτό πρότυπο, αντίθετα από το IEC PAS 80005-3, καθορίζει τις απαιτήσεις που χρειάζονται για την εφαρμογή κατάλληλων λειτουργικών πρακτικών, την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια των συνδέσεων συμβατών πλοίων με συμβατά τροφοδοτικά υψηλής τάσης στην ξηρά, μέσω συμβατής σύνδεσης από την ξηρά προς το πλοίο.

Με την υποστήριξη επαρκούς προγραμματισμού, συνεργασίας μεταξύ πλοίων και τερματικών εγκαταστάσεων καθώς και κατάλληλων λειτουργικών διαδικασιών, ο κανονισμός αυτός προορίζεται να επιτρέψει τη σύνδεση διαφορετικών πλοίων, όπως πλοία μεταφοράς αυτοκινήτων, μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, μεταφοράς υγροποιημένου αερίου, μεταφοράς υγρού φορτίου ή κρουαζιερόπλοια, με την ακτή, σε διαφορετικά αγκυροβόλια, μέσω συστημάτων υψηλής τάσης (HVSC). Επίσης ισχύει, όπως και στο προηγούμενο πρότυπο, πλοία τα οποία δεν θα εφαρμόζουν αυτόν τον κανονισμό θα είναι αδύνατο να συνδεθούν με συμβατή ακτή.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι όταν τηρούνται οι απαιτήσεις και οι συστάσεις αυτού του προτύπου, για προμήθεια υψηλής τάσης από ξηρά, είναι πιθανό όλα τα πλοία που επισκέπτονται το σημείο σύνδεσης να είναι συμβατά.

Μέσα στον κανονισμό αυτό αναφέρονται δώδεκα ρήτρες οι οποίες προορίζονται για την εφαρμογή όλων των συστημάτων HVSC. Αυτές αφορούν κυρίως την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων HVSC με ένα ελάχιστο επίπεδο απαιτήσεων, που θα τυποποιηθούν σε μία λύση. Περιλαμβάνεται επίσης μέσα στον κανονισμό η απαίτηση να ολοκληρωθεί μία λεπτομερής αξιολόγηση συμβατότητας για κάθε συνδυασμό πλοίου και ακτής πριν πραγματοποιηθεί η άφιξη ενός συγκεκριμένου πλοίου το οποίο θα συνδεθεί με μία συγκεκριμένη παράκτια παροχή για πρώτη φορά.

Τέλος μέσα στον κανονισμό αυτό υπάρχουν ορισμένα παραρτήματα. Το πρώτο παράρτημα (παράρτημα Α) περιλαμβάνει διάφορες συστάσεις για το τι καλωδιώσεις θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στα συστήματα HVSC. Τα υπόλοιπα παραρτήματα περιλαμβάνουν πρόσθετες απαιτήσεις οι οποίες σχετίζονται με την τυποποίηση λύσεων για την επίτευξη συμβατότητας για συμβατά πλοία σε διαφορετικά συμμορφούμενα αγκυροβόλια και με την αντιμετώπιση ζητημάτων ασφαλείας για συγκεκριμένους τύπους πλοίων.

Πιο αναλυτικά το παράρτημα Α περιέχει απαιτήσεις για τα καλώδια σύνδεσης ξηράς οι οποίες αναπτύχθηκαν από ειδικούς τεχνικούς από διάφορες χώρες. Στο τέλος αυτού του παραρτήματος πραγματοποιούνται δοκιμές των καλωδίων ούτως ώστε να βγει το συμπέρασμα ότι τα υπάρχοντα πρότυπα καλωδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δεν χρειάζεται να αναπτυχθεί ξεχωριστό πρότυπο για καλώδια σύνδεσης ξηράς. (IEC/IEEE 80005-1, 2019)

3.6 Ανασκόπηση τυπολογίου

Κεφάλαιο 1

- $$P_{ον.απορ.} = P_{ον.αποδ.}/\eta \quad (1.1)$$

- $$P_{εγκατ.} = N \cdot P_{ον.απορ.} \quad (1.2)$$

- $$f_s = \sum_i (P_i \cdot t_i) / (24 \cdot P_{ον.αποδ.}) \quad (1.3)$$

- $$P_{λειτ.} = N' \cdot f_s \cdot P_{ον.απορ.} \quad (1.4)$$

- $$P_{λειτ.} = f_s \cdot P_{εγκατ.} \quad (1.5)$$

- $$pf = 0.865 \cdot (1 - e^{-3.74 \cdot f_s}) \quad (1.6)$$

- $$Q = P \cdot \{[\sqrt{1 - (pf)^2}]/pf\} \quad (1.7)$$

- $$I_\gamma = P/V \quad (1.8)$$

- $$I_\gamma = P/(V \cdot \cos \varphi) \quad (1.9)$$

- $$I_\gamma = P/(\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi) \quad (1.10)$$

- $$I = I_\gamma \quad (1.11)$$

- $$I = 1.25 \cdot I_\gamma \quad (1.12)$$

- $$I = 1.25 \cdot I_{\gamma 1} + \sum_{i \neq 1} I_{\gamma i} + 0.5 \cdot \sum_j I_{s j} \quad (1.13)$$

- $$\Delta V = (2 \cdot l \cdot \rho \cdot I) / S \quad (1.14)$$

- $$\Delta V = (2 \cdot l \cdot \rho \cdot I) / S \quad (1.15)$$

- $$\Delta V = (\sqrt{3} \cdot l \cdot \rho \cdot I) / S \quad (1.16)$$

- $$I = 1.25 \cdot I_{\gamma 1} + \sum_{i \neq 1} I_{\gamma i} + 0.5 \cdot \sum_j I_{Sj} \quad (1.17)$$

Κεφάλαιο 2

- $$I = V / R \quad (2.1)$$

- $$Z_{bas} = V_{bas}^2 / (P / \Sigma \cdot I) \quad (2.2)$$

- $$X''_d = 15\% \cdot Z_{bas} \quad (2.3)$$

- $$R_\alpha = 0.01\% \cdot Z_{bas} \quad (2.4)$$

- $$\tilde{I} = \frac{P \cdot 75\%}{\sqrt{3} \cdot \Sigma \cdot I \cdot V_{bas}} \angle -\cos(\Sigma \cdot I) \quad (2.5)$$

- $$\tilde{E}''_q = \frac{\tilde{V}}{\sqrt{3}} + \tilde{I} \cdot (R_\alpha + jX''_d) \quad (2.6)$$

- $$\tilde{I}''_{kd} = \frac{\tilde{E}''_q}{R_\alpha + jX''_d} \quad (2.7)$$

- $$i_p = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot |\tilde{I}''_{kd}| \quad (2.8)$$

Κεφάλαιο 4

Ενεργειακές ανάγκες εμπορικών πλοίων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση των δεδομένων που λήφθηκαν για την διεξαγωγή των υπολογισμών και κατά συνέπεια των αποτελεσμάτων. Πιο αναλυτικά γίνεται αναφορά στους ηλεκτρικούς ισολογισμούς που χρησιμοποιήθηκαν, όπως επίσης και στη διαδικασία με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί. Τέλος παρουσιάζονται διαγράμματα, για κάθε τύπο εμπορικού πλοίου, με βάση τις ενεργειακές ανάγκες και το Deadweight ή τους επιβάτες που έχει κάθε πλοίο, σαν αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας.

4.1 Δεδομένα εμπορικών πλοίων

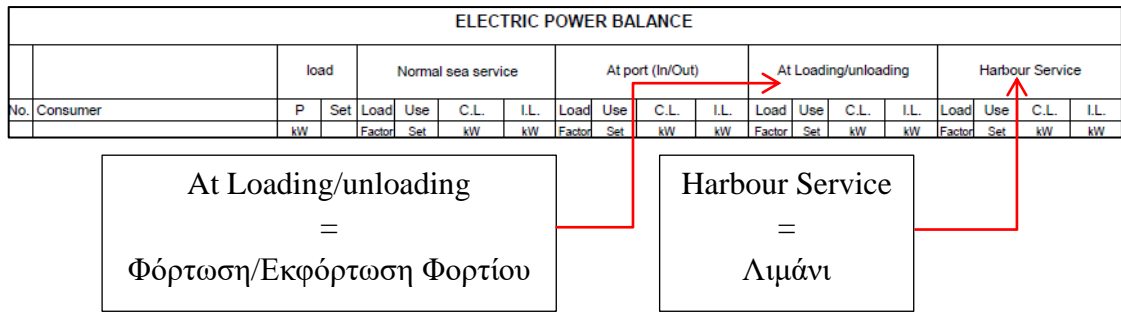
Τα δεδομένα που λήφθηκαν για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής ήταν ηλεκτρικοί ισολογισμοί, δηλαδή αναλύσεις ηλεκτρικού φορτίου, διάφορων εμπορικών πλοίων. Πιο συγκεκριμένα οι ισολογισμοί αυτοί αναφέρονται σε πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην (Bulk Carrier), πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου (Tanker) και πλοία μεταφοράς επιβατών και οχημάτων (Ro-Pax). Επιπλέον πάρθηκε και ένα μικρότερο δείγμα από ισολογισμούς πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container Ship), πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) και υγροποιημένου αερίου (LPG), πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων (Car Carrier) καθώς επίσης και πλοίων μεταφοράς επιβατών (Cruise Ship & High Speed Craft).

Στη συνέχεια από τους ηλεκτρικούς ισολογισμούς επιλέχθηκαν ορισμένες καταστάσεις λειτουργίας πλοίων και καταχωρήθηκαν στο πρόγραμμα Excel ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί πιο εύκολα η ανάλυση των δεδομένων.

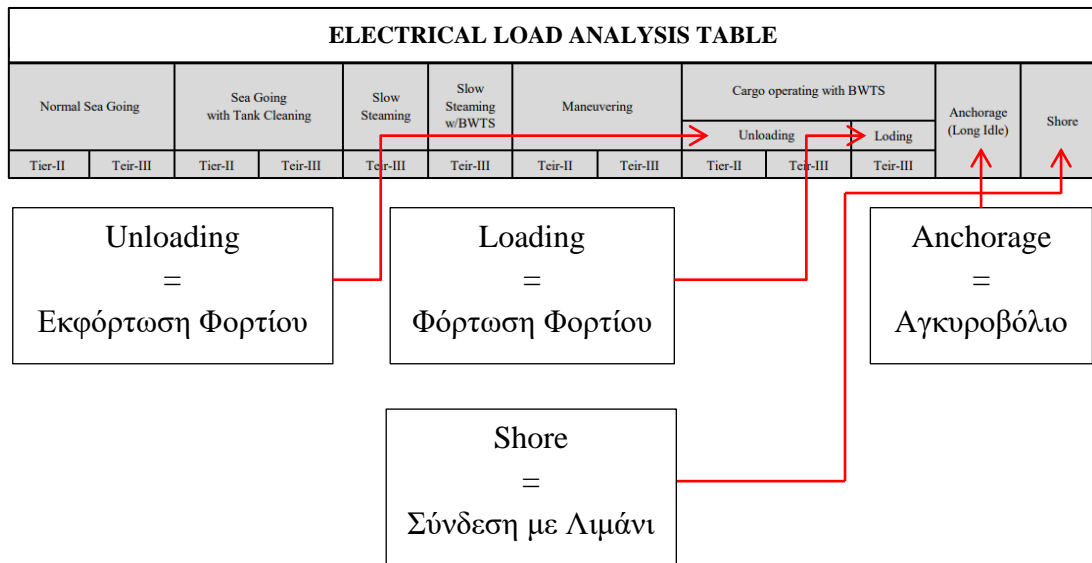
Πιο αναλυτικά οι καταστάσεις οι οποίες επιλέχθηκαν για τους παραπάνω τύπους πλοίων είναι:

- Φόρτωση φορτίου
- Εκφόρτωση φορτίου
- Λιμάνι
- Αγκυροβόλιο
- Σύνδεση με λιμάνι

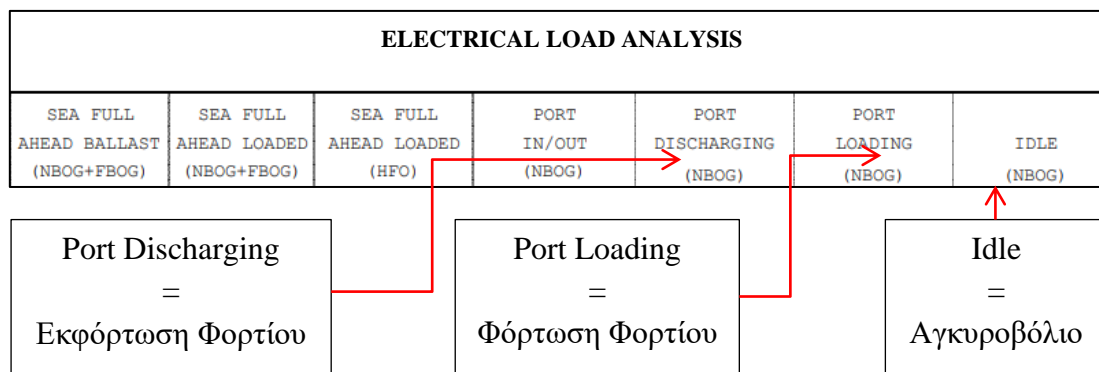
Σε ορισμένους τύπους πλοίων οι καταστάσεις λειτουργίας αυτές μπορεί να διέφεραν ή να μην υπήρχαν και για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν μόνο όσες καταστάσεις από τις προαναφερθείσες υπήρχαν. Στα σχήματα 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι καταστάσεις αυτές σε συγκεκριμένους τύπους πλοίων.



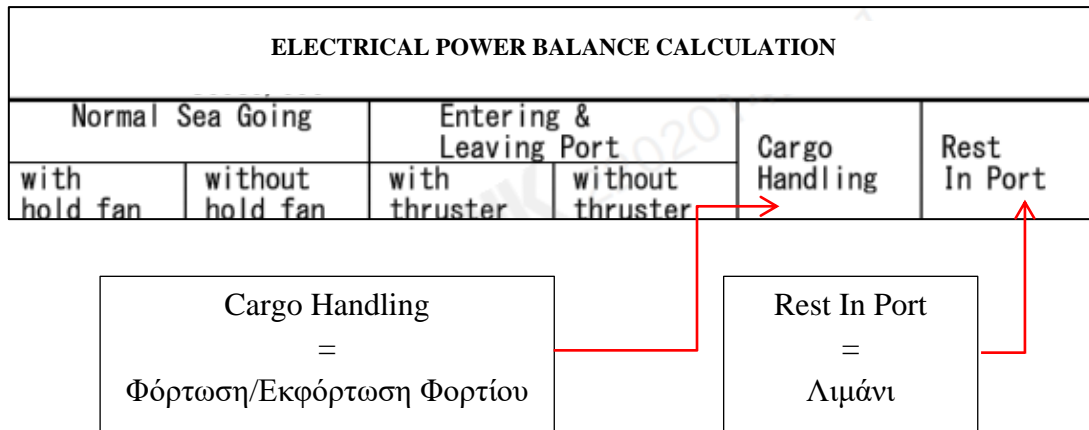
Σχήμα 4.1: Ηλεκτρικός ισολογισμός πλοίου μεταφοράς φορτίου χύδην



Σχήμα 4.2: Ηλεκτρικός ισολογισμός πλοίου μεταφοράς υγρού φορτίου



Σχήμα 4.3: Ηλεκτρικός ισολογισμός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου



Σχήμα 4.4: Ηλεκτρικός ισολογισμός πλοίου μεταφοράς αυτοκινήτων

4.2 Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδη

Αρχικά πάρθηκαν ηλεκτρικοί ισολογισμοί ενενήντα τριών πλοίων μεταφοράς φορτίου χύδη, από τους οποίους λήφθηκαν συγκεκριμένα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά ήταν το Deadweight, το μήκος, το πλάτος, το κοίλο και το βύθισμα του κάθε πλοίου. Επιπλέον λήφθηκαν τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία των πλοίων για τις καταστάσεις λειτουργίας που αναφέρθηκαν προηγουμένως καθώς επίσης και η εγκατεστημένη και η διαθέσιμη ισχύς των γεννητριών.

Στο συγκεκριμένο σημείο είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι, ορισμένοι ισολογισμοί δεν παρείχαν όλα τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου στο οποίο αναφερόντουσαν και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η ιστοσελίδα της εταιρίας MarineTraffic για να αντληθούν ορισμένα από τα κύρια αυτά χαρακτηριστικά.

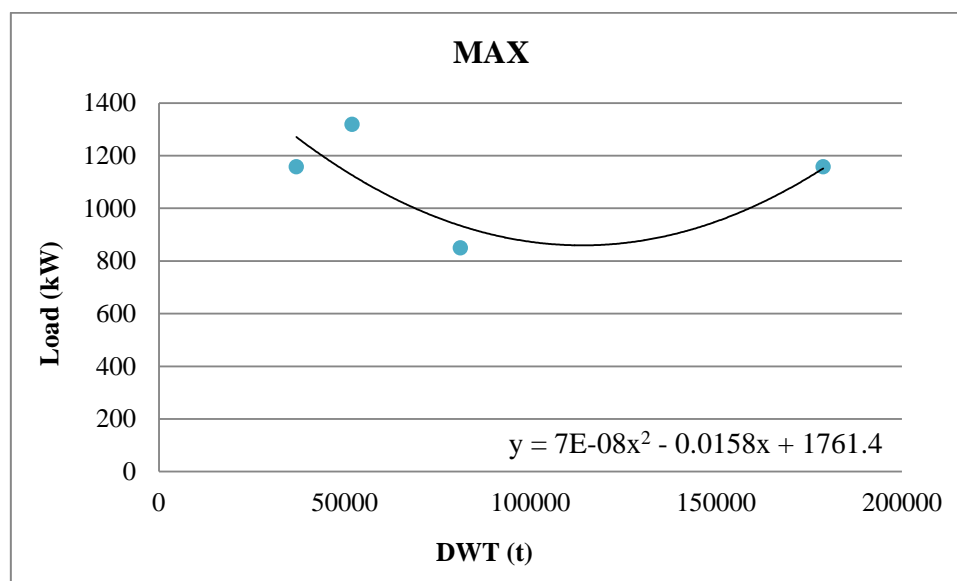
Έπειτα τα δεδομένα αυτά, με τη βοήθεια του προγράμματος Excel, καταχωρήθηκαν και στη συνέχεια κατηγοριοποιήθηκαν, όπως φαίνεται και στο παράρτημα Α, με βάση το Deadweight των πλοίων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε ούτως ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα η επεξεργασία των δεδομένων.

Για την επεξεργασία των δεδομένων, χρειάστηκε αρχικά να υπολογιστούν τρία ποσοστά, όπως παρουσιάζεται και στους πίνακες του παραρτήματος Α. Τα ποσοστά αυτά υπολογίστηκαν ως εξής, το πρώτο υπολογίστηκε με τη διαίρεση του μέγιστο συνολικού ηλεκτρικού φορτίου που απαιτεί το πλοίο κατά τη φόρτωσή ή εκφόρτωσή του προς την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των γεννητριών, το δεύτερο με τη διαίρεση του μέγιστο συνολικού ηλεκτρικού φορτίου που απαιτεί το πλοίο κατά τη διάρκεια που βρίσκεται στο λιμάνι προς την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των γεννητριών και το τρίτο με τη διαίρεση του μέγιστο συνολικού ηλεκτρικού φορτίου που απαιτεί το πλοίο κατά τη φόρτωσή ή εκφόρτωσή του προς την διαθέσιμη ισχύ των γεννητριών.

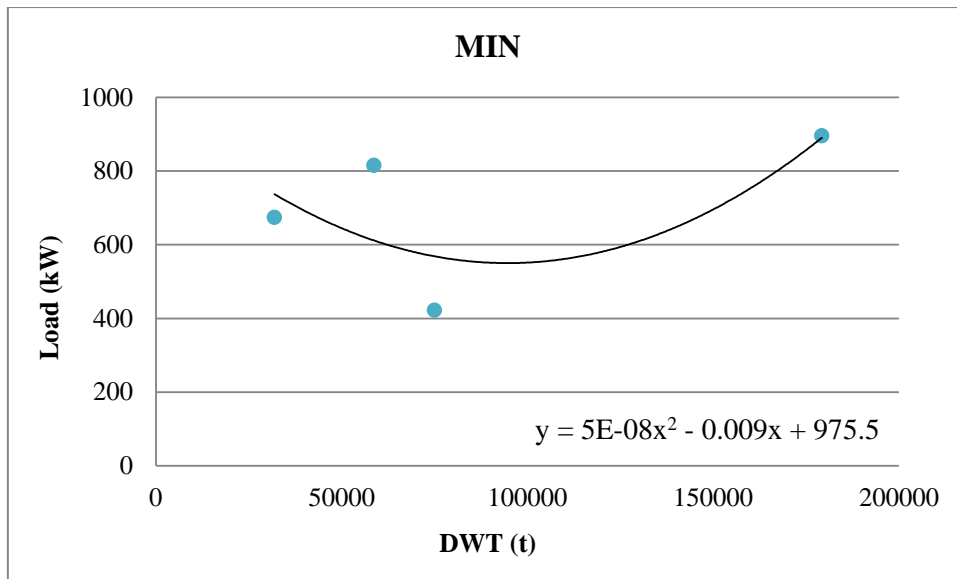
Στη συνέχεια μετά από την πραγματοποίηση των παραπάνω υπολογισμών χρειάστηκε να κατηγοριοποιηθούν τα πλοία ξανά, σε τέσσερις κατηγορίες αυτή τη φορά, με βάση και πάλι το Deadweight τους. Οι κατηγορίες οι οποίες δημιουργήθηκαν, με βάση το δείγμα των πλοίων που είχε παρθεί, ήταν οι εξής:

- 30000 – 40000
- 50000 – 65000
- 70000 – 95000
- 170000 – 185000

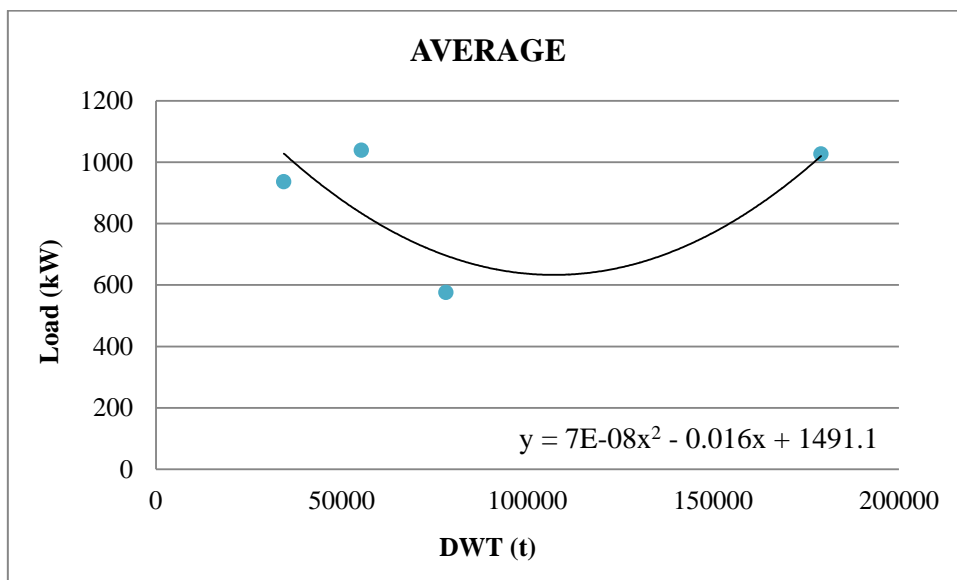
Τέλος επιλέχθηκε η χειρότερη κατάσταση λειτουργίας πλοίων, η οποία ήταν αυτή της φόρτωσης ή εκφόρτωσης, και ανάλογα με το πλήθος των πλοίων που ανήκαν στις πιο πάνω κατηγορίες υπολογίστηκε το μέγιστο και το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτού. Αυτό πραγματοποιήθηκε επειδή έπρεπε να δημιουργηθούν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, σύμφωνα με τα οποία θα είναι εύκολο πλέον να υπολογιστεί το ηλεκτρικό φορτίο που χρειάζεται ένα πλοίο εάν είναι γνωστό μόνο το Deadweight του.



Σχήμα 4.6: Μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.7: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.8: Μέσος όρος ηλεκτρικού φορτίου σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης

4.3 Πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου

Πρώτα από όλα λήφθηκαν ηλεκτρικοί ισολογισμοί πενήντα επτά πλοίων μεταφοράς υγρού φορτίου, από τους οποίους αντλήθηκαν ορισμένα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά, όπως και στη προηγούμενη ενότητα, ήταν το Deadweight, το μήκος, το πλάτος, το κοίλο και το βύθισμα του κάθε πλοίου. Επιπλέον πάρθηκαν τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία των πλοίων για τις καταστάσεις λειτουργίας που αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.1 καθώς επίσης και η εγκατεστημένη και η διαθέσιμη ισχύς των γεννητριών. Επίσης χρησιμοποιήθηκε, όπως και προηγουμένως, η ιστοσελίδα της εταιρίας MarineTraffic μιας και ορισμένα δεδομένα των πλοίων δεν ήταν γνωστά από τους ισολογισμούς.

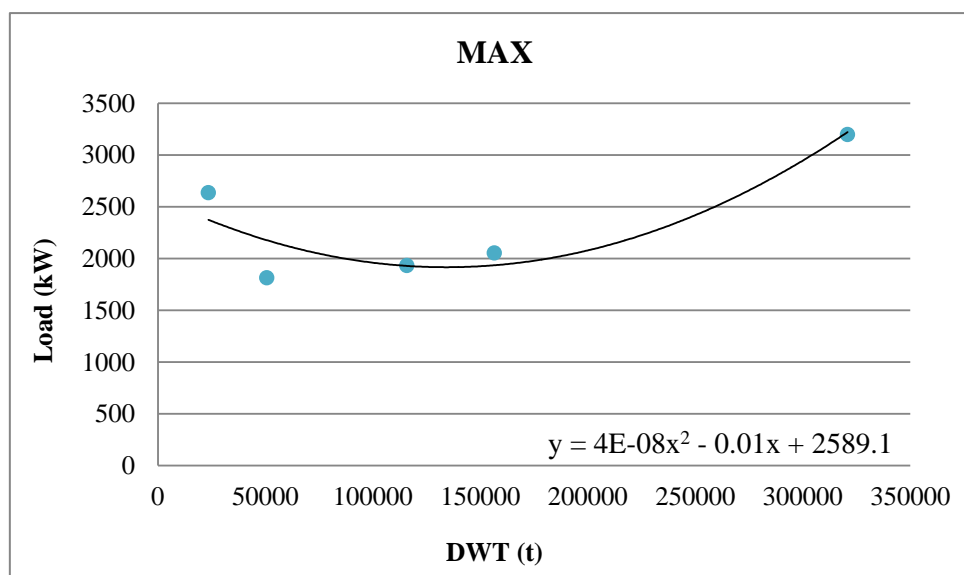
Στη συνέχεια, όπως φαίνεται και στο παράρτημα Β, τα δεδομένα αυτά καταχωρήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν, με τη βοήθεια του προγράμματος Excel,

με βάση το Deadweight των πλοίων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για να μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα η επεξεργασία των δεδομένων. Για την επεξεργασία χρειάστηκε να υπολογιστούν τρία ποσοστά, όπως πραγματοποιήθηκε και στα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην. Τα ποσοστά αυτά υπολογίστηκαν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο με αυτόν που αναφέρεται στην προηγούμενη ενότητα, ενότητα 4.2.

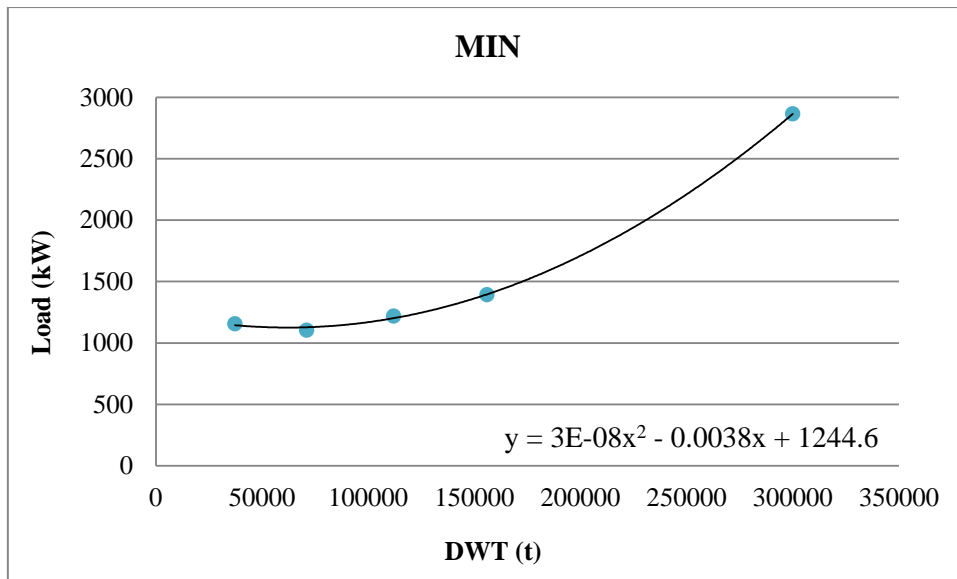
Έπειτα μετά από την πραγματοποίηση των παραπάνω υπολογισμών, τα πλοία κατηγοριοποιήθηκαν ξανά, σε πέντε κατηγορίες αυτή τη φορά, με βάση και πάλι το Deadweight τους. Σύμφωνα με το δείγμα των πλοίων που είχε παρθεί οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν ήταν οι εξής:

- 20000 – 46000
- 50000 – 75000
- 100000 – 120000
- 150000 – 165000
- 300000 – 330000

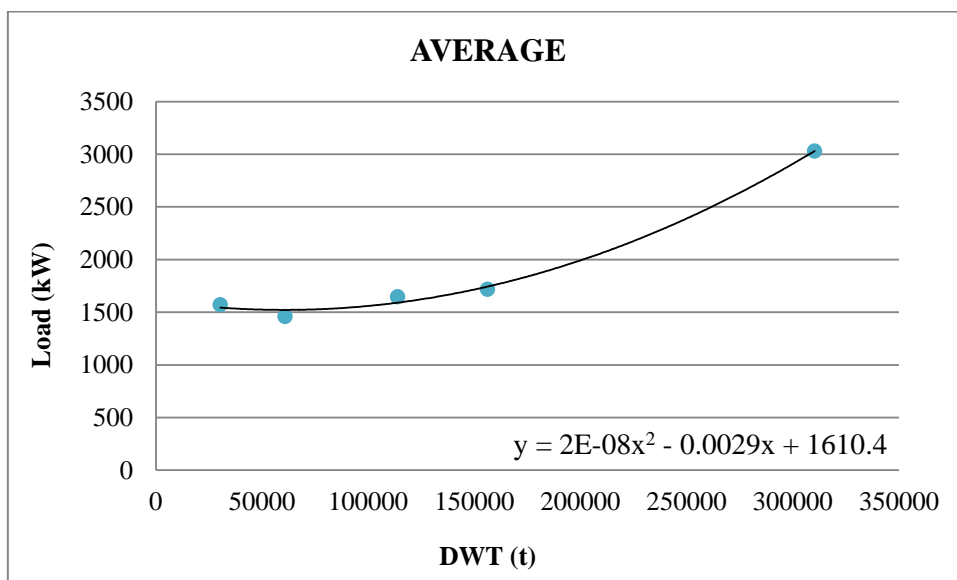
Τέλος, όπως και προηγουμένως, επιλέχθηκε η χειρότερη κατάσταση λειτουργίας πλοίων, η οποία ήταν αυτή της φόρτωσης ή εκφόρτωσης, και ανάλογα με το πλήθος των πλοίων που ανήκαν στις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω υπολογίστηκε το μέγιστο και το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτού. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα που φαίνονται παρακάτω, σύμφωνα με τα οποία θα είναι εύκολο πλέον να υπολογιστεί το ηλεκτρικό φορτίο που χρειάζεται ένα πλοίο μεταφοράς υγρού φορτίου εάν είναι γνωστό μόνο το Deadweight του.



Σχήμα 4.9: Μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.10: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.11: Μέσος όρος ηλεκτρικού φορτίου σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης

4.4 Πλοία μεταφοράς επιβατών και οχημάτων

Όπως και στις προηγούμενες δύο ενότητες πάρθηκαν ηλεκτρικοί ισολογισμοί. Πιο συγκεκριμένα λήφθηκαν ισολογισμοί σαράντα τριών πλοίων μεταφοράς επιβατών και οχημάτων, από τους οποίους αντλήθηκαν συγκεκριμένα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά ήταν το πλήθος των επιβατών, το Deadweight, το μήκος, το πλάτος, το κοίλο και το βύθισμα του κάθε πλοίου. Επίσης, για τις καταστάσεις λειτουργίας που αναφέρθηκαν προηγουμένως, λήφθηκαν τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία των πλοίων καθώς επίσης και η εγκατεστημένη ισχύς των γεννητριών.

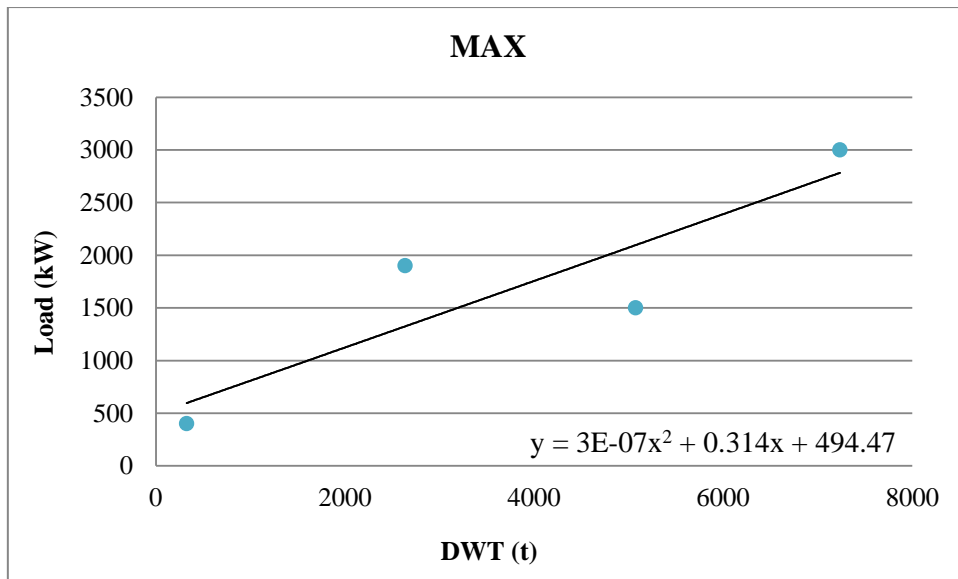
Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ορισμένοι ισολογισμοί δεν παρείχαν όλα τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου στο οποίο αναφερόντουσαν, όπως ήταν αντιληπτό και στις προηγούμενες ενότητες, για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε πάλι η ιστοσελίδα της εταιρίας MarineTraffic για να παρθούν ορισμένα από τα κύρια αυτά χαρακτηριστικά.

Έπειτα καταχωρήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν τα δεδομένα αυτά με δύο τρόπους, πρώτον με βάση το Deadweight των πλοίων και δεύτερον με βάση το πλήθος των επιβατών. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής παρουσιάζονται στο παράρτημα Γ. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε ούτως ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα η επεξεργασία των δεδομένων.

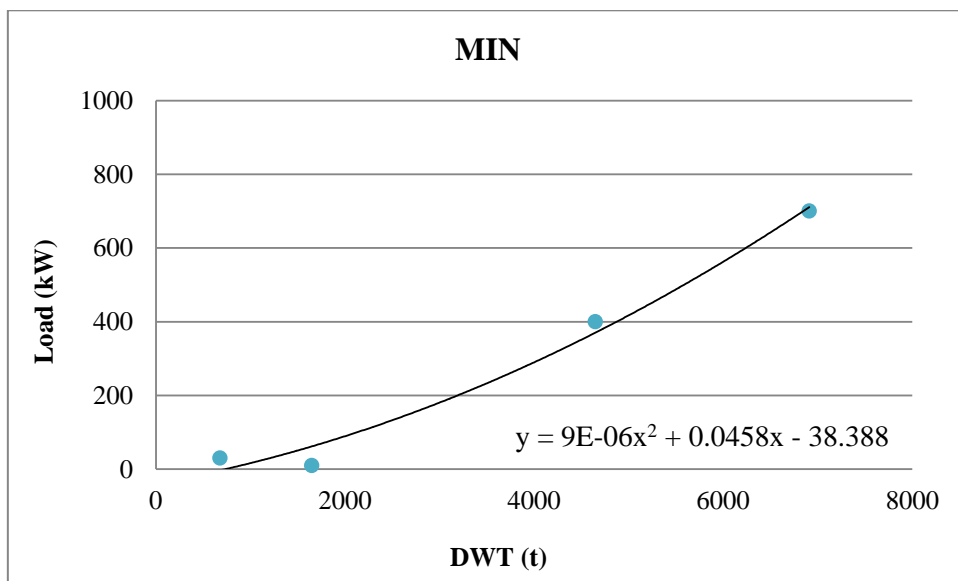
Επομένως μετά από την πραγματοποίηση των παραπάνω χρειάστηκε να κατηγοριοποιηθούν τα πλοία ξανά, με βάση το Deadweight τους, σε τέσσερις κατηγορίες. Οι κατηγορίες οι οποίες δημιουργήθηκαν, με βάση το δείγμα των πλοίων που είχε παρθεί, ήταν οι εξής:

- 300 – 900
- 1000 – 2900
- 3000 – 5100
- 6000 – 9000

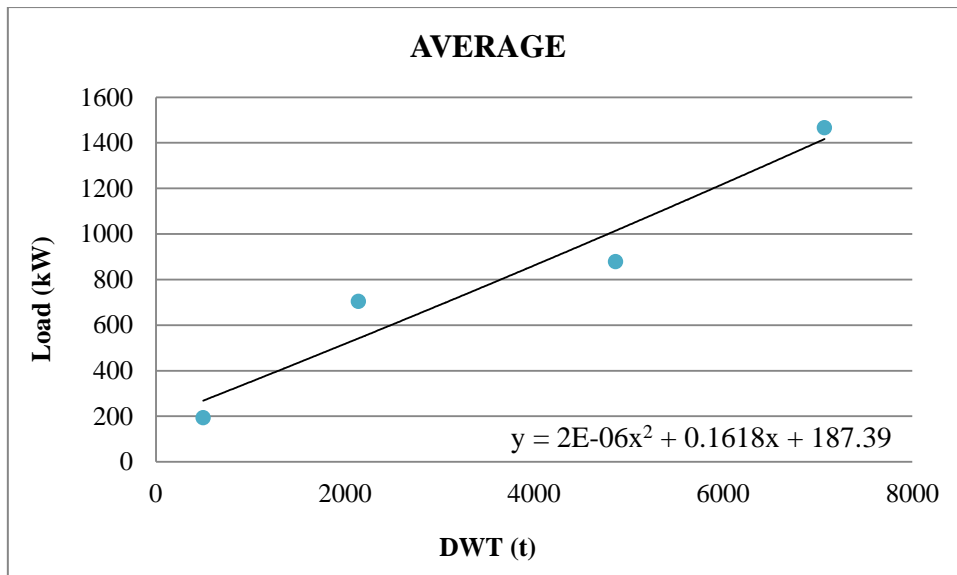
Επιλέχθηκε επομένως η χειρότερη κατάσταση λειτουργίας πλοίων, η οποία ήταν αυτή της φόρτωσης ή εκφόρτωσης, και ανάλογα με το πλήθος των πλοίων που ανήκαν στις πιο πάνω κατηγορίες υπολογίστηκε το μέγιστο και το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτού. Έπειτα δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, σύμφωνα με τα οποία είναι εύκολο πλέον να υπολογιστεί το ηλεκτρικό φορτίο που χρειάζεται ένα πλοίο εάν είναι γνωστό μόνο το Deadweight του.



Σχήμα 4.12: Μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.13: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης

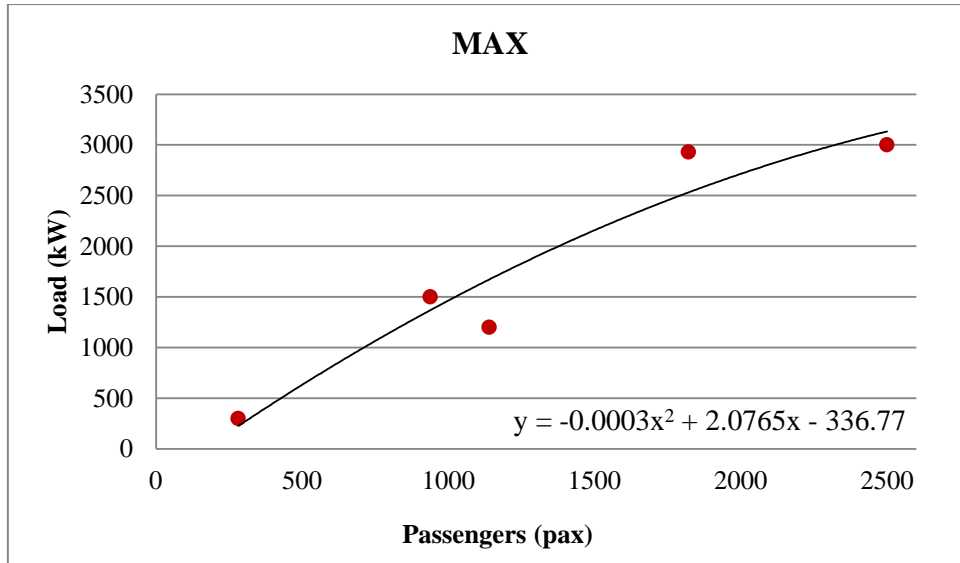


Σχήμα 4.14: Μέσος όρος ηλεκτρικού φορτίου σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης

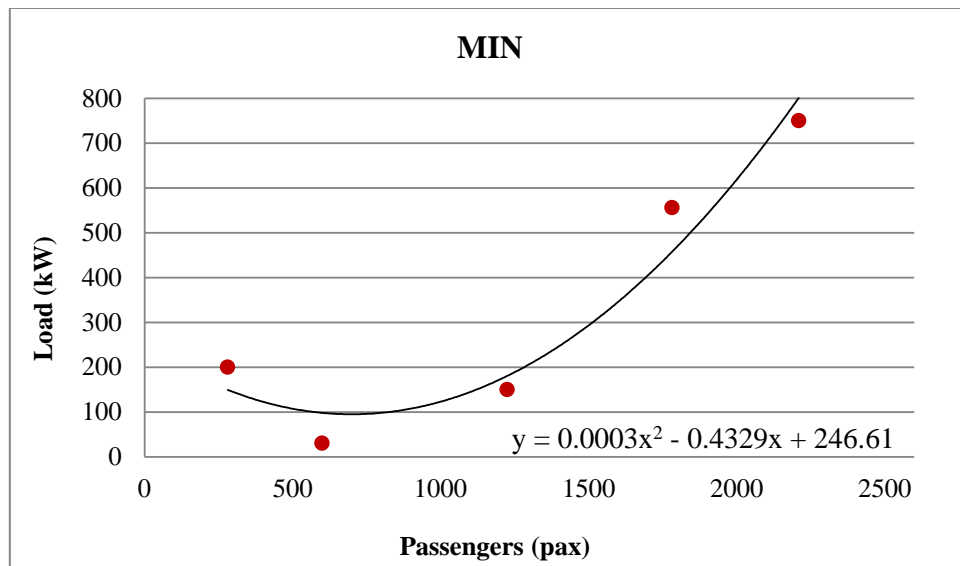
Επίσης για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίων πραγματοποιήθηκε και κατηγοριοποίηση των πλοίων με βάση το πλήθος των επιβατών, αυτή τη φορά σε πέντε κατηγορίες. Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι τέσσερις ισολογισμοί πλοίων δεν παρείχαν την πληροφορία για το πλήθος των επιβατών που μπορεί να επιβιβαστεί σε αυτά και για το λόγο αυτό δεν προσμετρήθηκαν στην κατηγοριοποίηση. Επομένως με βάση το δείγμα των πλοίων που απέμεινε, οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν ήταν οι εξής:

- 100 – 499
- 500 – 999
- 1000 – 1499
- 1500 – 1999
- 2000 – 2500

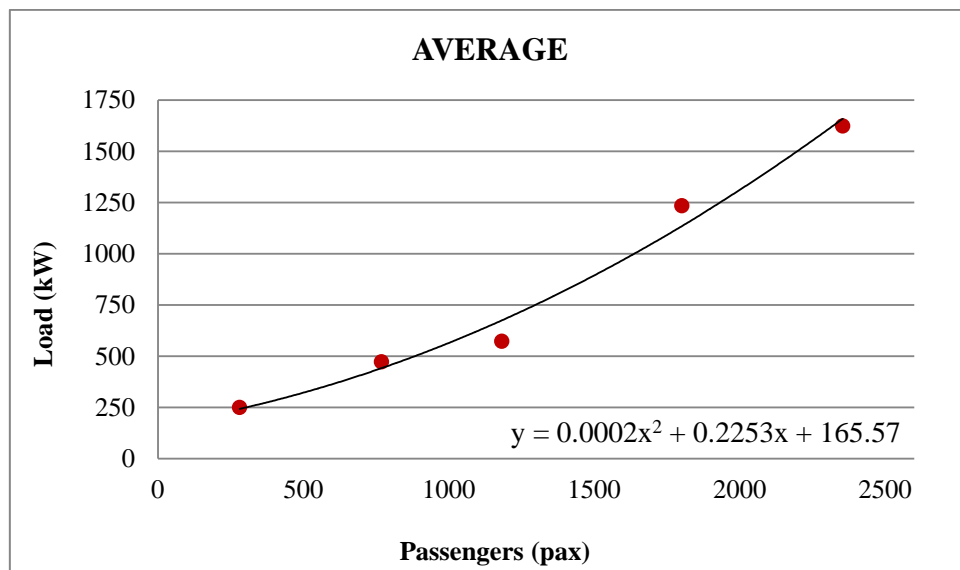
Τέλος όπως και προηγουμένως επιλέχθηκε η χειρότερη κατάσταση λειτουργίας πλοίων, η οποία ήταν αυτή της φόρτωσης ή εκφόρτωσης, και ανάλογα με το πόσα πλοία ανήκουν στις πιο πάνω κατηγορίες υπολογίστηκε το μέγιστο και το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτού. Έπειτα δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, σύμφωνα με τα οποία είναι εύκολο πλέον να υπολογιστεί το ηλεκτρικό φορτίο που χρειάζεται ένα πλοίο εάν είναι γνωστή η χωρητικότητά του σε επιβάτες.



Σχήμα 4.15: Μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.16: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.17: Μέσος όρος ηλεκτρικού φορτίου σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης

4.5 Άλλοι τύποι εμπορικών πλοίων

Όσον αφορά την ενότητα αυτή, λήφθηκαν ισολογισμοί πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και υγροποιημένου αερίου, πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων καθώς επίσης και πλοίων μεταφοράς επιβατών.

Πιο αναλυτικά, στις κατηγορίες των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου αερίου πάρθηκε ένας ισολογισμός για κάθε κατηγορία. Από τους ισολογισμούς αυτούς αντλήθηκαν, για τις καταστάσεις λειτουργίας που αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.1, τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία των πλοίων στα οποία αναφέρεται ο κάθε ένας. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και πάλι η ιστοσελίδα της εταιρίας MarineTraffic, μιας και το Deadweight, το μήκος και το πλάτος των πλοίων, δεν ήταν γνωστά.

Για την κατηγορία των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου λήφθηκαν ηλεκτρικοί ισολογισμοί δύο πλοίων από τους οποίους πάρθηκαν τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία αυτών, για τις καταστάσεις λειτουργίας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επιπλέον ο κάθε ισολογισμός διέθετε και το Deadweight του πλοίου στο οποίο αναφερόταν.

Τέλος για τις κατηγορίες των πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων και των πλοίων μεταφοράς επιβατών λήφθηκαν ηλεκτρικοί ισολογισμοί δύο πλοίων και δέκα τεσσάρων πλοίων αντίστοιχα, εκ των οποίων οι δύο αναφέρονται σε Cruise Ship και οι υπόλοιποι δώδεκα σε High Speed Craft. Από αυτούς αντλήθηκαν, για τις καταστάσεις λειτουργίας που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία των πλοίων στα οποία αναφέρεται ο κάθε ένας. Για την κατηγορία των πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων χρησιμοποιήθηκε η ιστοσελίδα της εταιρίας MarineTraffic, μιας και το Deadweight, το μήκος και το πλάτος των πλοίων, δεν ήταν γνωστά. Ενώ για την κατηγορία των πλοίων μεταφοράς επιβατών τα στοιχεία αυτά ήταν γνωστά, για ορισμένα πλοία, από τους ισολογισμούς τους.

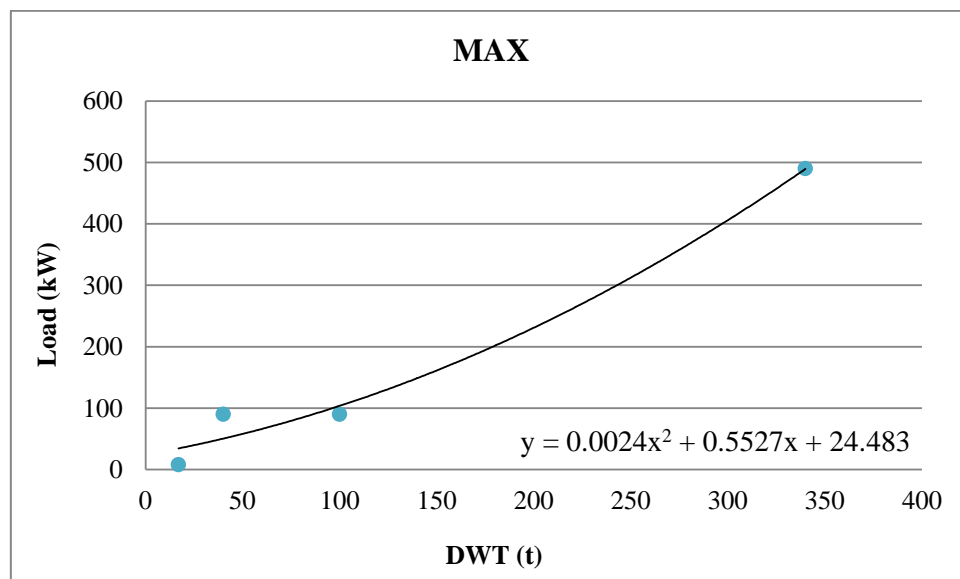
Στη συνέχεια, όπως φαίνεται και στο παράρτημα Δ, τα δεδομένα κάθε κατηγορίας πλοίων που αναφέρθηκαν στην ενότητα αυτή, καταχωρήθηκαν σε διαφορετικά φύλλα Excel. Όσον αφορά τις κατηγορίες των πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων και των πλοίων μεταφοράς επιβατών (Cruise Ship), η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε ούτως ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα η επεξεργασία των δεδομένων, αν ληφθεί μεγαλύτερο δείγμα τέτοιων πλοίων στο μέλλον. Ενώ για την κατηγορία των πλοίων High Speed Craft ακολουθήθηκε η διαδικασία που παρουσιάζεται στις παραπάνω ενότητες.

Όσον αφορά την κατηγορία των πλοίων High Speed Craft, καταχωρήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν τα δεδομένα των πλοίων αυτών με δύο τρόπους, πρώτον με βάση το Deadweight των πλοίων και δεύτερον με βάση το πλήθος των επιβατών.

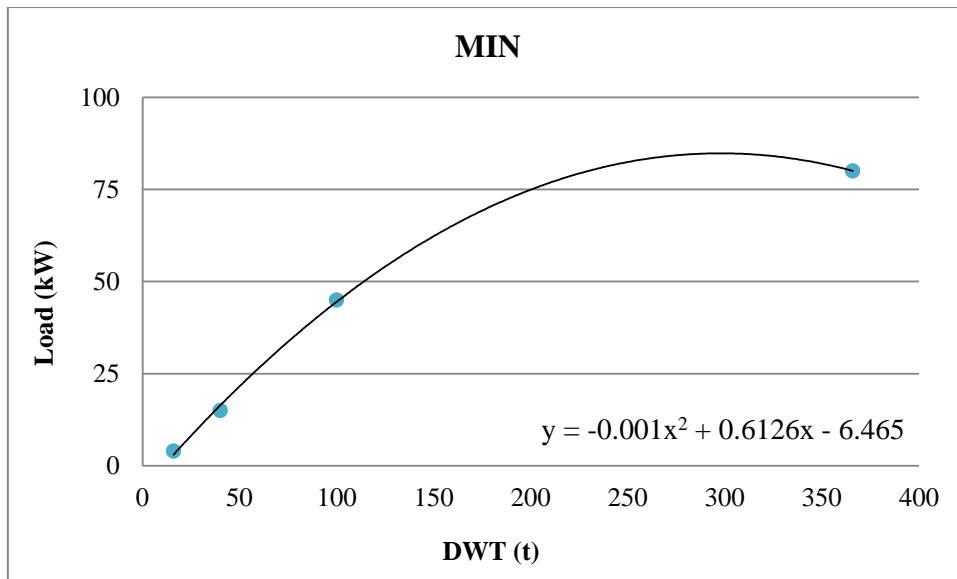
Επομένως μετά από την πραγματοποίηση των παραπάνω χρειάστηκε να κατηγοριοποιηθούν τα πλοία ξανά, με βάση το Deadweight τους, σε τέσσερις κατηγορίες. Οι κατηγορίες οι οποίες δημιουργήθηκαν, με βάση το δείγμα των πλοίων που είχε παρθεί, ήταν οι εξής:

- 10 – 20
- 30 – 80
- 90 – 150
- 300 – 400

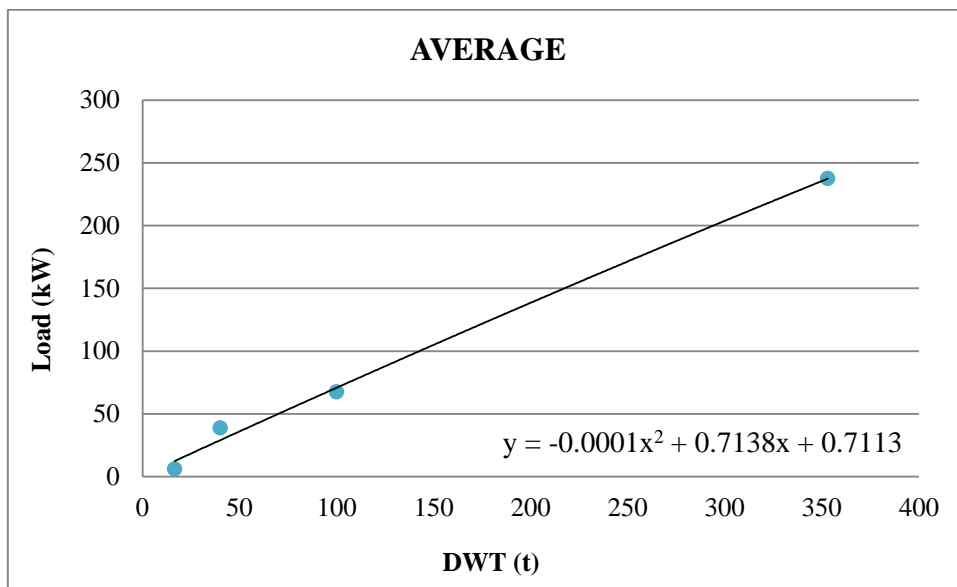
Επιλέχθηκε επομένως η χειρότερη κατάσταση λειτουργίας πλοίων, η οποία ήταν αυτή της φόρτωσης ή εκφόρτωσης, και ανάλογα με το πλήθος των πλοίων που ανήκαν στις πιο πάνω κατηγορίες υπολογίστηκε το μέγιστο και το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτού. Δημιουργήθηκαν στη συνέχεια τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, σύμφωνα με τα οποία είναι εύκολο πλέον να υπολογιστεί το ηλεκτρικό φορτίο που χρειάζεται ένα πλοίο εάν είναι γνωστό μόνο το Deadweight του.



Σχήμα 4.18: Μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.19: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



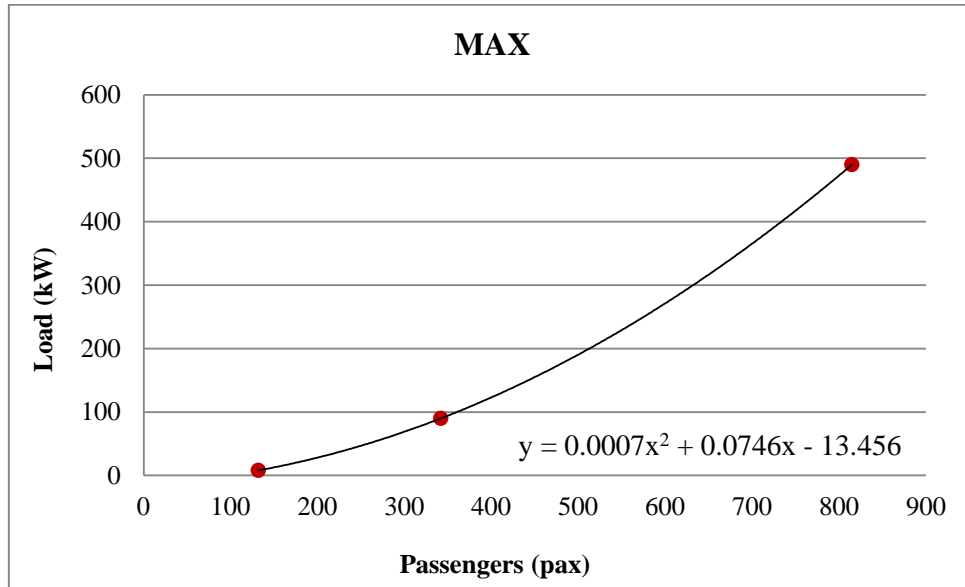
Σχήμα 4.20: Μέσος όρος ηλεκτρικού φορτίου σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης

Επίσης για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίων πραγματοποιήθηκε και κατηγοριοποίηση των πλοίων με βάση το πλήθος των επιβατών, αυτή τη φορά σε τρεις κατηγορίες. Με βάση το δείγμα των πλοίων που είχε ληφθεί οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν ήταν οι εξής:

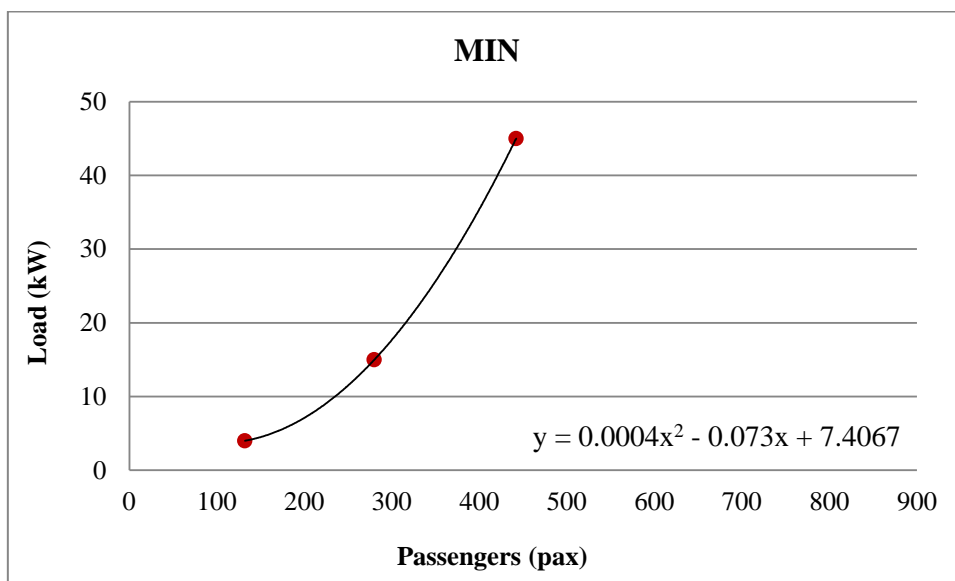
- 1 – 199
- 200 – 399
- 400 – 1100

Τέλος όπως και προηγουμένως επιλέχθηκε η χειρότερη κατάσταση λειτουργίας πλοίων, η οποία ήταν αυτή της φόρτωσης ή εκφόρτωσης, και ανάλογα με το πόσα πλοία ανήκουν στις πιο πάνω κατηγορίες υπολογίστηκε το μέγιστο και το ελάχιστο

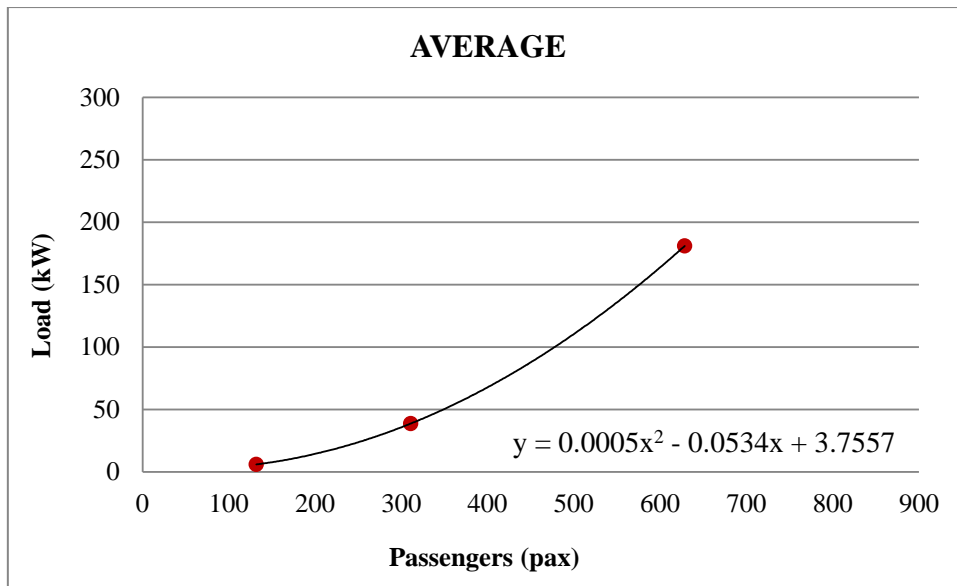
ηλεκτρικό φορτίο καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτού. Δημιουργήθηκαν έπειτα τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, σύμφωνα με τα οποία είναι εύκολο πλέον να υπολογιστεί το ηλεκτρικό φορτίο που χρειάζεται ένα πλοίο εάν είναι γνωστή η χωρητικότητά του σε επιβάτες.



Σχήμα 4.21: Μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.22: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης



Σχήμα 4.23: Μέσος όρος ηλεκτρικού φορτίου σε κατάσταση φόρτωσης / εκφόρτωσης

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν, οι ανάγκες του Cold Ironing οδηγούν στο να πραγματοποιηθεί διαστασιολόγηση πινάκων διασύνδεσης πλοίου-ξηράς ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά ενός πλοίου, όπως για παράδειγμα το Deadweight ή σε συγκεκριμένες περιπτώσεις το πλήθος των επιβατών. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, για τις κατηγορίες των πλοίων όπου λήφθηκε μεγάλο δείγμα πλοίων, είναι εύκολο πλέον να υπολογιστεί η ενεργειακή απαίτηση που θα έχει ένα πλοίο ίδιας κατηγορίας κατά τον ελλιμενισμό του.

Πιο συγκεκριμένα για τις κατηγορίες των πλοίων όπου υπήρχε μεγάλο δείγμα, δηλαδή Bulk Carrier, Tanker, Ro-Pax και High Speed Craft, δημιουργήθηκαν οι εξισώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1 με ικανοποιητική ακρίβεια. Από αυτές είναι εύκολο να υπολογιστεί η ενεργειακή απαίτηση που θα χρειαστεί ένα πλοίο, το οποίο θα ανήκει σε μία από τις τέσσερις κατηγορίες που αναφέρθηκαν, είτε για να γίνει διαστασιολόγηση και κοστολόγηση του πίνακα διασύνδεσης πλοίου-ξηράς, όπως φαίνεται ενδεικτικά για δύο διαφορετικούς τύπους πλοίων στο παράρτημα Ε, είτε για το λιμάνι προορισμού του.

Φαίνεται λοιπόν από τις παραπάνω εξισώσεις, ότι υπάρχει ένας ικανοποιητικός συσχετισμός μεταξύ των κύριων χαρακτηριστικών ενός πλοίου, και του ενεργειακού φορτίου που απαιτεί. Αυτό ισχύει επειδή οι συναρτήσεις έχουν αύξουσα μορφή και έτσι όταν αυξάνεται το Deadweight ή το πλήθος των επιβατών αυξάνονται και οι ενεργειακές ανάγκες του εκάστοτε πλοίου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ασφαλέστερα είναι τα συμπεράσματα, σύμφωνα με τις παραπάνω διαδικασίες, για τα Bulk Carrier, τα Tanker και τα Ro-Pax μιας και υπάρχει σε αυτές τις κατηγορίες ικανοποιητικό πλήθος πλοίων. Από την άλλη πλευρά για τα πλοία των κατηγοριών Container Ship, LNG, LPG, Car Carrier και Cruise Ship δεν θεωρείται ασφαλής η εκτίμηση μιας και το δείγμα των πλοίων σε αυτές τις κατηγορίες ήταν αρκετά μικρό. Τέλος το ίδιο ισχύει και για την κατηγορία High Speed Craft όπου για να θεωρηθεί ασφαλές το συμπέρασμα θα έπρεπε να είχε παρθεί μεγαλύτερο δείγμα πλοίων αυτής της κατηγορίας.

Bulk Carrier		
x: Deadweight [t], y: Load [kW]		
Ηλεκτρικό Φορτίο	Συναρτήσεις	Πλήθος Πλοίων
Μέγιστο	$y = 7 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.0158 x + 1761.4$	93
Ελάχιστο	$y = 5 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.009 x + 975.5$	
Μέσος Όρος	$y = 7 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.016 x + 1491.1$	
Tanker		
x: Deadweight [t], y: Load [kW]		
Ηλεκτρικό Φορτίο	Συναρτήσεις	Πλήθος Πλοίων
Μέγιστο	$y = 4 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.01 x + 2589.1$	57
Ελάχιστο	$y = 3 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.0038 x + 1244.6$	
Μέσος Όρος	$y = 2 \cdot 10^{-8} x^2 - 0.0029 x + 1610.4$	
Ro-Pax		
x: Deadweight [t], y: Load [kW]		
Ηλεκτρικό Φορτίο	Συναρτήσεις	Πλήθος Πλοίων
Μέγιστο	$y = 3 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.314 x + 494.47$	43
Ελάχιστο	$y = 9 \cdot 10^{-6} x^2 + 0.0458 x - 38.388$	
Μέσος Όρος	$y = 2 \cdot 10^{-6} x^2 + 0.1618 x + 187.39$	
x: Passengers [pax], y: Load [kW]		
Ηλεκτρικό Φορτίο	Συναρτήσεις	Πλήθος Πλοίων
Μέγιστο	$y = -0.0003 x^2 + 2.0765 x - 336.77$	39
Ελάχιστο	$y = 0.0003 x^2 - 0.4329 x + 246.61$	
Μέσος Όρος	$y = 0.0002 x^2 + 0.2253 x + 165.57$	
High Speed Craft		
x: Deadweight [t], y: Load [kW]		
Ηλεκτρικό Φορτίο	Συναρτήσεις	Πλήθος Πλοίων
Μέγιστο	$y = 0.0024 x^2 + 0.5527 x + 24.483$	12
Ελάχιστο	$y = -0.001 x^2 + 0.6126 x - 6.465$	
Μέσος Όρος	$y = -0.0001 x^2 + 0.7138 x + 0.7113$	
x: Passengers [pax], y: Load [kW]		
Ηλεκτρικό Φορτίο	Συναρτήσεις	Πλήθος Πλοίων
Μέγιστο	$y = 0.0007 x^2 + 0.0746 x - 13.456$	12
Ελάχιστο	$y = 0.0004 x^2 - 0.073 x + 7.4067$	
Μέσος Όρος	$y = 0.0005 x^2 - 0.0534 x + 3.7557$	

Πίνακας 5.1: Εξισώσεις υπολογισμού ενεργειακής απαίτησης πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται, επίσης, μερικές προτάσεις για άξονες μελλοντικής συνέχισης της έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Έτσι:

1) Η μεθοδολογία σχεδιασμού (όσον αφορά στη διαστασιολόγηση, κοστολόγηση αλλά και πρόβλεψη ενεργειακής απαίτησης) πινάκων ηλεκτρικής διασύνδεσης μπορεί να επεκταθεί και για άλλους τύπους πλοίων με προοπτικές εφαρμογής cold ironing, όπως:

- Container Ships
- LNG, LPG
- Car Carriers
- Cruise Ships

2) Σε κάποιες περιπτώσεις διαφάνηκε ότι δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμα τυποποιημένα δεδομένα από κατασκευαστές καλωδιακού και διακοπτικού υλικού για την ηλεκτρική διασύνδεση. Έτσι, θα μπορούσε να γίνει μία προσπάθεια συλλογής επιπλέον τέτοιων στοιχείων.

3) Ακολουθώντας τις οδηγίες από τα πρότυπα της σειράς IEC 80005, μπορεί να γίνει μελέτη των Cable Management Systems (CMS) που διαφέρουν ανά τύπο πλοίου, ενίοτε και ανά εφαρμογή σε λιμάνι. Θα μπορούσε να γίνει μία διερεύνηση των εναλλακτικών λύσεων των συστημάτων CMS για διάφορους τύπους πλοίων που ενδιαφέρουν και σε επόμενο στάδιο για διαφορετικά λιμάνια.

Βιβλιογραφία

Φραγκόπουλος Χ., Προυσαλίδης Ι., 2019, *Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου*, Εκδόσεις DaVinci, Αθήνα

F. D' Agostino, C. L. Bossi, F. Colzi, D. Kaza, G. P. Schiapparelli, F. Silvestro, 2021, Assessment of the Potential Shore to Ship Load Demand: The Italian Scenario, 2021 *IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*

IEC PAS 80005-3, 2014, *Publicly Available Specification Pre-Standard, Part 3, Edition 1.0*

IEC/IEEE 80005-1, 2019, *International Standard, Part 1, Edition 2.0*

Πηγές διαδικτύου

J. M. Prousalidis, 2011, The necessity of reactive power balance in ship electric energy systems, *Journal of Marine Engineering & Technology*, Vol. 10, Issue 1, 37 – 47

(<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20464177.2011.11020242>)

F. D' Agostino, S. Dallas, V. Georgiou, J. Prousalidis, G. P. Schiapparelli, D. Spathis 2021, On Estimating the Port Power Demands for Cold Ironing Applications, 2021 *IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)*

(<https://ieeexplore.ieee.org/document/9512359>)

Sara Libera Zanetti, 2013, *Is Cold Ironing Hot Enough? An Actor Focus Perspective of On Shore Power Supply (OPS) at Copenhagen's Harbour*, Thesis, Lund University (<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/4092898>)

https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER107/Εκπαιδευτικό%20Ουλικό/Παρουσιάσεις/10_Ηλεκτρικά_δίκτυα_πλοίων%28Εαρινό_2015%29.pdf

http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/gl/maritimerules/gl_i-1-3_e_new.pdf

https://www.academia.edu/28714945/Electrical_installations_in_ships_Part_352_Choice_and_installation_of_electrical_cables

https://www.academia.edu/15628377/Electrical_installations_of_ships_and_mobile_and_fixed_offshore_units_Part_1_Procedures_for_calculating_short_circuit_currents_in_three_phase_a_c

https://yaramarine.com/shore-power-system/?gclid=EAIaIQobChMIvITL_Nyv8AIVDxoGAB0eYQIEEAAYASAAEgJKevD_BwE

<https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Cold_ironing

Παράρτημα Α

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1	Yes		32000					31896	175,53	29,40
2	Yes							32581	179,9	28,4
3	Yes		33500					33755	180,00	30,00
4	Yes		33500					33755	180,00	30,00
5	Yes		33500					33757	180,00	30,00
6	Yes		34000							
7	Yes		34000							
8	Yes		35300							
9			37000	179,90	30,00	15,10	10,50			
10			37000	179,90	30,00	15,10	10,50			
11			37000							
12	Yes							52000	189,9	32,24
13	Yes							55567	189,99	32,26
14	Yes		56000	182	32,26	17,9	11,2	55616	189,99	32,26
15	Yes		56000	182,00	32,26	17,90	11,20	56015	189,99	32,30
16	Yes		56000	182,00	32,26	17,90	11,20	56032	189,99	32,26
17	Yes							56704	189,99	32,26
18	Yes							56716	189,99	32,26
19	Yes							56804	189,99	32,26
20	Yes							56810	189,99	32,26
21	Yes							56816	189,99	32,26
22	Yes							56898	189,94	32,26
23	Yes							56899	189,99	32,26
24	Yes							56988	189,99	32,26

Total Load (Loading)		Total Load (Unloading)		Total Load (Port)		Total Load (Anchoring)
Cargo Handling (Av. Crane)		Cargo Handling (Peak Crane)		Total Load (Port) (Ballasting)	Total Load (Port) (De-Ballasting)	
Cargo Handling (Ballasting)		Cargo Handling (De-Ballasting)				
Cargo Handling (Av. Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Av. Crane) (De-Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (De-Ballasting)			
Cargo Handling/Load-Unload/ Cargo Service						
674,00				254,90		
702,26				250,80		
1055,70		902,10				
1055,70		902,10				
1055,70		902,10				
856,40				377,70		
765,00				229,10		
784,20		831,40		249,80		
1157,10						179,00
1117,40						154,10
1030,75				294,79		
1318,50		1224,80		381,00		
826,30				165,00		
767,00	723,30	884,20	840,50	173,00		
691,30	711,40	837,60	857,70	203,50		
741,30	713,20	887,60	859,50	203,50		
1017,80		978,26		340,00		
1017,80		978,26		340,00		
1017,80		978,26		340,00		
1050,00		1050,00		429,50		
1017,80		978,26		340,00		
1247,70		1208,20		632,00	592,50	
1247,70		1208,20		632,00	592,50	
1247,70		1208,20		632,00	592,50	

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
800	84,3%	31,9%	800	84,3%
1320	53,2%	19,0%	880	79,8%
1800	58,7%		1200	88,0%
1800	58,7%		1200	88,0%
1800	58,7%		1200	88,0%
1710	50,1%	22,1%	1140	75,1%
1260	60,7%	18,2%	840	91,1%
1530	54,3%	16,3%	1020	81,5%
1500	77,1%		1500	77,1%
1800	62,1%		1800	62,1%
1710	60,3%	17,2%	1140	90,4%
1860	70,9%	20,5%	1860	70,9%
1320	62,6%	12,5%	880	93,9%
1440	61,4%	12,0%	1440	61,4%
1440	59,6%	14,1%	960	89,3%
1440	61,6%	14,1%	960	92,5%
1800	56,5%	18,9%	1200	84,8%
1800	56,5%	18,9%	1200	84,8%
1800	56,5%	18,9%	1200	84,8%
1800	58,3%	23,9%	1200	87,5%
1800	56,5%	18,9%	1200	84,8%
2160	57,8%	29,3%	1440	86,6%
2160	57,8%	29,3%	1440	86,6%
2160	57,8%	29,3%	1440	86,6%

A/A: 1

Πλήθος: 1 - 24

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην (Bulk Carrier)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
25	Yes							57050	189,99	32,26
26	Yes							57070	189,99	32,26
27	Yes							57081	189,99	32,26
28	Yes		57700					57185	190,00	32,26
29	Yes		57700					57227	190,00	32,26
30	Yes		57700					57266	190,00	32,26
31	Yes		57700					57275	190,00	32,26
32	Yes		57700					57573	190,00	32,26
33	Yes		58000					57981	189,99	32,26
34	Yes		58000							
35	Yes		58100					58163	189,99	32,26
36	Yes		58500					58677	189,99	32,26
37	Yes							58689	197,00	32,26
38	Yes							58731	189,99	32,26
39	Yes							58831	197,00	32,26
40			60000	193,00	32,25	18,50	11,20			
41	Yes		63500					63270	199,99	32,00
42	Yes		63500					63270	199,00	32,00
43			63500							
44			64000							
45			64000							
46	Yes							75008	225,00	32,20
47	Yes		75000					75105	255,01	32,30
48	Yes		75000					75172	224,97	32,30

Total Load (Loading)		Total Load (Unloading)		Total Load (Port)		Total Load (Anchoring)
Cargo Handling (Av. Crane)		Cargo Handling (Peak Crane)		Total Load (Port) (Ballasting)	Total Load (Port) (De-Ballasting)	
Cargo Handling (Ballasting)		Cargo Handling (De-Ballasting)				
Cargo Handling (Av. Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Av. Crane) (De-Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (De-Ballasting)			
Cargo Handling/Load-Unload/ Cargo Service						
1247,70		1208,20		632,00	592,50	
1024,00		1024,00			396,30	
1089,20		1049,60			364,00	
991,10		1039,60			448,30	
	1081,40				346,70	
991,10		1039,60			448,30	
991,10		1039,60			448,30	
991,10		1039,60			448,30	
1078,80		1088,10			321,50	
	901,00				175,40	
826,10		835,10			185,90	
	815,32				190,20	
790,50		903,60			173,00	
858,30		837,44			192,30	
727,10		887,10			183,80	
960,30		957,50			221,70	
1135,40		1198,70			369,20	
1135,40		1198,70			369,20	
	1147,10				371,60	
	980,15				409,59	
	1303,32				347,66	
	422,10				220,90	
	702,70				367,50	
	702,70				367,50	

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
2160	57,8%	29,3%	1440	86,6%
1800	56,9%	22,0%	1200	85,3%
1800	60,5%	20,2%	1800	0,0%
1860	55,9%	24,1%	1240	83,8%
1875	57,7%	18,5%	1250	86,5%
1860	55,9%	24,1%	1240	83,8%
1860	55,9%	24,1%	1240	83,8%
1860	55,9%	24,1%	1240	83,8%
1950	55,8%	16,5%	1300	83,7%
1500	60,1%	11,7%	1000	90,1%
1440	58,0%	12,9%	960	87,0%
1440	56,6%	13,2%	960	84,9%
1500	60,2%	11,5%	1000	90,4%
1440	59,6%	13,4%	1440	59,6%
1500	59,1%	12,3%	1000	88,7%
1830	52,5%	12,1%	1220	78,7%
2040	58,8%	18,1%	2040	58,8%
2040	58,8%	18,1%	2040	58,8%
1980	57,9%	18,8%	1320	86,9%
1980	49,5%	20,7%	1320	74,3%
2340	55,7%	14,9%	1560	83,5%
1200	35,2%	18,4%	800	52,8%
1950	36,0%	18,8%	1300	54,1%
1950	36,0%	18,8%	1300	54,1%

A/A: 2

Πλήθος: 25 - 48

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην (Bulk Carrier)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
49	Yes		75000					75210	225,01	32,30
50	Yes							75311	225,00	32,25
51	Yes		75500					75354	225,00	32,28
52	Yes		75500					75750	225,00	32,28
53	Yes			217,30	32,26	19,30		76390	225,00	32,26
54	Yes		76500					76583	224,94	32,26
55	Yes		76000					76596	224,94	32,26
56	Yes		76400					76598	224,94	32,26
57	Yes		76500					76619	224,94	32,26
58	Yes		76500					76636	224,94	32,26
59	Yes		76500					76633	224,94	32,26
60	Yes							76635	225	32,2
61	Yes							77997	225	32,2
62	Yes							77998	225	32,2
63	Yes							77998	225	32,2
64	Yes							78056	225	32,2
65	Yes							79648	228,97	32,32
66	Yes		80800							
67	Yes		81000					80282	229	32,29
68	Yes							80310	229,00	32,24
69	Yes							80387	229,00	32,24
70	Yes		81000					80686	229	32,29
71	Yes		81000					80686	229	32,29
72	Yes		81000					80700	229	32,29

Total Load (Loading)		Total Load (Unloading)		Total Load (Port)		Total Load (Anchoring)
Cargo Handling (Av. Crane)		Cargo Handling (Peak Crane)		Total Load (Port) (Ballasting)	Total Load (Port) (De-Ballasting)	
Cargo Handling (Ballasting)		Cargo Handling (De-Ballasting)				
Cargo Handling (Av. Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Av. Crane) (De-Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (De-Ballasting)			
Cargo Handling/Load-Unload/ Cargo Service						
615,90		559,50		328,00		
	674,75			328,00		
677,10		465,90				
677,10		465,90				
536,20		485,10		189,50		
625,77				165,47		
651,33		648,36		199,08		
517,62		537,67		217,49		
486,36		458,06		162,79		
625,77				165,47		
471,98		450,58		159,08		
448,90		428,80		210,10		
	499,60			243,60		
	499,60			243,60		
	499,60			243,60		
	499,60			243,60		
717,20		764,70		371,60		
552,30		596,80		264,30		
480,30		473,90		372,40		
	491,00			363,9		
	491,00			363,90		
480,30		473,90		372,40		
480,30		473,90		372,40		
480,30		473,90		372,40		

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
1800	34,2%	18,2%	1200	51,3%
1800	37,5%	18,2%	1200	56,2%
1800	37,6%		1200	56,4%
1800	37,6%		1200	56,4%
1260	42,6%	15,0%	840	63,8%
1200	52,1%	13,8%	800	78,2%
1200	54,3%	16,6%	800	81,4%
1200	44,8%	18,1%	800	67,2%
1200	40,5%	13,6%	800	60,8%
1200	52,1%	13,8%	800	78,2%
1200	39,3%	13,3%	800	59,0%
1200	37,4%	17,5%	800	56,1%
1680	29,7%	14,5%	1120	44,6%
1680	29,7%	14,5%	1120	44,6%
1680	29,7%	14,5%	1120	44,6%
1680	29,7%	14,5%	1120	44,6%
2100	36,4%	17,7%	1400	54,6%
1530	39,0%	17,3%	1020	58,5%
1860	25,8%	20,0%	1240	38,7%
1860	26,4%	19,6%	1240	39,6%
1860	26,4%	19,6%	1240	39,6%
1860	25,8%	20,0%	1240	38,7%
1860	25,8%	20,0%	1240	38,7%
1860	25,8%	20,0%	1240	38,7%

A/A: 3

Πλήθος: 49 - 72

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην (Bulk Carrier)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
73	Yes		81200							
74	Yes							81359	229,02	32,25
75	Yes		82000							
76	Yes		82000							
77	Yes							82145	228,99	32,26
78	Yes							82688	228,99	32,26
79	Yes							82936	228,99	32,26
80	Yes							83688	229	32,24
81	Yes		92500					93242	229,20	38,32
82	Yes		92500					93268	229,20	38,32
83	Yes		115000					114688	255,24	42,99
84	Yes							177897	292,00	45,00
85	Yes	Yes						178838	291,97	45,00
86	Yes		180000					179166	292,26	45,00
87	Yes		180000					179276	292,00	45,00
88	Yes		180000					179701	292,08	45,17
89	Yes		180000					179759	291,9	45,05
90	Yes		180000					180201	288,93	45,00
91	Yes		181000					181016	291,90	44,99
92	Yes		181000					181406	291,9	45
93	Yes		180200					181447	291,98	45,00

Total Load (Loading)		Total Load (Unloading)		Total Load (Port)		Total Load (Anchoring)
Cargo Handling (Av. Crane)		Cargo Handling (Peak Crane)		Total Load (Port) (Ballasting)	Total Load (Port) (De-Ballasting)	
Cargo Handling (Ballasting)		Cargo Handling (De-Ballasting)				
Cargo Handling (Av. Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Av. Crane) (De-Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (Ballasting)	Cargo Handling (Peak Crane) (De-Ballasting)			
Cargo Handling/Load-Unload/ Cargo Service						
	849,10			378,7		
	626,80			391,90		
	801,30			353,9		
	438,67			404,62		
	738,80			202,00		
432,13		421,34		192,50		
446,50		419,60		190,50		
	605,90			353,10		
607,90		621,90		410,10		
607,90		621,90		410,10		
844,50		837,20		507,60		
1053,10		1140,10		493,60		
	1157,70			306,60		
1047,30		1056,30		695,50		
888,80		895,70		361,40		
1100,98		1080,58				
	1129,00			979,40		
931,20		892,32		210,69		
963,36		955,98		673,80		
891,77		931,21		223,21		
	958,37			218,34		

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
2040	41,6%	18,6%	1360	62,4%
1800	34,8%	21,8%	1200	52,2%
1980	40,5%	17,9%	1320	60,7%
1890	23,2%	21,4%	630	69,6%
1200	61,6%	16,8%	1200	61,6%
1200	36,0%	16,0%	800	54,0%
1200	37,2%	15,9%	800	55,8%
1410	43,0%	25,0%	940	64,5%
2190	28,4%	18,7%	1460	42,6%
2190	28,4%	18,7%	1460	42,6%
2250	37,5%	22,6%	1500	56,3%
2700	42,2%	18,3%	1800	63,3%
2190	52,9%	14,0%	1460	79,3%
2190	48,2%	31,8%	1460	72,3%
2310	38,8%	15,6%	1540	58,2%
2280	48,3%		1520	72,4%
2280	49,5%	43,0%	1520	74,3%
1800	51,7%	11,7%	1200	77,6%
2700	35,7%	25,0%	1800	53,5%
2250	41,4%	9,9%	1500	62,1%
1800	53,2%	12,1%	1200	79,9%

A/A: 4

Πλήθος: 73 - 93

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην (Bulk Carrier)

Παράρτημα Β

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1			23500							
2	Yes							37263	183	27,34
3	Yes							37339	182,55	27,34
4	Yes							37371	182,55	27,37
5	Yes							37418	182,55	27,34
6	Yes							37467	182,55	27,37
7	Yes							45879	179,88	32,2
8	Yes							45948	179,88	32,23
9	Yes		50000					50607	183	32,24
10	Yes		50000					50695	183	32,24
11			50000							
12	Yes		51000					50922	183,00	32,20
13	Yes		51000					50922	183,00	32,20
14	Yes							53021	186	32,25
15	Yes							53039	186	32,23
16	Yes							53082	186	32,23
17	Yes							53095	186	32,23
18	Yes							53106	186	32,23
19	Yes							53148	186	32,23
20	Yes		71000	218	32,2	19,6	13,7	71010	228,56	32,23
21	Yes		71000	218	32,2	19,6	13,7	71024	228,56	32,23
22	Yes		73400					73289	228,6	32,57
23	Yes		73400					73307	228,6	32,57
24	Yes		73400					73334	228	32,6

Total Load (Loading)		Total Load (Unloading)		Total Load (Port)		Total Load (Anchoring/Long Idle)	Total Load (Shore)
Cargo Load/Unload (Ballasting)		Cargo Load/Unload(De-Ballasting)					
Cargo Handling (Ave.)		Cargo Handling (Peak)		Port (Ave.)	Port (Peak)		
Total Load (Loading) (Ave.)	Total Load (Loading) (Peak)	Total Load (Unloading) (Ave.)	Total Load (Unloading) (Peak)				
Cargo Load (Ballasting)	Cargo Unload (Ballasting)	Cargo Load (De-Ballasting)	Cargo Unload (De-Ballasting)				
Cargo Handling/Load-Unload							
2635,40				598,60			
1155,10				296,10			
1155,10				296,10			
1308,20				343,70			
1155,10				296,10			
1308,20				343,70			
520,30	542,30	1905,30	1927,30	211,60	231,60		
520,30	542,30	1905,30	1927,30	211,60	231,60		
1628,10				483,60			
1628,10				483,60			
1812,80				564,50			
1602,50				383,90			
1602,50				383,90			
1432,80				371,50			
1432,80				371,50			
1432,80				371,50			
1432,80				371,50			
1432,80				371,50			
1432,80				371,50			
1104,20						351,00	
1104,20						351,00	
1651,10		1285,60		521,40			
1651,10		1285,60		521,40			
1651,10		1285,60		521,40			

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
3150	83,7%	19,0%	3150	83,7%
2220	52,0%	13,3%	1480	78,0%
2220	52,0%	13,3%	1480	78,0%
2220	58,9%	15,5%	1480	88,4%
2220	52,0%	13,3%	1480	78,0%
2220	58,9%	15,5%	1480	88,4%
2400	80,3%	9,7%	2400	80,3%
2400	80,3%	9,7%	2400	80,3%
2700	60,3%	17,9%	1800	90,5%
2700	60,3%	17,9%	1800	90,5%
3300	54,9%	17,1%	2200	82,4%
2700	59,4%	14,2%	1800	89,0%
2700	59,4%	14,2%	1800	89,0%
2220	64,5%	16,7%	2220	64,5%
2220	64,5%	16,7%	2220	64,5%
2220	64,5%	16,7%	2220	64,5%
2220	64,5%	16,7%	2220	64,5%
2220	64,5%	16,7%	2220	64,5%
2220	64,5%	16,7%	2220	64,5%
2040	54,1%		1360	81,2%
2040	54,1%		1360	81,2%
2700	61,2%	19,3%	2700	61,2%
2700	61,2%	19,3%	2700	61,2%
2700	61,2%	19,3%	2700	61,2%

A/A: 1

Πλήθος: 1 - 24

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου (Tanker)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
25	Yes		73400					73382	228	32,6
26	Yes							74998	228	32,24
27	Yes							74998	228	32,24
28	Yes							74999	228	32
29	Yes							74999	228	32,24
30	Yes							74999	228	32,24
31	Yes							74999	228	32,24
32	Yes		105300	229,00	42,00	21,30		105614	237,71	42,00
33	Yes							106741	243,8	42
34	Yes							106898	243,8	42
35	Yes							106969	243,8	42
36	Yes							107506	243,8	42
37	Yes	Yes						107525	243,8	42
38			112000							
39			114000							
40			115000							
41	Yes	Yes	115500					115666	249	43,8
42	Yes	Yes	115000					115707	248,97	43,8
43	Yes	Yes	115000					115739	248,97	43,8
44	Yes	Yes	115000					115795	248,97	43,8
45	Yes	Yes	115000					115812	248,97	43,84
46	Yes	Yes	115000					115896	248,97	43,84
47	Yes	Yes	115000					115904	248,97	43,8
48			156000							

Total Load (Loading)		Total Load (Unloading)		Total Load (Port)		Total Load (Anchoring/Long Idle)	Total Load (Shore)
Cargo Load/Unload (Ballasting)		Cargo Load/Unload (De-Ballasting)					
Cargo Handling (Ave.)		Cargo Handling (Peak)		Port (Ave.)	Port (Peak)		
Total Load (Loading) (Ave.)	Total Load (Loading) (Peak)	Total Load (Unloading) (Ave.)	Total Load (Unloading) (Peak)				
Cargo Load (Ballasting)	Cargo Unload (Ballasting)	Cargo Load (De-Ballasting)	Cargo Unload (De-Ballasting)				
Cargo Handling/Load-Unload							
1651,10		1285,60			521,40		
1318,60		963,50			556,50		
1318,60		963,50			556,50		
1318,60		963,50			556,50		
1318,60		963,50			556,50		
1318,60		963,50			556,50		
1318,60		963,50			556,50		
1423,50		1099,90					
	1527,40						
	1527,40						
	1527,40						
	1233,70				323,10		
	1420,30				315,20		
1004,40		1219,10			478,00		
993,20		1570,80			387,60		
1026,90		1753,70				408,50	396,60
1536,20		1567,90		676,60	708,30		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1837,50		1932,00		832,80	897,70		
1088,50		1392,70					

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
2700	61,2%	19,3%	2700	61,2%
2040	64,6%	27,3%	2040	64,6%
2040	64,6%	27,3%	2040	64,6%
2040	64,6%	27,3%	2040	64,6%
2040	64,6%	27,3%	2040	64,6%
2040	64,6%	27,3%	2040	64,6%
2040	64,6%	27,3%	2040	64,6%
1950	73,0%		1950	73,0%
2400	63,6%		2400	63,6%
2400	63,6%		2400	63,6%
2400	63,6%		2400	63,6%
1920	64,3%	16,8%	1920	64,3%
1920	74,0%	16,4%	1920	74,0%
2310	52,8%	20,7%	1540	79,2%
2940	53,4%	13,2%	1960	80,1%
3300	53,1%		2200	79,7%
2400	65,3%	29,5%	1600	98,0%
2400	80,5%	37,4%	2400	80,5%
2400	80,5%	37,4%	2400	80,5%
2400	80,5%	37,4%	2400	80,5%
2400	80,5%	37,4%	2400	80,5%
2400	80,5%	37,4%	2400	80,5%
2400	80,5%	37,4%	2400	80,5%
2580	54,0%		1720	81,0%

A/A: 2

Πλήθος: 25 - 48

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου (Tanker)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
49			156500							
50			158000							
51	Yes	Yes	158000					158532	274,37	48
52	Yes		158000					158583	274	48,04
53	Yes	Yes	158000					158622	274,37	48
54	Yes							164608	274	50,04
55	Yes							164565	274	50,04
56			300000							
57	Yes	Yes	318000					320780	331	59,65

Total Load (Loading)		Total Load (Unloading)		Total Load (Port)		Total Load (Anchoring/Long Idle)	Total Load (Shore)
Cargo Load/Unload (Ballasting)		Cargo Load/Unload (De-Ballasting)					
Cargo Handling (Ave.)		Cargo Handling (Peak)		Port (Ave.)	Port (Peak)		
Total Load (Loading) (Ave.)	Total Load (Loading) (Peak)	Total Load (Unloading) (Ave.)	Total Load (Unloading) (Peak)				
Cargo Load (Ballasting)	Cargo Unload (Ballasting)	Cargo Load (De-Ballasting)	Cargo Unload (De-Ballasting)				
Cargo Handling/Load-Unload							
1649,40		2052,60		641,10			
1206,70		1771,10		641,20			
1728,04		1803,04		836,29	909,76		
1299,20		1549,30		568,30	818,50		
1728,04		1803,04		836,29	909,76		
1337,00	1688,30	957,90	1309,20	364,70			
1337,00	1688,30	957,90	1309,20	364,70			
2043,00		2863,30		865,80			
3095,40		3198,20		1325,60	1407,30		

<u>Cargo Handling (max)</u>				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
3480	59,0%	18,4%	2320	88,5%
4140	42,8%	15,5%	2760	64,2%
2700	66,8%	33,7%	2700	66,8%
2520	61,5%	32,5%	1680	92,2%
2700	66,8%	33,7%	2700	66,8%
2550	66,2%	14,3%	2550	66,2%
2550	66,2%	14,3%	2550	66,2%
5010	57,2%	17,3%	3340	85,7%
3750	85,3%	37,5%	3750	85,3%

A/A: 3

Πλήθος: 49 - 57

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου (Tanker)

Παράρτημα Γ

No.	Ballast	Scrubber	Passengers	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1			763	400	77,35	14,00	4,90	3,90	325	89,76	14,00
2			281	290	88,00	17,10	4,60	2,65	340	100,31	17,10
3			725	1351		15,40			457	90,10	15,40
4			1010	469	79,20	24,00	7,80	3,86	470	92,60	24,01
5			600	440		13,50			679	83,70	13,50
6			1225	528	75,00	22,00	6,25	5,05	850	77,85	22,00
7			800	1475	92,20	17,40	4,40		880	96,30	17,40
8			600	2857		16,60			918	94,40	16,60
9			1400	999		20,00			1258	121,00	20,00
10			1	1143	61,26	14,00	5,55	4,00	1650	75,46	14,00
11			1140	1671	105,00	20,02	4,74	4,75	1671	118,65	20,00
12			1102	2690	110,00	17,20	6,60	5,15	1713	120,78	20,00
13			850	1734	90,00	17,20	4,44	4,36	1734	98,56	16,24
14			1474	1893	117,00	18,90	7,25	5,10	1896	124,00	18,90
15			1474	1893	117,00	18,90	7,30	5,10	1896	124,20	18,90
16			1782	2472	127,11	21,00	7,50	5,30	1960	141,00	21,00
17			1287	2236	107,00	21,00	4,51	4,50	2485	120,20	21,00
18			2000	2637	133,50	23,20	8,40	5,90	2637	145,90	23,20
19			1274	2568	132,80	21,00	7,50	5,30	2651	141,00	21,00
20			2400	2660	133,50	23,20	8,40	5,90	2767	145,00	22,00
21						23,50			3300	142,48	23,50
22			1465	2557	130,00	23,00	7,50	5,71	3348	142,00	100,00
23			1890	4940	160,62	25,70	9,40	6,50	4500	176,00	26,00
24			12	5618	134,00	23,20	7,40	5,40	4650	142,40	23,00
25			1854	4982	160,62	25,70	9,40	6,50	5075	176,10	26,20
26						27,03			5186	192,00	27,03
27			986	5375		29,40			5339	191,80	29,40
28			2500	4820		28,50			5351	175,48	28,50
29			986	5375		29,40			5398	191,80	29,40
30			1488	5155	175,00	27,00	9,80	6,70	6005	187,13	27,00
31			2210	5763	175,00	27,03	10,00	6,85	6148	192,50	27,28

Idle Port (Av. Load)	Idle Port (Max Load)	Port Operating (Av. Load)	Port Operating (Max Load)
120,00	400,00	150,00	200,00
200,00	300,00	300,00	380,00
100,00	180,00		180,00
160,00	380,00	520,00	600,00
30,00	200,00	30,00	200,00
150,00	270,00		
90,00	115,00	240,00	305,00
100,00	300,00	300,00	400,00
500,00	650,00	700,00	1000,00
10,00	100,00	100,00	150,00
400,00	1200,00	1200,00	1600,00
180,00	340,00	560,00	640,00
150,00	260,00	340,00	1180,00
540,00	780,00	650,00	900,00
550,00	860,00	900,00	1500,00
556,00	1142,00		
350,00	420,00	580,00	630,00
1500,00	1900,00		
556,00	1142,00		
1100,00	1700,00	2100,00	3400,00
			900,00
700,00		1000,00	
650,00	800,00	800,00	1200,00
400,00	1200,00	800,00	1200,00
900,00	1500,00	1550,00	1750,00
			900,00
		500,00	800,00
		1600,00	1900,00
		500,00	800,00
900,00	1000,00	1000,00	1200,00
750,00	2000,00	1300,00	

A/A: 1

Πλήθος: 1 - 31

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς επιβατών και οχημάτων (Ro-Pax)

Κατηγοριοποίηση: Deadweight

No.	Ballast	Scrubber	Passengers	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
32			1845	5413	175,00	27,00	9,90	6,84	6174	195,95	27,00
33			780	15218		27,00			6368	192,50	27,00
34			1560	6524		26,13			6524	204,00	26,13
35			1850	6575		26,13			6524	204,00	26,13
36			1821	6361	186,00	25,00	9,10	6,58	6573	199,90	25,00
37			2104	7356	198,87	26,40	14,10		6700	214,00	32,00
38			1898	7356	201,19	26,40	14,10		6700	214,00	32,00
39			1790	5904	175,00	27,00	9,90	6,72	6911	192,00	27,00
40			2500	7086	203,63	26,40	14,20		7237	214,00	26,40
41			938	8605	177,00	26,60	9,60	6,58	7500	198,99	26,60
42			2202	6197	181,00	29,40	9,00	6,70	7622	192,91	29,40
43			938	8605	177,00	26,60	9,60	7,00	8500	198,99	26,60

Idle Port (Av. Load)	Idle Port (Max Load)	Port Operating (Av. Load)	Port Operating (Max Load)
900,00	1500,00	1800,00	2100,00
		550,00	900,00
		1400,00	1500,00
		2031,00	2043,00
722,00	2930,00	790,00	3950,00
1400,00	2200,00	1400,00	3000,00
1450,00	2230,00	1450,00	3000,00
700,00	1300,00	2000,00	2250,00
1500,00	3000,00	1300,00	3200,00
1262,00	1500,00	1262,00	1500,00
800,00		1400,00	
1250,00	1500,00	1250,00	1500,00

A/A: 2

Πλήθος: 32 - 43

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς επιβατών και οχημάτων (Ro-Pax)

Κατηγοριοποίηση: Deadweight

No.	Ballast	Scrubber	Passengers	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1			281	290	88,00	17,10	4,60	2,65	340	100,31	17,10
2			600	440		600,00			679	83,70	13,50
3			600	2857		16,60			918	94,40	16,60
4			725	1351		15,40			457	90,10	15,40
5			763	400	77,35	14,00	4,90	3,90	325	89,76	14,00
6			780	15218		27,00			6368	192,50	27,00
7			800	1475	92,20	17,40	4,40		880	96,30	17,40
8			850	1734	90,00	17,20	4,44	4,36	1734	98,56	16,24
9			938	8605	177,00	26,60	9,60	6,58	7500	198,99	26,60
10			938	8605	177,00	26,60	9,60	7,00	8500	198,99	26,60
11			986	5375		29,40			5339	191,80	29,40
12			986	5375		29,40			5398	191,80	29,40
13			1010	469	79,20	24,00	7,80	3,86	470	92,60	24,01
14			1102	2690	110,00	17,20	6,60	5,15	1713	120,78	20,00
15			1140	1671	105,00	20,02	4,74	4,75	1671	118,65	20,00
16			1225	528	75,00	22,00	6,25	5,05	850	77,85	22,00
17			1274	2568	132,80	21,00	7,50	5,30	2651	141,00	21,00
18			1287	2236	107,00	21,00	4,51	4,50	2485	120,20	21,00
19			1400	999		20,00			1258	121,00	20,00
20			1465	2557	130,00	23,00	7,50	5,71	3348	142,00	100,00
21			1474	1893	117,00	18,90	7,25	5,10	1896	124,00	18,90
22			1474	1893	117,00	18,90	7,30	5,10	1896	124,20	18,90
23			1488	5155	175,00	27,00	9,80	6,70	6005	187,13	27,00
24			1560	6524		26,13			6524	204,00	26,13
25			1782	2472	127,11	21,00	7,50	5,30	1960	141,00	21,00
26			1790	5904	175,00	27,00	9,90	6,72	6911	192,00	27,00
27			1821	6361	186,00	25,00	9,10	6,58	6573	199,90	25,00
28			1845	5413	175,00	27,00	9,90	6,84	6174	195,95	27,00
29			1850	6575		26,13			6524	204,00	26,13
30			1854	4982	160,62	25,70	9,40	6,50	5075	176,10	26,20
31			1890	4940	160,62	25,70	9,40	6,50	4500	176,00	26,00

Idle Port (Av. Load)	Idle Port (Max Load)	Port Operating (Av. Load)	Port Operating (Max Load)
200,00	300,00	300,00	380,00
30,00	200,00	30,00	200,00
100,00	300,00	300,00	400,00
100,00	180,00		180,00
120,00	400,00	150,00	200,00
		550,00	900,00
90,00	115,00	240,00	305,00
150,00	260,00	340,00	1180,00
1262,00	1500,00	1262,00	1500,00
1250,00	1500,00	1250,00	1500,00
		500,00	800,00
		500,00	800,00
160,00	380,00	520,00	600,00
180,00	340,00	560,00	640,00
400,00	1200,00	1200,00	1600,00
150,00	270,00		
556,00	1142,00		
350,00	420,00	580,00	630,00
500,00	650,00	700,00	1000,00
700,00		1000,00	
540,00	780,00	650,00	900,00
550,00	860,00	900,00	1500,00
900,00	1000,00	1000,00	1200,00
		1400,00	1500,00
556,00	1142,00		
700,00	1300,00	2000,00	2250,00
722,00	2930,00	790,00	3950,00
900,00	1500,00	1800,00	2100,00
		2031,00	2043,00
900,00	1500,00	1550,00	1750,00
650,00	800,00	800,00	1200,00

A/A: 3

Πλήθος: 1 - 31

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς επιβατών και οχημάτων (Ro-Pax)

Κατηγοριοποίηση: Passengers

No.	Ballast	Scrubber	Passengers	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
32			1898	7356	201,19	26,40	14,10		6700	214,00	32,00
33			2000	2637	133,50	23,20	8,40	5,90	2637	145,90	23,20
34			2104	7356	198,87	26,40	14,10		6700	214,00	32,00
35			2202	6197	181,00	29,40	9,00	6,70	7622	192,91	29,40
36			2210	5763	175,00	27,03	10,00	6,85	6148	192,50	27,28
37			2400	2660	133,50	23,20	8,40	5,90	2767	145,00	22,00
38			2500	4820		28,50			5351	175,48	28,50
39			2500	7086	203,63	26,40	14,20		7237	214,00	26,40
40			1	1143	61,26	14,00	5,55	4,00	1650	75,46	14,00
41			12	5618	134,00	23,20	7,40	5,40	4650	142,40	23,00
42						23,50			3300	142,48	23,50
43						27,03			5186	192,00	27,03

Idle Port (Av. Load)	Idle Port (Max Load)	Port Operating (Av. Load)	Port Operating (Max Load)
1450,00	2230,00	1450,00	3000,00
1500,00	1900,00		
1400,00	2200,00	1400,00	3000,00
800,00		1400,00	
750,00	2000,00	1300,00	
1100,00	1700,00	2100,00	3400,00
		1600,00	1900,00
1500,00	3000,00	1300,00	3200,00
10,00	100,00	100,00	150,00
400,00	1200,00	800,00	1200,00
			900,00
			900,00

A/A: 4

Πλήθος: 32 - 39

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς επιβατών και οχημάτων (Ro-Pax)

Κατηγοριοποίηση: Passengers

Παράρτημα Δ

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1	Yes							13872	147,79	23,4

Total Load (Port) (Ballasting)	Total Load (Port) (De-Ballasting)
424,08	386,24

A/A: 1

Πλήθος: 1

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container Ship)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1	Yes							49999	230	36,6

Total Load (Disch. Cargo) (Ave.) (Ballast)	Total Load (Disch. Cargo) (Peak) (Ballast)	Total Load (Load Cargo*1) (Ave.) (Ballast)	Total Load (Load Cargo*1) (Peak) (Ballast)	Total Load (Load Cargo*2) (Ave.) (Ballast)	Total Load (Load Cargo*2) (Peak) (Ballast)	Total Load (Disch. Cargo) (Ave.) (De-Ballast)
1518,70	1690,40	817,90	989,60	1479,40	1651,10	1518,70

Total Load (Disch. Cargo) (Peak) (De-Ballast)	Total Load (Load Cargo*1) (Ave.) (De-Ballast)	Total Load (Load Cargo*1) (Peak) (De-Ballast)	Total Load (Load Cargo*2) (Ave.) (De-Ballast)	Total Load (Load Cargo*2) (Peak) (De-Ballast)	Total Load (Port)	
					Port (Ave.)	Port (Peak)
1565,10	817,90	864,30	1479,40	1525,80	255,80	300,00

A/A: 2

Πλήθος: 1

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου αερίου (LPG)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1	Yes		174000							
2	Yes		174000							

Total Load (Loading)	Total Load (Unloading)	Total Load (Idle)
5230,80	7850,20	2192,80
4572,50	2225,20	1243,70

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Idle)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
12880	60,9%	17,0%	9200	85,3%
12880	35,5%	9,7%	9200	49,7%

A/A: 3

Πλήθος: 2

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

No.	Ballast	Scrubber	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1	Yes							17252	179,9	32,2
2	Yes							17311	179,9	32,2

Cargo Handling/ Load-Unload	Total Load (Port)
1412,80	382,90
1412,80	382,90

Cargo Handling (max)				
Install Generator Capacity	Install Generators Load Factor (%) (Cargo)	Install Generators Load Factor (%) (Port)	Available Generator Capacity (Cargo)	Generators Load Factor (%) (Cargo)
2880	49,1%	13,3%	1920	73,6%
2880	49,1%	13,3%	1920	73,6%

A/A: 4

Πλήθος: 2

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς αυτοκινήτων (Car Carrier)

No.	Ballast	Scrubber	Passengers	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1											
2			621	1690	118,06	19,32	7,80	6,40	1690	136,00	19,20

Total Load (Port)		Total Load (Idle)
Summer	Winter	
9359,70	8814,60	
130,00		800,00

A/A: 5

Πλήθος: 2

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς επιβατών (Cruise Ship)

No.	Ballast	Scrubber	Passengers	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1			132	15	30,00	5,80	1,80	1,14	16	34,25	5,80
2			132	16	30,00	5,80	1,80	1,14	16	34,50	5,80
3			132	17	30,00	5,80	1,76	1,12	17	34,50	5,80
4			337	45		11,00			40	40,00	11,00
5			342	64	40,00	11,80	4,77	1,68	40	47,45	11,80
6			339	46	36,00	10,10	3,93	1,68	43	42,00	11,00
7			338	43	36,00	10,10	3,93	1,74	45	40,00	10,10
8			280	50		11,46			51	40,10	11,46
9			301	36		10,60	3,87	3,87	72	42,80	10,60
10			442	87	47,50	13,00	4,76	1,62	100	55,07	12,80
11			815	356	88,00	17,10	4,60	2,75	340	100,31	17,10
12			1070	366		26,00			366	91,30	26,00

Idle Port (Av. Load)	Idle Port (Max Load)	Port Operating (Av. Load)	Port Operating (Max Load)
4,00	8,00	10,00	12,00
4,00	8,00	10,00	12,00
4,00	8,00	10,00	12,00
15,00	50,00	5,00	6,00
45,00	90,00	45,00	90,00
30,00	38,00	55,00	70,00
30,00	38,00	55,00	70,00
15,00	55,00	55,00	80,00
	20,00		45,00
45,00	90,00	45,00	90,00
260,00	490,00	450,00	810,00
80,00	120,00	100,00	200,00

A/A: 6

Πλήθος: 12

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς επιβατών (High Speed Craft)

Κατηγοριοποίηση: Deadweight

No.	Ballast	Scrubber	Passengers	DWT	Lpp	B	D	Draft	DWT (t)	LOA (m)	B (m)
1			132	15	30,00	5,80	1,80	1,14	16	34,25	5,80
2			132	16	30,00	5,80	1,80	1,14	16	34,50	5,80
3			132	17	30,00	5,80	1,76	1,12	17	34,50	5,80
4			280	50		11,46			51	40,10	11,46
5			301	36		10,60	3,87	3,87	72	42,80	10,60
6			337	45		11,00			40	40,00	11,00
7			338	43	36,00	10,10	3,93	1,74	45	40,00	10,10
8			339	46	36,00	10,10	3,93	1,68	43	42,00	11,00
9			342	64	40,00	11,80	4,77	1,68	40	47,45	11,80
10			442	87	47,50	13,00	4,76	1,62	100	55,07	12,80
11			815	356	88,00	17,10	4,60	2,75	340	100,31	17,10
12			1070	366		26,00			366	91,30	26,00

Idle Port (Av. Load)	Idle Port (Max Load)	Port Operating (Av. Load)	Port Operating (Max Load)
4,00	8,00	10,00	12,00
4,00	8,00	10,00	12,00
4,00	8,00	10,00	12,00
15,00	55,00	55,00	80,00
	20,00		45,00
15,00	50,00	5,00	6,00
30,00	38,00	55,00	70,00
30,00	38,00	55,00	70,00
45,00	90,00	45,00	90,00
45,00	90,00	45,00	90,00
260,00	490,00	450,00	810,00
80,00	120,00	100,00	200,00

A/A: 7

Πλήθος: 12

Κατηγορία: Πλοία μεταφοράς επιβατών (High Speed Craft)

Κατηγοριοποίηση: Passengers

Παράρτημα Ε

i/n	Description	No. Of Set (N)	3ph/1ph	Voltage	Rated Power	Efficiency Factor	Load Fac.	Div. Fac.
				V	kW			
Consumers Continuous Load								
1	AUX. Boiler Fan	1	3ph	440	3,7	0,86	0,8	1
2	AUX. Boiler Feed W. Pump	2	3ph	440	8,6	0,88	0,58	1
3	AUX. Boiler Circ. Pump	2	3ph	440	3,45	0,83	0,71	1
4	Ballast Pump	2	3ph	440	63	0,93	0,87	1
5	Compressor for Air Cond.	1	3ph	440	103,5	0,93	0,77	1
6	Fan for Air Cond.	1	3ph	440	25,3	0,89	0,88	1
7	Comp. for Prov. Ref. Plant	2	3ph	440	6,33	0,86	0,71	1
8	Unit Cooler Fan	3	3ph	440	1,5	0,8	0,8	1
9	C.F.W. Boost P/P for A.C./Ref. Plant	2	3ph	440	25,3	0,91	0,83	1
10	Fan for Ecr Air Cond.	1	3ph	440	0,8	0,74	0,8	1
11	Comp. for Ecr Air Cond.	1	3ph	440	4	0,86	0,8	1
12	Comp. for Workshop Air Cond.	1	3ph	440	4	0,86	0,8	1
13	Engine Room Fan	4	3ph	440	21,3	0,89	0,8	1
14	Purifier Room Exh. Fan	1	3ph	440	3,5	0,82	0,8	1
15	Galley Supply Fan	1	3ph	440	0,4	0,68	0,58	1
16	Galley/Pantry Exhaust Fan	1	3ph	440	0,6	0,68	0,39	1
17	Sanitary Space Exh. Fan	2	3ph	440	0,6	0,68	0,76	1
18	Fan Control Room Fan	1	3ph	440	0,4	0,68	0,8	1
19	Co2 Room Fan	1	3ph	440	0,8	0,68	0,8	1
20	Paint Room Fan	1	3ph	440	0,4	0,68	0,8	1
21	Hyd P/Pack Rm for RORO Equipment	1	3ph	440	1,5	0,8	0,8	1
22	Hyd P/Pack for V/V Remote Control	2	3ph	440	1,75	0,8	0,8	1
23	Car Deck Hold Vent. Fan	7	3ph	440	30	0,9	0,66	1
24	Car Deck Hold Vent. Fan	13	3ph	440	22	0,89	0,63	1
25	Car Deck Hold Vent. Fan	11	3ph	440	18,5	0,89	0,63	1
26	ICCP System	1	3ph	440	-	1	0,8	1
27	Space Heater & Others	1	3ph	440	-	1	0,8	1
28	Machinery Space Lighting	1	1ph	220	-	1	1	1

fs At Cargo Operating	fs At Harbor	Power Factor	N' At Cargo Operating	N' At Harbor	Power Absorbed	Power Instoled	Power Operating At Cargo Operating
					kW	kW	kW
0,8	0,8	0,86	1	1	4,3	4,3	3,4
0,58	0,58	0,88	1	1	9,8	19,5	5,7
0,71	0,71	0,83	1	1	4,2	8,3	3,0
0,87	-	0,93	2	0	67,7	135,5	117,9
0,77	0,77	0,93	1	1	111,3	111,3	85,7
0,88	0,88	0,89	1	1	28,4	28,4	25,0
0,71	0,71	0,86	1	1	7,4	14,7	5,2
0,8	0,8	0,8	3	3	1,9	5,6	4,5
0,83	0,83	0,91	1	1	27,8	55,6	23,1
0,8	0,8	0,74	1	1	1,1	1,1	0,9
0,8	0,8	0,86	1	1	4,7	4,7	3,7
0,8	0,8	0,86	1	1	4,7	4,7	3,7
0,8	0,8	0,89	2	2	23,9	95,7	38,3
0,8	0,8	0,82	1	1	4,3	4,3	3,4
0,58	0,58	0,68	1	1	0,6	0,6	0,3
0,39	0,39	0,68	1	1	0,9	0,9	0,3
0,76	0,76	0,68	2	2	0,9	1,8	1,3
0,8	0,8	0,68	1	1	0,6	0,6	0,5
0,8	0,8	0,68	1	1	1,2	1,2	0,9
0,8	0,8	0,68	1	1	0,6	0,6	0,5
0,8	0,8	0,8	1	1	1,9	1,9	1,5
0,8	0,8	0,8	1	1	2,2	4,4	1,8
0,66	0,66	0,9	7	7	33,3	233,3	154,0
0,63	0,63	0,89	13	13	24,7	321,3	202,4
0,63	0,63	0,89	11	11	20,8	228,7	144,1
0,8	0,8	1	1	1	10,0	10,0	8,0
0,8	0,8	1	1	1	5,0	5,0	4,0
1	1	1	1	1	20,0	20,0	20,0

Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating At Harbor	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Line Current I _γ	N*I _γ	Increment Current I
	kVAR	kW		kVAR	A	A	A
0,82	2,39	3,4	0,82	2,39	6,56	6,56	8,21
0,77	4,75	5,7	0,77	4,75	14,57	29,14	18,22
0,80	2,18	3,0	0,80	2,18	6,57	13,14	8,21
0,83	78,72				95,58	191,16	119,47
0,82	60,61	85,7	0,82	60,61	157,02	157,02	196,28
0,83	16,63	25,0	0,83	16,63	41,91	41,91	52,39
0,80	3,86	5,2	0,80	3,86	11,23	22,46	14,04
0,82	3,12	4,5	0,82	3,12	3,08	9,23	3,84
0,83	15,74	23,1	0,83	15,74	40,09	80,18	50,11
0,82	0,60	0,9	0,82	0,60	1,92	1,92	2,40
0,82	2,58	3,7	0,82	2,58	7,10	7,10	8,87
0,82	2,58	3,7	0,82	2,58	7,10	7,10	8,87
0,82	26,57	38,3	0,82	26,57	35,28	141,14	44,11
0,82	2,37	3,4	0,82	2,37	6,83	6,83	8,54
0,77	0,29	0,3	0,77	0,29	1,14	1,14	1,42
0,66	0,39	0,3	0,66	0,39	1,70	1,70	2,13
0,81	0,96	1,3	0,81	0,96	1,70	3,41	2,13
0,82	0,33	0,5	0,82	0,33	1,14	1,14	1,42
0,82	0,65	0,9	0,82	0,65	2,27	2,27	2,84
0,82	0,33	0,5	0,82	0,33	1,14	1,14	1,42
0,82	1,04	1,5	0,82	1,04	3,08	3,08	3,84
0,82	1,21	1,8	0,82	1,21	3,59	7,18	4,48
0,79	118,83	154,0	0,79	118,83	48,60	340,19	60,75
0,78	160,82	202,4	0,78	160,82	36,44	473,78	45,56
0,78	114,43	144,1	0,78	114,43	30,65	337,11	38,31
0,82	5,55	8,0	0,82	5,55	13,12	13,12	13,12
0,82	2,78	4,0	0,82	2,78	6,56	6,56	6,56
0,84	12,69	20,0	0,84	12,69	90,91	90,91	90,91

A/A: 1

Πλήθος Καταναλωτών: 1 – 28

Υπολογισμός: Ισχύος

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς αυτοκινήτων (Car Carrier)

i/n	Description	No. Of Set (N)	3ph/1ph	Voltage	Rated Power	Efficiency Factor	Load Fac.	Div. Fac.
29	Accommodation Lighting	1	1ph	220	-	1	1	0,6
30	Deck Lighting	1	1ph	220	-	1	1	1
31	Cargo Hold Lighting	1	1ph	220	-	1	1	0,8
						1	1	0,15
32	Control Air Dryer	1	3ph	440	0,4	0,68	0,8	1
33	Hot Water Circ. Pump	1	3ph	440	0,4	0,68	0,8	1
34	M.G.P.S	1	3ph	440	-	1	1	1
35	Sewage Treatment Plant	1	3ph	440	3,3	0,82	0,8	1
36	Compressor for Low Co2 System	2	3ph	440	5,5	0,86	0,8	1
37	Reefer Container (FEU)	20	3ph	440	-	1	1	1
	Consumers Intermittent Load							
38	Working Air Compressor	1	3ph	440	22	0,89	0,8	1
39	Sludge Pump	1	3ph	440	1,73	0,78	0,8	1
40	Oily Bilge Pump	1	3ph	440	1,7	0,8	0,8	1
41	F.W. Hydrophone Pump	2	3ph	440	4,6	0,85	0,7	1
42	D.W. Hydrophone Pump	2	3ph	440	4,6	0,85	0,65	1
43	Bilge, Fire & G/S Pump	2	3ph	440	63	0,93	0,92	1
						0,93	0,3	1
44	Boost Pump for W/H Window	1	3ph	440	0,4	0,68	0,8	1
46	Galley & Laundry Equipment	1	3ph	440	-	1	0,8	1
	Consumers Deck Machinery Load							
47	Motor for Hyd Unit of Ro-Ro Equipment	2	3ph	440	58,7	0,91	0,8	1

fs At Cargo Operating	fs At Harbor	Power Factor	N' At Cargo Operating	N' At Harbor	Power Absorbed	Power Instoled	Power Operating At Cargo Operating
0,6	0,6	1	1	1	20,0	20,0	12,0
1	-	1	1	0	15,0	15,0	15,0
-	0,6	1	0	1			
0,8	-	1	1	0	150,0	150,0	120,0
-	0,15	1	0	1			
0,8	0,8	0,68	1	1	0,6	0,6	0,5
0,8	0,8	0,68	1	1	0,6	0,6	0,5
1	1	1	1	1	0,4	0,4	0,4
0,8	0,8	0,82	1	1	4,0	4,0	3,2
0,8	0,8	0,86	1	1	6,4	12,8	5,1
1	1	1	20	20	6,0	120,0	120,0
0,8	0,8	0,89	1	1	24,7	24,7	19,8
0,8	0,8	0,78	1	1	2,2	2,2	1,8
0,8	0,8	0,8	1	1	2,2	2,2	1,8
0,7	0,7	0,85	1	1	5,4	10,8	3,8
0,65	0,65	0,85	1	1	5,4	10,8	3,5
0,92	-	0,93	1	0	67,7	135,5	62,3
-	0,3	0,93	0	1			
0,8	0,8	0,68	1	1	0,6	0,6	0,5
0,8	0,8	1	1	1	102,0	102,0	81,6
0,8	-	0,91	2	0	64,5	129,0	103,2

Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating At Harbor	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Line Current I _l	N*I _l	Increment Current I
0,77	9,84	12,0	0,77	9,84	90,91	90,91	90,91
0,84	9,51				68,18	68,18	68,18
0,82	83,27	9,0	0,77	7,38	681,82	681,82	681,82
		22,5	0,37	56,25			
0,82	0,33	0,5	0,82	0,33	1,14	1,14	1,42
0,82	0,33	0,5	0,82	0,33	1,14	1,14	1,42
0,84	0,25	0,4	0,84	0,25	0,52	0,52	0,52
0,82	2,23	3,2	0,82	2,23	6,44	6,44	8,05
0,82	3,55	5,1	0,82	3,55	9,76	19,52	12,20
0,84	76,12	120,0	0,84	76,12	7,87	157,46	7,87
0,82	13,72	19,8	0,82	13,72	36,44	36,44	45,56
0,82	1,23	1,8	0,82	1,23	3,73	3,73	4,66
0,82	1,22	1,8	0,82	1,22	3,61	3,61	4,51
0,80	2,82	3,8	0,80	2,82	8,34	16,67	10,42
0,79	2,74	3,5	0,79	2,74	8,35	16,71	10,44
0,84	40,70				95,58	191,16	119,47
		20,3	0,58	28,30			
0,82	0,33	0,5	0,82	0,33	1,14	1,14	1,42
0,82	56,62	81,6	0,82	56,62	133,84	133,84	133,84
0,82	71,61				93,01	186,03	116,27

A/A: 2

Πλήθος Καταναλωτών: 29 – 47

Υπολογισμός: Ισχύος

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς αυτοκινήτων (Car Carrier)

Total Power At Cargo Operating	Total Power At Harbor	Bus Bar (Vessel - Port)			Standard Cable Current	Thermal Tripping	Cross Section Area
kW	kW	A	A	mm ²	A	A	mm ²
			Standardization				
1418,00	1051,42	4466,30	-	-	-	-	-
		2670,63	3150	2400	320,00	315	9x1x120 (3/ phase)
		The current of the bar was calculated in two ways.					

Short Circuit Calculation		
Z	Ω	0,11
X''		0,02
R		0,000011
Current Before Short Circuit		1744,35
Angle phazor		-0,64
Real Part		1395,48
Imaginary Part		-1046,61
Complex Number		1395,483-1046,612i
Resistance in Complex Form		0,00001+0,016383i
E.M.F.		271,194717669435+22,851731869i
Current After Short Circuit	A	1404,94766016206-16552,5647435044i
Impulse Current	kA	46,99
Circuit Breaker	kA	50

Cost Calculation				
Circuit Breaker	50			600,00 €
Bus Bar	-	-	-	
	Cross Section	Quantity	Length	Cost
Cable	120	9	-	399,00 €
Thermal Tripping	315	1	-	200,00 €
			Total	1.199,00 €

A/A: 3

Υπολογισμός: Διαστασιολόγησης και κοστολόγησης

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς αυτοκινήτων (Car Carrier)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΕΡΓΟ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ CAR-CARRIER


ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΣΤΑΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ Φ.


ΑΡ.ΜΗΤΡΩΟΥ : 08118701

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 17/12/2021

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΡΟΥΣΑΛΙΔΗΣ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

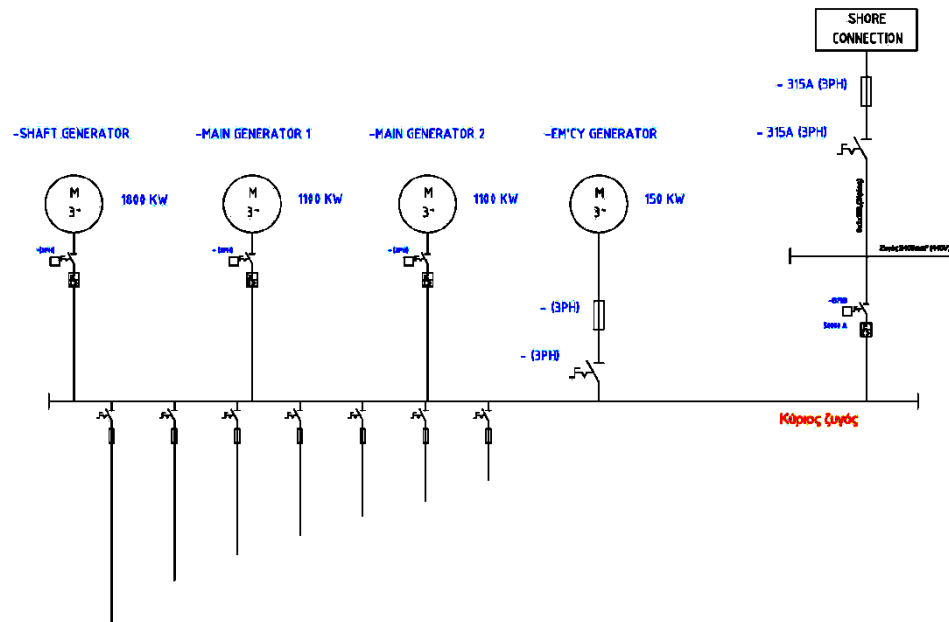
 Αυτόματος διακόπτης ισχύος (προστασία από υπερφόρτιση) (προστασία από υπέρταση)

 Αυτόματος διακόπτης και ασφαλεία (1-3PH ή 3-3PH στοιχεία)

-NAME
kilowatts

 Τριφασική γεννήτρια

 Διασύνδεση πλοίου - ξηράς



A/A: 4

Διάγραμμα: Πίνακα διασύνδεσης πλοίου-ξηράς

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς αυτοκινήτων (Car Carrier)

i/n	Description	No. Of Set (N)	3ph/1ph	Voltage	Rated Power	Efficiency Factor	Load Fac.	Div. Fac.
				V	kW			
Consumers Continuous Load								
1	Boiler Feed Water Pump	2	3ph	440	18,5	0,9	0,66	1
2	Boiler Unit	2	3ph	440	75	0,93	0,8	1
3	Ballast Pump	3	3ph	440	400	0,95	0,87	1
4	Ballast Water Treatment System (HI-Ballast)	1	3ph	440	-	1	1	1
						1	0,05	1
5	Hot Water Circ. Pump	2	3ph	440	0,75	0,72	0,3	1
6	No1. Engine Room Ventilation Fan	2	3ph	440	55	0,93	0,8	1
7	No2. Engine Room Ventilation Fan	2	3ph	440	30	0,92	0,8	1
8	Purifier Room Exhaust Fan	2	3ph	440	5,5	0,87	0,8	1
9	E/R Toilet Exhaust Fan	1	3ph	440	0,4	0,8	0,8	1
10	Welding Area Exhaust Fan	1	3ph	440	0,75	0,81	0,8	1
11	Main Air Can. Compressor	2	3ph	440	342	0,94	0,88	1
12	Main AHU Fan	2	3ph	440	75	0,93	0,62	1
13	Fan Coil Unit For Galley	1	3ph	440	1,5	0,82	0,8	1
14	Packaged Unit Cooler For W/H	1	3ph	440	16	0,9	0,8	1
15	Packaged Unit Cooler For E.C.R	2	3ph	440	7,09	0,87	0,8	1
16	Packaged Unit Cooler For Main SWBD Room	4	3ph	440	21,3	0,91	0,8	1
17	Packaged Unit Cooler For Cargo SWBD Room	2	3ph	440	21,46	0,91	0,8	1
18	Packaged Unit Cooler For Electric Equipment Room	1	3ph	440	16	0,9	0,8	1
19	Galley/Pantry Exhaust Fan	1	3ph	440	2,53	0,84	0,5	1
20	Galley Supply Fan	1	3ph	440	1,27	0,81	0,2	1
21	Sanitary Space Exhaust Fan	1	3ph	440	4,6	0,86	0,57	1
22	Battery Room Exhaust Fan	2	3ph	440	0,37	0,79	0,8	1
23	Officer's Recreation / Library Exhaust Fan	1	3ph	440	0,15	0,79	0,8	0,3
24	Crew's Recreation / Library Exhaust Fan	1	3ph	440	0,15	0,79	0,8	0,3
25	Hospital Exhaust Fan	1	3ph	440	0,13	0,79	0,8	0,3
26	Elevator Trunk Exhaust Fan	1	3ph	440	0,43	0,8	0,5	1
27	Store Amd Miscellaneous Locker Exhaust Fan	1	3ph	440	2,53	0,84	0,8	1
28	Bosun Store Supply Fan	1	3ph	440	5,5	0,87	0,8	1

fs Port Discharging	fs Port Loading	fs Idle	Power Factor	N' Port Discharging	N' Port Loading	N' Idle	Power Absorbed	Power Instoled	Power Operating Port Discharging
							kW	kW	kW
0,66	0,66	0,66	0,9	1	1	1	20,6	41,1	13,6
0,8	0,8	0,8	0,93	1	1	1	80,6	161,3	64,5
0,87	0,87	-	0,95	2	2	0	421,1	1263,2	732,6
1	-	-	1	1	0	0	353,8	353,8	353,8
-	0,05	-	1	0	1	0			
0,3	0,3	0,3	0,72	1	1	1	1,0	2,1	0,3
0,8	0,8	0,8	0,93	1	1	1	59,1	118,3	47,3
0,8	0,8	0,8	0,92	1	1	1	32,6	65,2	26,1
0,8	0,8	-	0,87	2	2	0	6,3	12,6	10,1
0,8	0,8	0,8	0,8	1	1	1	0,5	0,5	0,4
0,8	0,8	0,8	0,81	1	1	1	0,9	0,9	0,7
0,88	0,88	0,88	0,94	1	1	1	363,8	727,7	320,2
0,62	0,62	0,62	0,93	1	1	1	80,6	161,3	50,0
0,8	0,8	0,8	0,82	1	1	1	1,8	1,8	1,5
0,8	0,8	0,8	0,9	1	1	1	17,8	17,8	14,2
0,8	0,8	0,8	0,87	2	2	2	8,1	16,3	13,0
0,8	0,8	0,8	0,91	2	2	2	23,4	93,6	37,5
0,8	0,8	0,8	0,91	2	2	2	23,6	47,2	37,7
0,8	0,8	0,8	0,9	1	1	1	17,8	17,8	14,2
0,5	0,5	0,5	0,84	1	1	1	3,0	3,0	1,5
0,2	0,2	0,2	0,81	1	1	1	1,6	1,6	0,3
0,57	0,57	0,57	0,86	1	1	1	5,3	5,3	3,0
0,8	0,8	0,8	0,79	2	2	2	0,5	0,9	0,7
0,24	0,24	0,24	0,79	1	1	1	0,2	0,2	0,0
0,24	0,24	0,24	0,79	1	1	1	0,2	0,2	0,0
0,24	0,24	0,24	0,79	1	1	1	0,2	0,2	0,0
0,5	0,5	0,5	0,8	1	1	1	0,5	0,5	0,3
0,8	0,8	0,8	0,84	1	1	1	3,0	3,0	2,4
0,8	0,8	0,8	0,87	1	1	1	6,3	6,3	5,1

Efficiency Factor pf	Reactive Power Q kVAR	Power Operating Port Loading kW	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q kVAR	Power Operating Idle kW	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q kVAR	Line Current I _l A	N*I _l A	Increment Current I A
0,79	10,47	13,6	0,79	10,47	13,6	0,79	10,47	29,97	59,94	37,46
0,82	44,77	64,5	0,82	44,77	64,5	0,82	44,77	113,78	227,57	142,23
0,83	489,30	732,6	0,83	489,30				581,57	1744,70	726,96
0,84	224,41							464,24	464,24	464,24
		17,7	0,15	118,59						
0,58	0,44	0,3	0,58	0,44	0,3	0,58	0,44	1,90	3,80	2,37
0,82	32,83	47,3	0,82	32,83	47,3	0,82	32,83	83,44	166,88	104,30
0,82	18,10	26,1	0,82	18,10	26,1	0,82	18,10	46,51	93,02	58,14
0,82	7,02	10,1	0,82	7,02				9,53	19,07	11,92
0,82	0,28	0,4	0,82	0,28	0,4	0,82	0,28	0,82	0,82	1,03
0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	1,50	1,50	1,87
0,83	212,81	320,2	0,83	212,81	320,2	0,83	212,81	507,88	1015,75	634,84
0,78	40,13	50,0	0,78	40,13	50,0	0,78	40,13	113,78	227,57	142,23
0,82	1,02	1,5	0,82	1,02	1,5	0,82	1,02	2,93	2,93	3,66
0,82	9,87	14,2	0,82	9,87	14,2	0,82	9,87	25,92	25,92	32,40
0,82	9,05	13,0	0,82	9,05	13,0	0,82	9,05	12,29	24,58	15,36
0,82	25,99	37,5	0,82	25,99	37,5	0,82	25,99	33,75	135,00	42,19
0,82	26,18	37,7	0,82	26,18	37,7	0,82	26,18	34,00	68,01	42,51
0,82	9,87	14,2	0,82	9,87	14,2	0,82	9,87	25,92	25,92	32,40
0,73	1,40	1,5	0,73	1,40	1,5	0,73	1,40	4,70	4,70	5,88
0,46	0,61	0,3	0,46	0,61	0,3	0,46	0,61	2,54	2,54	3,17
0,76	2,59	3,0	0,76	2,59	3,0	0,76	2,59	8,16	8,16	10,20
0,82	0,52	0,7	0,82	0,52	0,7	0,82	0,52	0,78	1,56	0,97
0,51	0,08	0,0	0,51	0,08	0,0	0,51	0,08	0,32	0,32	0,39
0,51	0,08	0,0	0,51	0,08	0,0	0,51	0,08	0,32	0,32	0,39
0,51	0,07	0,0	0,51	0,07	0,0	0,51	0,07	0,27	0,27	0,34
0,73	0,25	0,3	0,73	0,25	0,3	0,73	0,25	0,88	0,88	1,10
0,82	1,67	2,4	0,82	1,67	2,4	0,82	1,67	4,70	4,70	5,88
0,82	3,51	5,1	0,82	3,51	5,1	0,82	3,51	9,53	9,53	11,92

A/A: 1

Πλήθος Καταναλωτών: 1 – 28

Υπολογισμός: Ισχύος

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

i/n	Description	No. Of Set (N)	3ph/1ph	Voltage	Rated Power	Efficiency Factor	Load Fac.	Div. Fac.
29	Pipe Duct In Double Bottom Exhaust Fan	1	3ph	440	11	0,9	0,8	1
30	Paint Store Exhaust Fan	1	3ph	440	0,75	0,81	0,8	1
31	Chemical Store Exhaust Fan	1	3ph	440	0,75	0,81	0,8	1
32	Side Passage Way Exhaust Fan	2	3ph	440	22	0,91	0,8	1
33	FWD Pump Room Supply Fan	1	3ph	440	5,5	0,87	0,8	1
34	Co2 Room Exhaust Fan	1	3ph	440	0,75	0,81	0,8	1
35	Foam Room Exhaust Fan	1	3ph	440	0,75	0,81	0,8	1
36	HPU Room Exhaust Fan	1	3ph	440	0,75	0,81	0,8	1
37	BWTS Room Exhaust Fan	1	3ph	440	2,2	0,84	0,8	1
38	Sterilizer / Mineralizer	1	3ph	440	-	1	1	1
39	I.C.C.P System (AFT)	1	3ph	440	22	0,99	0,5	1
40	I.C.C.P System (FWD)	1	3ph	440	8	0,99	0,5	1
41	Accomodation Lighting	1	1ph	220	-	1	1	0,8
42	E/R Lighting	1	1ph	220	-	1	1	1
43	Deck Flood Lighting	1	1ph	220	-	1	1	0,8
						1	1	0,5
44	UPS For General Use	1	3ph	440	-	1	1	0,5
45	Control And Instrument	1	3ph	440	-	1	1	1
46	Radio And Navigation Equipment	1	3ph	440	-	1	1	0,4
47	UPS For IAS	2	3ph	440	-	1	1	0,5
48	Battery Charger	1	3ph	440	-	1	1	0,5
49	F.W. Booster Pump	2	3ph	440	11	0,88	0,58	1
50	Cooling F.W. Transfer Pump For Accom.	1	3ph	440	1,5	0,78	0,65	1
	Consumers Intermittent Load							
51	Service Air Compressor	2	3ph	440	42	0,92	0,8	1
52	Control Air Compressor	2	3ph	440	42	0,92	0,8	1
53	Fire Line Pressurizing Pump	1	3ph	440	7,5	0,88	0,58	1
54	Oily Bilge Pump	1	3ph	440	3,7	0,84	0,37	1
55	E/R Bilge Pump	1	3ph	440	1,5	0,8	0,45	1
56	Sludge Pump	1	3ph	440	3,5	0,8	0,53	1
57	Gray Water Discharge Pump	1	3ph	440	2,2	0,83	0,61	1

fs Port Discharging	fs Port Loading	fs Idle	Power Factor	N' Port Discharging	N' Port Loading	N' Idle	Power Absorbed	Power Instoled	Power Operating Port Discharging
0,8	0,8	0,8	0,9	1	1	1	12,2	12,2	9,8
0,8	0,8	0,8	0,81	1	1	1	0,9	0,9	0,7
0,8	0,8	0,8	0,81	1	1	1	0,9	0,9	0,7
0,8	0,8	0,8	0,91	2	2	2	24,2	48,4	38,7
0,8	0,8	0,8	0,87	1	1	1	6,3	6,3	5,1
0,8	0,8	0,8	0,81	1	1	1	0,9	0,9	0,7
0,8	0,8	0,8	0,81	1	1	1	0,9	0,9	0,7
0,8	0,8	0,8	0,81	1	1	1	0,9	0,9	0,7
0,8	0,8	0,8	0,84	1	1	1	2,6	2,6	2,1
1	1	1	1	1	1	1	0,2	0,2	0,2
0,5	0,5	0,5	0,99	1	1	1	22,2	22,2	11,1
0,5	0,5	0,5	0,99	1	1	1	8,1	8,1	4,0
0,8	0,8	0,8	1	1	1	1	80,0	80,0	64,0
1	1	1	1	1	1	1	60,0	60,0	60,0
0,8	0,8	-	1	1	1	0	25,0	25,0	20,0
-	-	0,5	1	0	0	1			
0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	30,0	30,0	15,0
1	1	1	1	1	1	1	10,0	10,0	10,0
0,4	0,4	0,4	1	1	1	1	20,0	20,0	8,0
0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	25,0	50,0	12,5
0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	7,0	7,0	3,5
0,58	0,58	0,58	0,88	1	1	1	12,5	25,0	7,3
0,65	0,65	0,65	0,78	1	1	1	1,9	1,9	1,3
0,8	0,8	0,8	0,92	1	1	1	45,7	91,3	36,5
0,8	0,8	0,8	0,92	1	1	1	45,7	91,3	36,5
0,58	0,58	0,58	0,88	1	1	1	8,5	8,5	4,9
0,37	0,37	0,37	0,84	1	1	1	4,4	4,4	1,6
0,45	0,45	0,45	0,8	1	1	1	1,9	1,9	0,8
0,53	0,53	0,53	0,8	1	1	1	4,4	4,4	2,3
0,61	0,61	0,61	0,83	1	1	1	2,7	2,7	1,6

Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating Port Loading	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating Idle	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Line Current I _l	N*I _l	Increment Current I
0,82	6,78	9,8	0,82	6,78	9,8	0,82	6,78	17,82	17,82	22,27
0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	1,50	1,50	1,87
0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	1,50	1,50	1,87
0,82	26,84	38,7	0,82	26,84	38,7	0,82	26,84	34,86	69,72	43,57
0,82	3,51	5,1	0,82	3,51	5,1	0,82	3,51	9,53	9,53	11,92
0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	1,50	1,50	1,87
0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	1,50	1,50	1,87
0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	0,7	0,82	0,51	1,50	1,50	1,87
0,82	1,45	2,1	0,82	1,45	2,1	0,82	1,45	4,09	4,09	5,11
0,84	0,13	0,2	0,84	0,13	0,2	0,84	0,13	0,26	0,26	0,26
0,73	10,35	11,1	0,73	10,35	11,1	0,73	10,35	29,45	29,45	36,82
0,73	3,76	4,0	0,73	3,76	4,0	0,73	3,76	10,71	10,71	13,39
0,82	44,41	64,0	0,82	44,41	64,0	0,82	44,41	363,64	363,64	363,64
0,84	38,06	60,0	0,84	38,06	60,0	0,84	38,06	272,73	272,73	272,73
0,82	13,88	20,0	0,82	13,88				113,64	113,64	113,64
					12,5	0,73	11,65			
0,73	13,97	15,0	0,73	13,97	15,0	0,73	13,97	39,36	39,36	39,36
0,84	6,34	10,0	0,84	6,34	10,0	0,84	6,34	13,12	13,12	13,12
0,67	8,83	8,0	0,67	8,83	8,0	0,67	8,83	26,24	26,24	26,24
0,73	11,65	12,5	0,73	11,65	12,5	0,73	11,65	32,80	65,61	32,80
0,73	3,26	3,5	0,73	3,26	3,5	0,73	3,26	9,19	9,19	9,19
0,77	6,08	7,3	0,77	6,08	7,3	0,77	6,08	18,64	37,28	23,30
0,79	0,97	1,3	0,79	0,97	1,3	0,79	0,97	3,24	3,24	4,04
0,82	25,34	36,5	0,82	25,34	36,5	0,82	25,34	65,11	130,22	81,39
0,82	25,34	36,5	0,82	25,34	36,5	0,82	25,34	65,11	130,22	81,39
0,77	4,15	4,9	0,77	4,15	4,9	0,77	4,15	12,71	12,71	15,89
0,65	1,91	1,6	0,65	1,91	1,6	0,65	1,91	6,88	6,88	8,60
0,70	0,85	0,8	0,70	0,85	0,8	0,70	0,85	3,08	3,08	3,84
0,75	2,07	2,3	0,75	2,07	2,3	0,75	2,07	7,18	7,18	8,97
0,78	1,31	1,6	0,78	1,31	1,6	0,78	1,31	4,19	4,19	5,24

A/A: 2

Πλήθος Καταναλωτών: 29 – 57

Υπολογισμός: Ισχύος

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

i/n	Description	No. Of Set (N)	3ph/1ph	Voltage	Rated Power	Efficiency Factor	Load Fac.	Div. Fac.
58	Calorifier	1	3ph	440	-	1	1	0,5
59	Discharge Pump And Blower For Sewage Treatment Plant	2	3ph	440	6,5	0,87	0,8	1
60	Packaged Unit Cooler For Electric Equipment Room	1	3ph	440	4,65	0,86	0,8	1
61	Packaged Unit Cooler For E/R Workshop	1	3ph	440	14,5	0,9	0,8	1
62	Elevator	1	3ph	440	7,5	0,88	0,8	1
63	Galley & Laundry Equip. & Etc.	1	3ph	440	-	1	0,8	0,5
64	Provision Ref. Compressor	2	3ph	440	12,7	0,9	0,8	1
65	Workshop Machineries	1	3ph	440	15	0,9	0,8	1
66	F.W. Hydrophone Pump	2	3ph	440	5,5	0,87	0,52	1
67	D.W. Hydrophone Pump	2	3ph	440	5,5	0,87	0,47	1
Consumers Cargo Part Load								
68	Main Cargo Pump	8	3ph	440	593,1	0,92	0,87	1
69	Spray Pump	4	3ph	440	29,8	0,88	0,84	1
70	High Duty Compressor	2	3ph	440	1160	0,93	0,91	1
71	Low Duty Compressor	2	3ph	440	1190	0,93	0,5	1
72	H/D Compressor AUX. L.O. Pump	2	3ph	440	2,6	0,84	0,8	1
73	L/D Compressor AUX. L.O. Pump	2	3ph	440	10	0,88	0,8	1
74	Glycol Water Circulating Pump	2	3ph	440	3,7	0,85	0,8	1
75	Electric Glycol Heater For Cofferdam Heating System	1	3ph	440	-	1	1	1
76	Hyd. Pump For Cargo Valve Control	2	3ph	440	8,6	0,88	0,8	0,5
77	Topp-Up Hyd. Pump For Cargo Valve Control	1	3ph	440	4,6	0,86	0,8	0,5
78	Hyd. Pump For Ballast Valve Control	1	3ph	440	8,6	0,88	0,8	0,5
79	Topp-Up Hyd. Pump For Ballast Valve Control	2	3ph	440	4,6	0,86	0,8	0,5
80	AUX. C.S.W. Pump	2	3ph	440	65	0,94	0,84	1
81	AUX. C.F.W. Pump	2	3ph	440	110	0,95	0,72	1
82	Cargo Compressor Room Exhaust Fan	2	3ph	440	45	0,92	0,8	1
83	Motor Room Supply Fan	2	3ph	440	11	0,9	0,8	1
84	HD Comp. Oil Heater	1	3ph	440	-	1	1	1
85	LD Comp. Oil Heater	1	3ph	440	-	1	1	1

fs Port Discharging	fs Port Loading	fs Idle	Power Factor	N' Port Discharging	N' Port Loading	N' Idle	Power Absorbed	Power Instoled	Power Operating Port Discharging
0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	15,0	15,0	7,5
0,8	0,8	0,8	0,87	1	1	1	7,5	14,9	6,0
0,8	0,8	0,8	0,86	1	1	1	5,4	5,4	4,3
0,8	0,8	0,8	0,9	1	1	1	16,1	16,1	12,9
0,8	0,8	0,8	0,88	1	1	1	8,5	8,5	6,8
0,4	0,4	0,4	1	1	1	1	144,0	144,0	57,6
0,8	0,8	0,8	0,9	1	1	1	14,1	28,2	11,3
0,8	0,8	0,8	0,9	1	1	1	16,7	16,7	13,3
0,52	0,52	0,52	0,87	1	1	1	6,3	12,6	3,3
0,47	0,47	0,47	0,87	1	1	1	6,3	12,6	3,0
0,87	-	-	0,92	8	0	0	644,7	5157,4	4486,9
0,84	-	-	0,88	1	0	0	33,9	135,5	28,4
-	0,91	-	0,93	0	2	0	1247,3	2494,6	
0,5	0,5	0,5	0,93	1	1	1	1279,6	2559,1	639,8
-	0,8	-	0,84	0	2	0	3,1	6,2	
0,8	0,8	0,8	0,88	1	1	1	11,4	22,7	9,1
0,8	0,8	0,8	0,85	1	1	1	4,4	8,7	3,5
-	1	-	1	0	1	0	88,0	88,0	
0,4	0,4	-	0,88	1	1	0	9,8	19,5	3,9
-	-	0,4	0,86	0	0	1	5,3	5,3	
0,4	0,4	-	0,88	1	1	0	9,8	9,8	3,9
-	-	0,4	0,86	0	0	1	5,3	10,7	
0,84	0,84	0,84	0,94	1	1	1	69,1	138,3	58,1
0,72	0,72	0,72	0,95	1	1	1	115,8	231,6	83,4
0,8	0,8	0,8	0,92	1	1	1	48,9	97,8	39,1
0,8	0,8	0,8	0,9	1	1	1	12,2	24,4	9,8
-	1	-	1	0	1	0	3,0	3,0	
1	1	1	1	1	1	1	6,0	6,0	6,0

Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating Port Loading	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating Idle	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Line Current I _l	N*I _l	Increment Current I
0,73	6,99	7,5	0,73	6,99	7,5	0,73	6,99	19,68	19,68	19,68
0,82	4,15	6,0	0,82	4,15	6,0	0,82	4,15	11,27	22,54	14,09
0,82	3,00	4,3	0,82	3,00	4,3	0,82	3,00	8,25	8,25	10,31
0,82	8,94	12,9	0,82	8,94	12,9	0,82	8,94	23,49	23,49	29,36
0,82	4,73	6,8	0,82	4,73	6,8	0,82	4,73	12,71	12,71	15,89
0,67	63,61	57,6	0,67	63,61	57,6	0,67	63,61	188,95	188,95	188,95
0,82	7,83	11,3	0,82	7,83	11,3	0,82	7,83	20,57	41,15	25,72
0,82	9,25	13,3	0,82	9,25	13,3	0,82	9,25	24,30	24,30	30,37
0,74	2,98	3,3	0,74	2,98	3,3	0,74	2,98	9,53	19,07	11,92
0,72	2,90	3,0	0,72	2,90	3,0	0,72	2,90	9,53	19,07	11,92
0,83	2996,69							919,47	7355,78	1149,34
0,83	19,29							50,49	201,97	63,12
		2270,1	0,84	1488,68				1759,86	3519,73	2199,83
0,73	596,03	639,8	0,73	596,03	639,8	0,73	596,03	1805,38	3610,75	2256,72
		5,0	0,82	3,44				4,84	9,67	6,04
0,82	6,31	9,1	0,82	6,31	9,1	0,82	6,31	16,94	33,89	21,18
0,82	2,42	3,5	0,82	2,42	3,5	0,82	2,42	6,72	13,44	8,40
		88,0	0,84	55,82				115,47	115,47	115,47
0,67	4,32	3,9	0,67	4,32				14,57	29,14	18,22
					2,1	0,67	2,36	8,16	8,16	10,20
0,67	4,32	3,9	0,67	4,32				14,57	14,57	18,22
					2,1	0,67	2,36	8,16	16,32	10,20
0,83	39,39	58,1	0,83	39,39	58,1	0,83	39,39	96,53	193,05	120,66
0,81	61,13	83,4	0,81	61,13	83,4	0,81	61,13	159,93	319,86	199,91
0,82	27,15	39,1	0,82	27,15	39,1	0,82	27,15	69,76	139,53	87,20
0,82	6,78	9,8	0,82	6,78	9,8	0,82	6,78	17,82	35,64	22,27
		3,0	0,84	1,90				3,94	3,94	3,94
0,84	3,81	6,0	0,84	3,81	6,0	0,84	3,81	7,87	7,87	7,87

A/A: 3

Πλήθος Καταναλωτών: 58 – 85

Υπολογισμός: Ισχύος

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

i/n	Description	No. Of Set (N)	3ph/1ph	Voltage	Rated Power	Efficiency Factor	Load Fac.	Div. Fac.
Consumers Deck Machinery Load								
86	Windlass / Mooring Winch	4	3ph	440	135	0,95	0,8	0,2
87	Manifold Service Crane	2	3ph	440	39	0,92	0,8	0,4
88	Provision Handling Crane (Port)	1	3ph	440	28,6	0,92	0,8	0,4
89	Provision Handling Crane (ST ' BD)	1	3ph	440	28,6	0,92	0,8	0,4

fs Port Discharging	fs Port Loading	fs Idle	Power Factor	N' Port Discharging	N' Port Loading	N' Idle	Power Absorbed	Power Instoled	Power Operating Port Discharging
0,16	0,16	0,16	0,95	4	4	4	142,1	568,4	90,9
0,32	0,32	-	0,92	1	1	0	42,4	84,8	13,6
0,32	0,32	0,32	0,92	1	1	1	31,1	31,1	9,9
0,32	0,32	0,32	0,92	1	1	1	31,1	31,1	9,9

Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating Port Loading	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Power Operating Idle	Efficiency Factor pf	Reactive Power Q	Line Current I _γ	N*I _γ	Increment Current I
0,39	215,05	90,9	0,39	215,05	90,9	0,39	215,05	196,28	785,11	245,35
0,60	17,92	13,6	0,60	17,92				60,46	120,92	75,58
0,60	13,14	9,9	0,60	13,14	9,9	0,60	13,14	44,34	44,34	55,42
0,60	13,14	9,9	0,60	13,14	9,9	0,60	13,14	44,34	44,34	55,42

A/A: 4

Πλήθος Καταναλωτών: 86 – 89

Υπολογισμός: Ισχύος

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

Total Power Port Discharging	Total Power Port Loading	Total Power Idle	Bus Bar (Vessel - Port)			Standard Cable Current	Thermal Tripping	Cross Section Area	
kW	kW	kW	A	A	mm ²	A	A	mm ²	
				Standardization					
7734,14	5248,71	2097,61	31925,24	-	-	-	-	-	
			14566,28	-	-	320,00	315	48x1x120 (16/phase)	
			The current of the bar was calculated in two ways.						

Short Circuit Calculation		
Z	Ω	0,02
X''		0,00
R		0,000002
Current Before Short Circuit		9514,15
Angle phazor		-0,64
Real Part		7611,32
Imaginary Part		-5708,49
Complex Number		7611,32-5708,49i
Resistance in Complex Form		0,000002+0,003003i
E.M.F.		271,191936553435+22,84537698i
Current After Short Circuit	A	7667,65926640901-90301,8985131209i
Impulse Current	kA	256,33
Circuit Breaker	kA	-

Cost Calculation				
Circuit Breaker	-			600,00 €
Bus Bar	-	-	-	
	Cross Section	Quantity	Length	Cost
Cable	120	48	-	2.128,00 €
Thermal Tripping	315	1	-	200,00 €
			Total	2.928,00 €

A/A: 5

Υπολογισμός: Διαστασιολόγησης και κοστολόγησης

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΕΡΓΟ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ LNG

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΣΤΑΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ Φ.

ΑΡ.ΜΗΤΡΩΟΥ : 08118701

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 17/12/2021

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΡΟΥΣΑΛΙΔΗΣ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

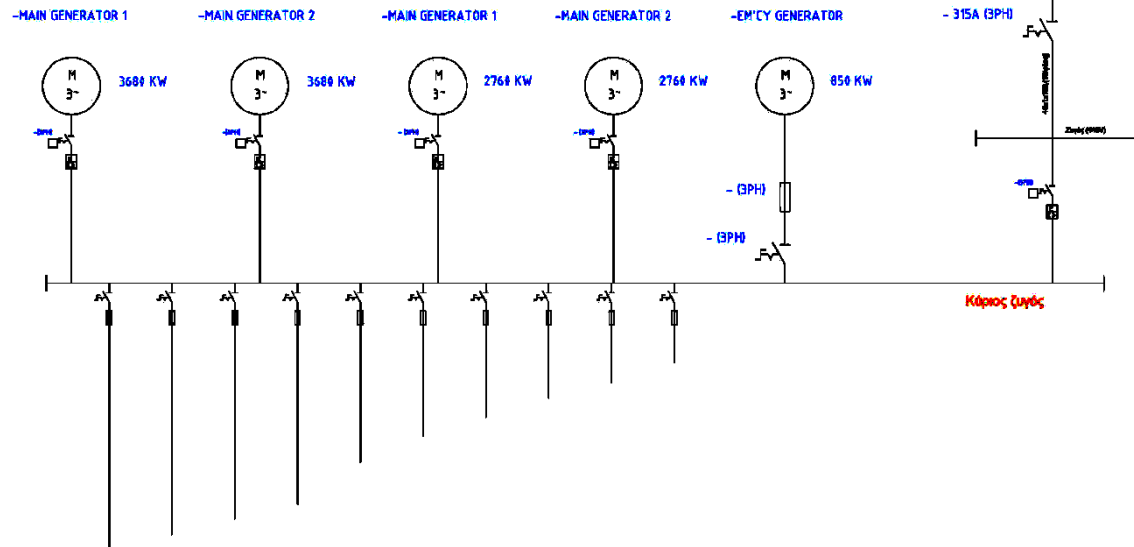
Αυτόματος διακόπτης ισχύος
(προστασία από υπερτάση)
(προστασία από υπερτάση)

Απομόνωση και ασφάλεια
(1-ΦΗ ή 3-ΦΗ απομόνωση)

-NAME
kilowatts

Τροφοωστική γεννήτρια

Διασύνδεση πλοίου - ξηράς



A/A: 6

Διάγραμμα: Πίνακα διασύνδεσης πλοίου-ξηράς

Κατηγορία: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)