

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Εκτίμηση ενεργειακών αναγκών πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους για αξιοποίηση σε μελέτες ηλεκτρικής διασύνδεσης

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ονοματεπώνυμο: Γιώργος Στυλιανού

Αριθμός μητρώου: 08118714

e-mail: giorgostylnoa@gmail.com

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών 2023

Ευχαριστίες

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

Είμαι επίσης ευγνώμων στους συμφοιτητές και φίλους μου, Παναγιώτη Θεοδωρόπουλο, Βασίλη Σοφικίτη και Αλέξανδρο Γιαννάκη, για τη συνεργασία τους και τη βοήθειά τους. Η συμβολή τους και η φιλία τους έκαναν αυτό το ταξίδι πιο απολαυστικό και αξέχαστο.

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

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

Στυλιανού Γιώργος

Αθήνα, Αύγουστος 2023

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση των ενεργειακών αναγκών/απαιτήσεων των πλοίων, πιο συγκεκριμένα δεξαμενόπλοιων και πλοίων ξηρού φορτιού χύδην τα οποία βρίσκονται αγκυροβολημένα στο λιμάνι. Ο κύριος σκοπός της εργασίας, ήταν η απόπειρα εντοπισμού μιας ή και περισσότερων μαθηματικών συσχετίσεων (εξισώσεων), ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) ή το ολικό μήκος του πλοίου (LOA). Οι μαθηματικές εξισώσεις δημιουργήθηκαν μετά από ομαδοποίηση των ενεργειακών αναγκών ανάλογα με το είδος του πλοίου, το Deadweight (DWT) και το ολικό μήκος του πλοίου (LOA). Τα δεδομένα (ενεργειακές απαιτήσεις, DWT, LOA κλπ.) συλλέχθηκαν από την ναυτιλιακή εταιρεία Safe Bulklers και από την διπλωματική εργασία του Αυλωνίτη Σπυρίδων με θέμα «Διερεύνηση θεμάτων κατάρτισης ηλεκτρικού ισολογισμού σε σύγχρονα πλοία με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα». Επιπλέον γίνεται ανάλυση της έννοιας του Cold Ironing και αναφορά στα σημαντικά οφέλη που επιφέρει η εφαρμογή της μεθόδου του Cold Ironing. Μικρή αναφορά γίνεται και για τις ανάγκες ηλεκτροδότησης διάφορων τύπων πλοίου ενώ βρίσκονται αγκυροβολημένα στο λιμάνι.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη	3
1. Εισαγωγή	6
2. COLD IRONING	8
2.1 Ορισμός Cold Ironing.....	8
2.2 Περιβαλλοντική ανάγκη εφαρμογής του Cold Ironing.....	9
2.3 Αλλά οφέλη και πιθανές προκλήσεις εφαρμογής του Cold Ironing.....	11
2.4 Εφαρμογή συστήματος του Cold Ironing στο λιμάνι.....	12
2.5 Μετατροπή και μετασκευή πλοίων για χάρη του Cold Ironing.....	15
2.6 Διεθνείς Κανονισμοί για το Cold Ironing (2006/339/EC).....	16
2.7 Διεθνείς πρότυπα για το Cold Ironing.....	17
2.7.1 Διάταξη συστήματος HVSC.....	18
2.7.2 Διάταξη συστήματος LVSC.....	19
2.7.3 Πρόσθετες απαιτήσεις διάταξης συστήματος LVSC στα δεξαμενόπλοια.....	20
2.8 Εξοπλισμός που απαιτεί το Cold Ironing.....	21
3. Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις ενός αγκυροβολημένου πλοίου σε λιμάνι.....	25
3.1 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις δεξαμενόπλοιων.....	25
3.2 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις πλοίων ξηρού φορτίου χύδην.....	26
3.3 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις containerships.....	27
3.4 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις κρουαζιερόπλοιων.....	28
4. Πλοία που μελετήθηκαν και τρόπος ομαδοποίησης τους.....	29
4.1 Τύποι πλοίων που μελετήθηκαν.....	29
4.1.1 Δεξαμενόπλοια (Tankers).....	29
4.1.2 Πλοία ξηρού φορτίου χύδην (Bulk Carriers).....	31
4.2 Τρόπος ομαδοποίησης.....	34
5. Απόπειρα εύρεσης μαθηματικής συσχέτισης.....	41
5.1 Εύρεση σημείων.....	41
5.1.1 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του Deadweight (DWT) για πλοία ξηρού φορτίου χύδην.....	41

5.1.2 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του Deadweight (DWT) για δεξαμενόπλοια.	46
5.1.3 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του ολικού μήκους του πλοίου (L_{OA}) για πλοία ξηρού φορτίου χύδην.....	49
5.1.4 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του ολικού μήκους του πλοίου (L_{OA}) για δεξαμενόπλοια.	53
5.2 Μαθηματικές συσχετίσεις.....	56
5.2.1 Μαθηματικές συσχετίσεις του Deadweight (DWT) και των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων φορτίου χύδην.....	56
5.2.2 Μαθηματικές συσχετίσεις του Deadweight (DWT) και των ενεργειακών απαιτήσεων των δεξαμενόπλοιων	59
5.2.3 Μαθηματικές συσχετίσεις του ολικού μήκους των πλοίων (L_{OA}) και των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων φορτίου χύδην.....	62
5.2.4 Μαθηματικές συσχετίσεις του ολικού μήκους των πλοίων (L_{OA}) και των ενεργειακών απαιτήσεων των δεξαμενόπλοιων.....	65
6. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	67
6.1 Συμπεράσματα	67
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	68
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

1. Εισαγωγή

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν έναν από τους συνηθέστερους τρόπους μεταφοράς εμπορευμάτων και ανθρώπων και αποτελούν περίπου το 85% του παγκόσμιου εμπορίου. Έτσι γίνεται αντιληπτό πως η ναυτιλιακή βιομηχανία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στο παγκόσμιο εμπόριο και τις μεταφορές, συνδέοντας τα έθνη και διευκολύνοντας την οικονομική ανάπτυξη.

Αν θεωρήσουμε ότι ένα πλοίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως πλωτή βιομηχανία, ή ακόμη και ως πλωτή πολιτεία είναι γρήγορα κατανοητό ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι μείζονας σημασίας για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία του. Η ηλεκτρική ενέργεια, παράγεται από το μηδέν στα πλοία μέσω των ηλεκτρογεννητριών. Μετέπειτα, διανέμεται στους επιμέρους κινητήρες όπου και καταναλώνεται. Η αναγνώριση, η οργάνωση σε πίνακες και το σύνολο όλων των ηλεκτρικών φορτίων στο πλοίο γίνονται από τον ηλεκτρικό ισολογισμό (Electrical Load Analysis). Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πλοίου σε δεξαμενόπλοια και φορτηγά πλοία εκτιμάται γύρω στο 7% ως ποσοστό του ολικού κόστους.

Η διαρκής και αυξανόμενη κυκλοφορία των πλοίων ως μέσα μεταφοράς των εμπορευμάτων συμβάλλει στην ρύπανση του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα της ατμόσφαιρας λόγω της εκπομπής επιβλαβών ρύπων. Τα πλοία δεν εκπέμπουν ρύπους μόνο όσο ταξιδεύουν, αλλά και όσο βρίσκονται αγκυροβολημένα στα λιμάνια. Μπορεί οι κύριες μηχανές να μην λειτουργούν, όμως οι βοηθητικές μηχανές που έχουν ως καύσιμο diesel συνεχίζουν να λειτουργούν, ώστε να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια για τις αναγκαίες εργασίες του πλοίου που λαμβάνουν χώρα κατά τον ελλιμενισμό του. Το πρόβλημα είναι πολύ σημαντικό σε πολυσύχναστα λιμάνια που βρίσκονται κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα.

Η εξάρτηση της ναυτικής βιομηχανίας από τα συμβατικά καύσιμα και οι συναφείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχουν προκαλέσει σημαντικές ανησυχίες. Για τον λόγο αυτόν εδώ και μερικές δεκαετίες η MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) και ο IMO (International Maritime Organization) έχουν επιβάλει αυστηρούς κανονισμούς και περιορισμούς, στόχος των οποίων είναι ο όσο το δυνατόν μεγαλύτερος περιορισμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ναυτιλίας.

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί όλο και μεγαλύτερη έμφαση στην ανάπτυξη βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων στον τομέα της ναυτιλίας. Ίσως η πιο γνωστή λύση που γνωρίζει ο κόσμος είναι η χρήση εναλλακτικών καυσίμων, τα οποία έχουν χαμηλή παραγωγή ρυπογόνων αερίων. Ένας άλλος αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των εκπομπών ρύπων, ο οποίος θα μας απασχολήσει και στη διπλωματική εργασία είναι η εφαρμογή του Cold Ironing. Το Cold Ironing, γνωστό και ως τροφοδοσία από την ξηρά ή Alternative Maritime Power, αναφέρεται στην πρακτική της τροφοδοσίας των πλοίων με ηλεκτρική ενέργεια από το χερσαίο δίκτυο, ενώ αυτά είναι ελλιμενισμένα, επιτρέποντάς τους να απενεργοποιούν τις μηχανές τους και να μειώνουν τις εκπομπές ρύπων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση των ενεργειακών αναγκών/απαιτήσεων των πλοίων, πιο συγκεκριμένα δεξαμενόπλοιων και πλοίων ξηρού φορτιού χύδην τα οποία βρίσκονται αγκυροβολημένα στο λιμάνι. Ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας διατριβής είναι η απόπειρα εντοπισμού μιας ή και περισσοτέρων μαθηματικών συσχετίσεων (εξισώσεων), ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) ή το ολικό μήκος του πλοίου (LOA). Και αυτό θα επιτευχθεί κατόπιν ομαδοποίησης των ενεργειακών αναγκών ανάλογα με το είδος του πλοίου, το Deadweight (DWT) και το ολικό μήκος του (LOA). Σκοπός είναι οι μαθηματικές συσχετίσεις (εξισώσεις) να μπορούν να αξιοποιηθούν στο άμεσο μέλλον σε μελέτες ηλεκτρικής διασύνδεσης του πλοίου με την ξηρά (εφαρμογές Cold Ironing).

2. COLD IRONING

Ηλεκτρική διασύνδεση ελλιμενιζόμενων πλοίων - Cold Ironing

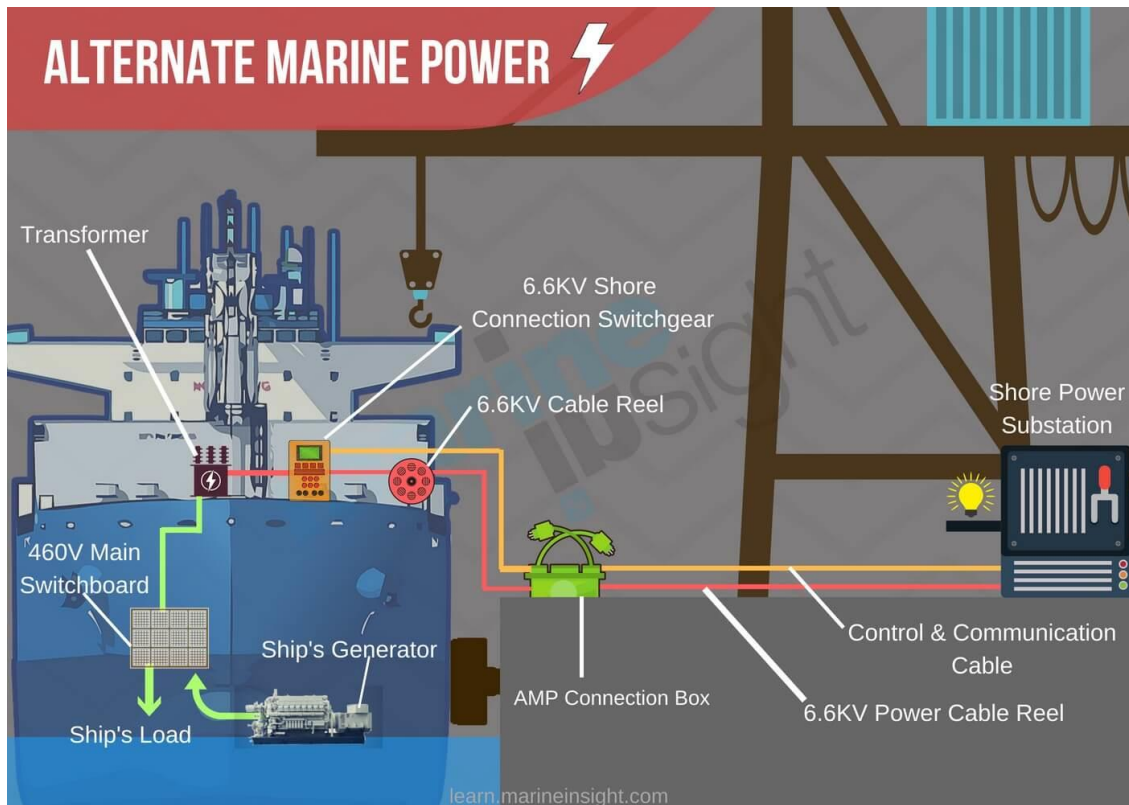
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ανάλυση τόσο της έννοιας του Cold Ironing όσο και τις πιθανές προκλήσεις του αλλά και τα σημαντικά οφέλη του. Επιπλέον θα γίνει αναφορά για τους διεθνείς κανονισμούς και τα διεθνείς πρότυπα του Cold Ironing, όπως επίσης αναφορά θα γίνει και για τον εξοπλισμό που απαιτείται για την διαδικασία της εφαρμογής του Cold Ironing.

2.1 Ορισμός Cold Ironing

Ο όρος Cold Ironing (ή εναλλακτικά Alternative Maritime Power ή Shore - to - Ship Power Supply) περιγράφει τη διαδικασία παροχής ισχύος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πλοίου, κατά την οποία το πλοίο συνδέεται και τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από μία πηγή που βρίσκεται στη ξηρά καθώς αυτό βρίσκεται στο λιμάνι. Έτσι τα πλοία μπορούν να κλείσουν τις βοηθητικές μηχανές (κινητήρες) τους ενώ βρίσκονται αγκυροβολημένα και συνδεδεμένα με μια χερσαία πηγή ισχύος στο λιμάνι χωρίς να γίνετε διακοπή στις υπηρεσίες του πλοίου.

Με αυτή την διαδικασία ο εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης, η ψύξη, η θέρμανση, ο φωτισμός και λοιποί εξοπλισμοί διάφορων αναγκών του πλοίου εξακολουθούν να είναι σε θέση να λαμβάνουν συνεχή ηλεκτρική ισχύ, ενώ ταυτόχρονα το πλοίο φορτώνει ή εκφορτώνει το φορτίο του. Η απενεργοποίηση αυτή όλων των μηχανών εσωτερικής καύσης του πλοίου έδωσε στο όνομα της μεθόδου τον όρο “cold” καθώς εκτός από το να εκμηδενίζει τις εκπομπές, μειώνει και την θερμοκρασία του πλοίου.

Η ορολογία του Cold Ironing χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά όταν τα πλοία χρησιμοποιούσαν κινητήρες με κάρβουνο ως καύσιμο. Πιο συγκεκριμένα όταν ένα πλοίο αγκυροβολούσε στο λιμάνι και σταματούσαν την τροφοδότηση των μηχανών με κάρβουνο τότε οι μηχανές πρόωσης κρυώνανε εντελώς. Από την διαδικασία αυτή πήρε το όνομα αυτό, Cold Ironing – Κρύο Σιδέρωμα.



Σχήμα 1.1 : Παρουσίαση εγκατάστασης για την τροφοδότηση των ενεργειακών αναγκών πλοίου από την ξηρά – Cold Ironing. Πηγή: Marineinsight, <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-alternate-marine-power-amp-or-cold-ironing/>

2.2 Περιβαλλοντική ανάγκη εφαρμογής του Cold Ironing

Ενώ το πλοίο πλέει ανοιχτά στη θάλασσα, η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται, καλύπτεται από τη χρήση βοηθητικών γεννητριών ντίζελ που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια η οποία διανέμεται μέσω μετασχηματιστών και καλωδιακού συστήματος. Μέχρι και σήμερα το ίδιο ακολουθείται και στα πλοία που είναι ελλιμενισμένα, δηλαδή χρησιμοποιούν τις βοηθητικές γεννήτριες ντίζελ (κινητήρες) ούτως ώστε να υποστηρίξουν ορισμένες βασικές λειτουργίες - ανάγκες του πλοίου. Με αυτή την διαδικασία, της συνεχής λειτουργίας των βοηθητικών κινητήρων όμως παράγονται τόσο SO_x, NO_x, CO₂ και εκκένωση σωματιδίων όσο και θόρυβος και κραδασμοί, συμβάλλοντας στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Για το λόγο αυτό για να κατευναστούν τα παραπάνω ζητήματα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η διαδικασία του Cold Ironing. Η εφαρμογή της τεχνολογίας του Cold Ironing αποτελεί βασικά ένα μέτρο κατά της ρύπανσης, επομένως για να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τις ηλεκτρικές γεννήτριες diesel θα πρέπει εναλλακτικά να γίνει χρήση του ηλεκτρικού δικτύου διανομής.

Όπως παρατηρείται λοιπόν, η συμμετοχή του πλοίου στην ατμοσφαιρική ρύπανση δεν προκαλείται μόνο από τα ποντοπόρα πλοία αλλά και από αυτά που βρίσκονται αγκυροβολημένα στο λιμάνι. Ακόμη και ένα πλοίο που βρίσκεται αγκυροβολημένο στο λιμάνι απαιτεί ένα συγκεκριμένο αριθμό ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία ενέργεια αυτή

παρέχεται από μια ή περισσότερες ηλεκτρικές γεννήτριες diesel, ανάλογα με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και με την τεχνολογία που διαθέτει το πλοίο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ρύπανση του περιβάλλοντος στις γύρω περιοχές του λιμανιού, εφόσον καταναλώνονται αρκετοί τόνοι καυσίμων κάθε μέρα από τα αγκυροβολημένα πλοία στα λιμάνια.

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν την ραχοκοκαλιά των παγκόσμιων μεταφορών σε όλο το κόσμο, καθώς είναι πιο αποδοτικός τρόπος μεταφοράς (εμπόριο) λόγω του μεγάλου όγκου εμπορίου (μεγάλα πλοία) και του χαμηλού κόστους μεταφοράς. Αντιπροσωπεύει περίπου το 90% των διεθνών μεταφορών. Για τον λόγο αυτό, ο τομέας της ναυτιλίας δέχεται αυξανόμενες πιέσεις με καινούριους κανονισμούς, ώστε να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων και να γίνει πιο φιλικό προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Ο IMO δημοσίευσε το Δεκέμβριο του 2020, την τέταρτη μελέτη του IMO σχετικά με τις εκπομπές GHG - Greenhouse Gas (αέρια θερμοκηπίου), στην οποία περιέχει μία επισκόπηση των εκπομπών GHG (CO₂) από το τομέα της ναυτιλίας για την περίοδο 2012-2018. Στον πιο κάτω πίνακα, ο οποίος ανήκει στη δημοσίευση του IMO (Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020) δείχνει μια αύξηση στην εκπομπή GHG (CO₂) με το πέρασ κάθε χρονιάς και αυτό οφείλεται κυρίως λόγω της συνεχούς αύξησης του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου. Το μερίδιο των εκπομπών από τη ναυτιλία στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές GHG (CO₂) αυξήθηκε από 2,76% το 2012 σε 2,89% το 2018. Επιπλέον η ναυτιλιακή βιομηχανία αντιπροσωπεύει περίπου το 5-8% των παγκόσμιων εκπομπών SO_x και το 15% των εκπομπών NO_x.

Year	Global anthropogenic CO ₂ emissions	Total shipping CO ₂	Total shipping as a percentage of global
2012	34,793	962	2.76%
2013	34,959	957	2.74%
2014	35,225	964	2.74%
2015	35,239	991	2.81%
2016	35,380	1,026	2.90%
2017	35,810	1,064	2.97%
2018	36,573	1,056	2.89%

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

Total Shipping and voyage-based and vessel based international shipping CO₂ emissions 2012-2018(million tons)-according to IMO 4th GHG study

Προκειμένου λοιπόν να μειωθεί η ρύπανση των λιμένων, η Διεθνή Σύμβαση για τη πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL) ήρθε και έθεσε όρια στην περιεκτικότητα του θείου στα καύσιμα. Μετά από την απόφαση – οδηγία 2005/33/EC του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου στις 6 Ιουλίου του 2005 περιόρισε την περιεκτικότητα του θείου στα ναυτικά καύσιμα για τα σκάφη εσωτερικής

ναυσιπλοΐας και για αυτά που βρίσκονται αγκυροβολημένα σε λιμάνι. Επιπλέον από τους κανονισμούς αυτούς μια από τις καλύτερες λύσεις για την μείωση της ρύπανσης των λιμένων και των γύρω περιοχών τους είναι το Cold Ironing. (F. D' Agostino et al., 2021). Για την επίτευξη του σκοπού της εφαρμογής του Cold Ironing είναι προφανές πως και η πηγή ενέργειας η οποία θα τροφοδοτεί το πλοίο θα πρέπει να είναι φιλική προς το περιβάλλον ή να είναι λιγότερο επιβλαβής από την υπάρχουσα.

2.3 Αλλά οφέλη και πιθανές προκλήσεις εφαρμογής του Cold Ironing

Με τη ορθή εφαρμογή της τεχνολογίας του Cold Ironing παρέχει κυρίως σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα του αέρα, καθώς 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 σε σύγκριση χωρίς την εφαρμογή της τεχνολογίας του Cold Ironing. Επιπλέον εκτός από το ότι περιορίζονται οι εκπομπές, το Cold Ironing βοηθάει στο να μειωθεί η ηχορύπανση εφόσον δεν λειτουργούν οι ηλεκτρικές γεννήτριες diesel κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμάνι, οι οποίες παράγουν έντονο θόρυβο. Με την απενεργοποίηση των ηλεκτρικών γεννητριών diesel του αγκυροβολημένου πλοίου στο λιμάνι, βοηθάει στη μείωση του κόστους του κύκλου ζωής, λόγω της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και του κόστους συντήρησής. Και γενικά παρέχει καλύτερη άνεση στο πλοίο κατά την 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 από τα σημαντικότερα εμπόδια που μπορεί να προκύψει είναι στην υποδομή των θαλάσσιων τερματικών σταθμών. Οι σταθμοί αυτοί απαιτείται να έχουν επιπλέον ηλεκτρική χωρητικότητα, αγωγούς και την υποδοχή του 'βύσματος' ούτως ώστε να δέχονται τα καλώδια τροφοδοσίας από ένα πλοίο. Για παράδειγμα ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να χρειαστεί έως και 1600 kW ισχύος ενώ βρίσκεται ελλιμενισμένο, αλλά αυτή η ισχύς μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την ηλικία του πλοίου, το είδος του πλοίου και τις ανάγκες του. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος καθώς η ηλεκτρική υποδομή του λιμανιού, για το Cold Ironing είναι πιο ακριβή από έναν συμβατικό τερματικό σταθμό. Ακόμη ένα εμπόδιο 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. Ακόμη 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.

Παρά τα αναμφισβήτητα κυρίως περιβαλλοντικά οφέλη, το Cold Ironing είναι ένα σύνθετο τεχνολογικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από πολλά στοιχεία. Τα λιμάνια πρέπει να έχουν την απαραίτητη ηλεκτρική υποδομή, 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. Σημαντικό είναι το πλοίο να έχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα που θα περιλαμβάνει τον αναγκαίο εξοπλισμό ισχύος για τη σύνδεση 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.

2.4 Εφαρμογή συστήματος του Cold Ironing στο λιμάνι

Σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για την ελαχιστοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις εκπομπές των πλοίων, η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει επικεντρωθεί στο σχεδιασμό και την κατασκευή πράσινων πλοίων, καθώς και πράσινων πλοίων από κατάλληλες τεχνικές μετασκευής. Γι' αυτό και όλα τα λιμάνια αποκαθιστούν την στρατηγική τους ούτως ώστε να αποτελέσουν ενεργειακοί κόμβοι στα οποία θα κυριαρχούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικότερα, οι λιμενικές εγκαταστάσεις και οι υπηρεσίες που σχετίζονται με το στόχο αυτό που έθεσε ο IMO και η Ευρωπαϊκή Ένωση, περιλαμβάνουν την εγκατάσταση, τη λειτουργία, και τη διαχείριση συστημάτων όπως είναι το Cold Ironing, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι γερανοί διακίνησης φορτίου, ο έξυπνος φωτισμός, καθώς επίσης και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Το επενδυτικό κόστος και η χωρητικότητα που καταλαμβάνουν οι εγκαταστάσεις του Cold Ironing εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους, οι οποίες 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 τους, όπως η ονομαστική τάση και συχνότητα.

Ήδη αρκετά μεγάλα λιμάνια έχουν εφαρμόσει το Cold Ironing, παρά τις διάφορες προκλήσεις που μπορούν να προκύψουν από την εγκατάσταση συστημάτων Cold Ironing. Μερικά από τα μεγάλα λιμάνια που έχουν υιοθετήσει το Cold Ironing αναφέρονται πιο κάτω:

- Λιμάνι του Λος Άντζελες / Λιμάνι του Λονγκ Μπιτς (ΗΠΑ)
- Λιμάνι του Βανκούβερ (Καναδά)
- Λιμάνι του Γκέτεμποργκ (Σουηδία)
- Λιμάνι του Ρότερνταμ (Ολλανδία)
- Λιμάνι του Αμβούργου (Γερμανία)



Σχήμα 2.2 : Λιμάνι του Λος Άντζελες / Λιμάνι του Λονγκ Μπιτς (ΗΠΑ)
Πηγή: The Wall Street Journal,

<https://www.wsj.com/articles/port-of-los-angeles-stops-short-of-24-hour-operations-unlike-long-beach-11632506723unlike-long-beach-11632506723>



Σχήμα 3.3 : Λιμάνι του Βανκούβερ (Καναδά)
Πηγή: VANCOUVER IS AWESOME,

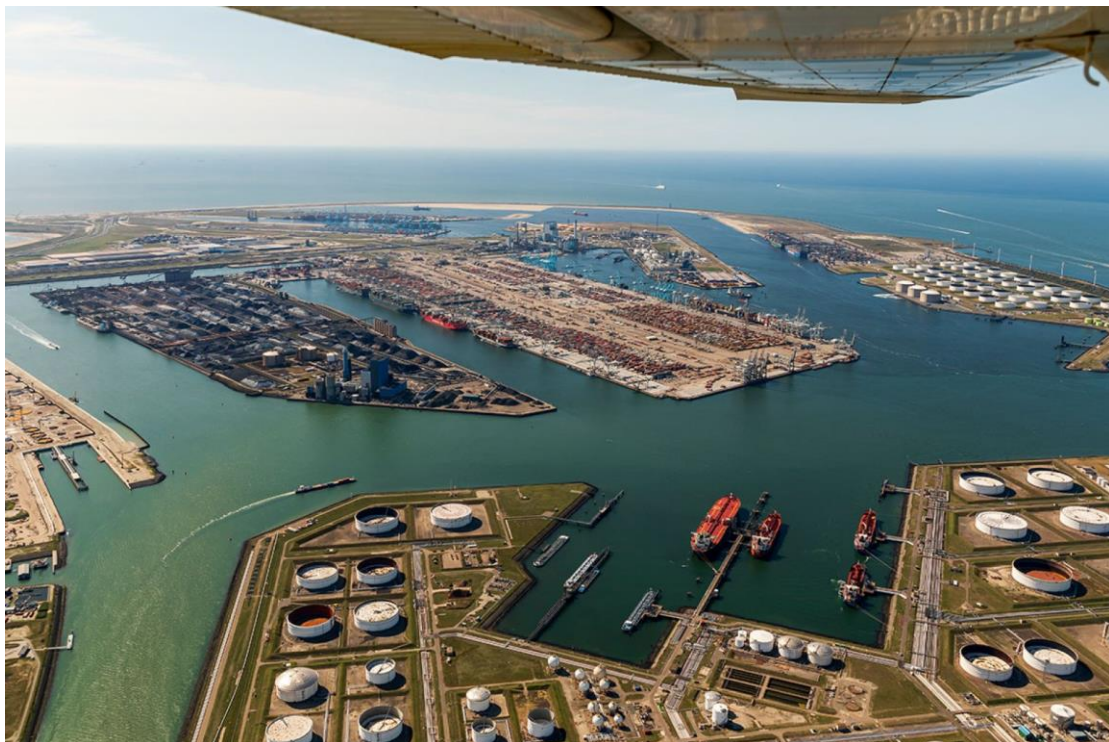
<https://www.vancouverisawesome.com/sponsored/five-ways-the-port-of-vancouver-is-reducing-emissions-6256254reducing-emissions-6256254>



Σχήμα 4.4 : Λιμάνι του Γκέτεμποργκ (Σουηδία)

Πηγή: Port of Gothenburg,

<https://www.portofgothenburg.com/about-the-port/the-port-of-gothenburg/>



Σχήμα 5.5 : Λιμάνι του Ρότερνταμ (Ολλανδία)

Πηγή: NL Netherlands ,

<https://www.holland.com/global/tourism/discover-the-netherlands/visit-the-cities/rotterdam/the-port-of-rotterdam.htm>



Σχήμα 6.6 : Λιμάνι του Αμβούργου (Γερμανία)

Πηγή: Port of Hamburg,

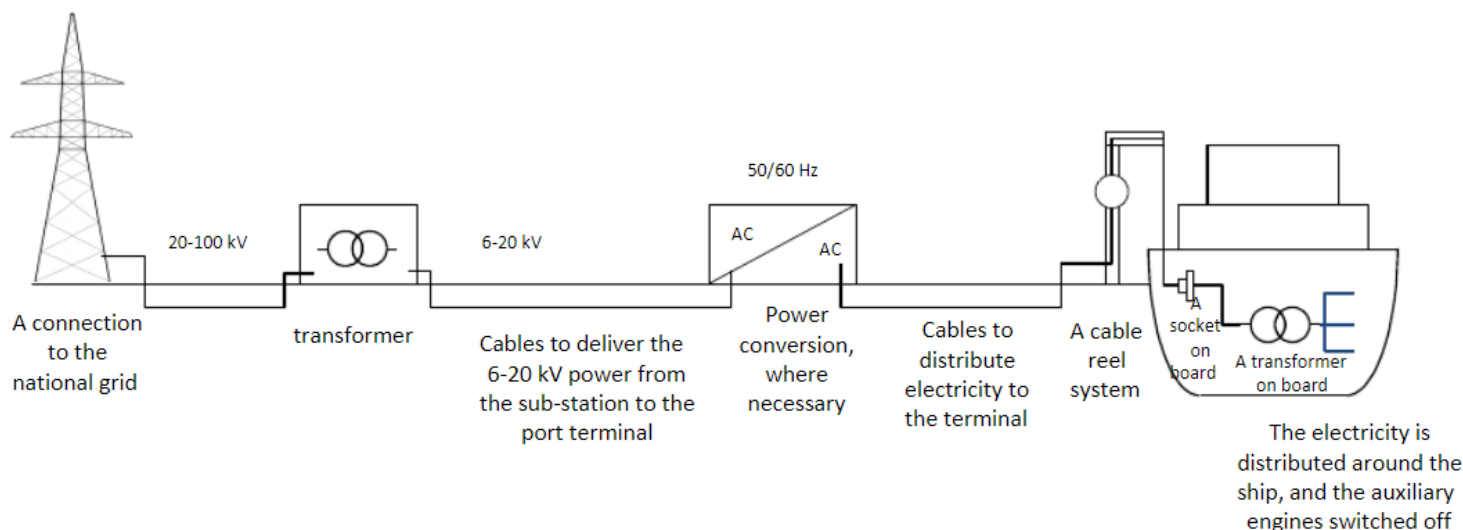
<https://www.hafen-hamburg.de/en/press/news/port-of-hamburg-good-seaborne-cargo-handling-result-for-first-nine-months/>

2.5 Μετατροπή και μετασκευή πλοίων για χάρη του Cold Ironing

Πλέον τα πλοία για να συμβαδίζουν με τα συστήματα του Cold Ironing δέχονται κάποιες αλλαγές. Κατά την 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 σύνδεση του με την υψηλή τάση της ξηράς, θα πρέπει να επιτευχθεί μια αξιολόγηση καθώς ενδέχεται να μην είναι δυνατή η προσαρμογή του πλοίου σε αυτή την τεχνολογία. Πιο αναλυτικά ο χώρος, σύμφωνα πάντα με το ναυτικό σχεδιασμό, θα πρέπει να μεγαλώσει, όμως τα περισσότερα πλοία και ιδιαίτερα 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 πλοίου και της ακτής και αυτό γιατί θα υπάρχει ανάγκη τοποθέτησης μετατροπέα συχνότητας στο πλοίο. Το μέγεθος του μετατροπέα εξαρτάται από την χωρητικότητα 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.

2.6 Διεθνείς Κανονισμοί για το Cold Ironing (2006/339/EC)

Σύμφωνα με την σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Tarnarowicz & German-Galkin, 2018), η διάταξη του Cold Ironing έχει τα εξής κύρια στοιχεία όπως απεικονίζονται στο πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 7.7 : Διάταξη σύμφωνα με την πρόταση 2006/339/EC

Πηγή: Tarnarowicz & German-Galkin, 2018,

<https://www.researchgate.net/publication/322674277> International Standardization in the Design of Shore to Ship - Power Supply Systems of Ships in Port

- Σύνδεση τοπικού υποσταθμού με το εθνικό δίκτυο της πόλης, τάσης από 20-100 kV όπου θα μετασχηματίζεται σε 6-20 kV.
- Καλώδια για την μεταφορά της ισχύος των 6-20 kV από τον υποσταθμό στις αποβάθρες του τερματικού.
- Μετατροπή της ισχύος όπου είναι αναγκαία. Η μετατροπή ισχύος περιλαμβάνει και μετατροπή συχνότητας όταν η συχνότητα επί του σκάφους είναι διαφορετική από τη συχνότητα του τοπικού δικτύου.
- Καλώδια τα οποία μπορεί να είναι εγκατεστημένα και υπογείως για την διανομή του ρεύματος στο λιμάνι.
- Συστήματα περιέλιξης των καλωδίων υψηλής τάσης στην αποβάθρα όπου από εκεί θα οδηγούνται στο πλοίο.
- Πρίζα/υποδοχή στο πλοίο για την σύνδεση καλωδίου
- Μετασχηματιστής στο πλοίο για μετατροπή της υψηλής τάσης στην τάση των συστημάτων/αναγκών του κάθε πλοίου.
- Το ρεύμα τροφοδοτείται στο πλοίο με τις βοηθητικές μηχανές απενεργοποιημένες.

2.7 Διεθνείς πρότυπα για το Cold Ironing

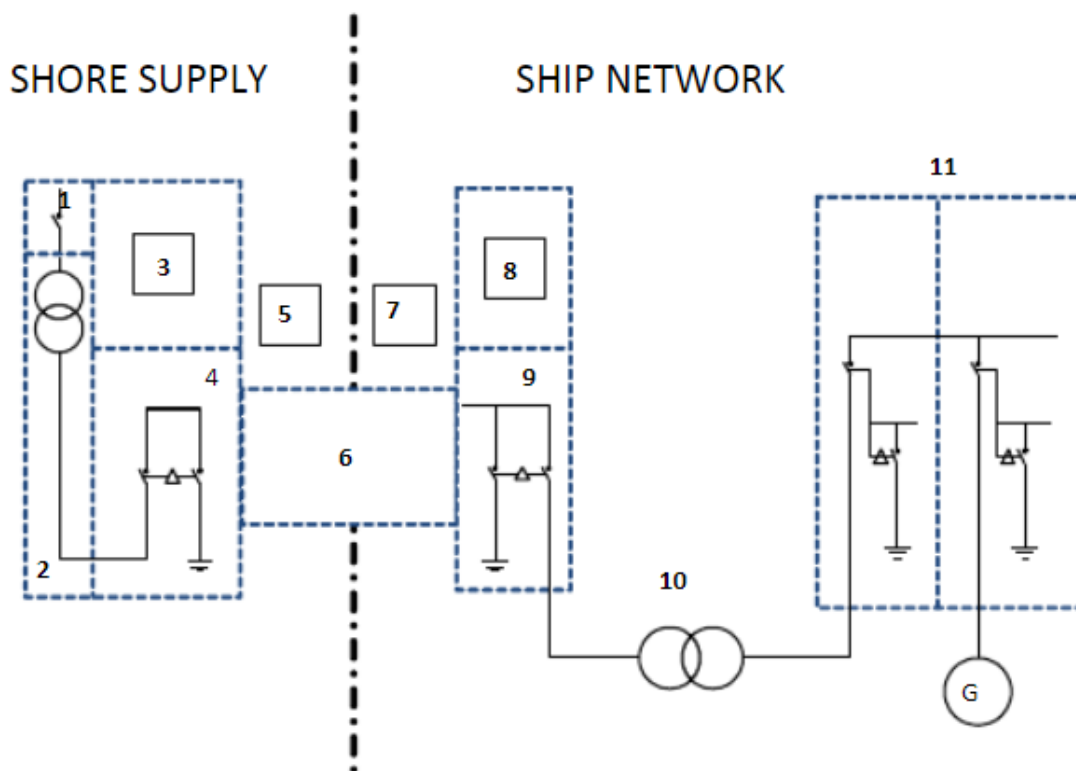
Όλο και πιο πολύ απαιτείται από τα πλοία να απενεργοποιούν τις ηλεκτρογεννήτριές τους και να συνδέονται με μία πηγή στην ακτή για όσο το δυνατό περισσότερο χρόνο κατά την διάρκεια της παραμονής του στο λιμάνι για διάφορους λόγους αλλά πρωτίστως για περιβαλλοντικούς. Η διαδικασία αυτή, όπως προαναφέρθηκε ονομάζεται Cold Ironing.

Για να μπορέσει να επιτευχθεί η διαδικασία αυτή, από την πλευρά του πλοίου, χρειάζονταν να δημιουργηθούν διεθνείς πρότυπα-κανονισμοί. Τα δυο διεθνείς πρότυπα τα οποία έχουν θεσπιστεί από τον International Organization for Standardization (ISO), την International Electrotechnical Commission (IEC) και το Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) είναι το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-1 το οποίο περιγράφει συνδέσεις υψηλών τάσεων με την ξηρά (High Voltage Shore Connection ή HVSC) και το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-3, το οποίο περιγράφει συνδέσεις χαμηλής τάσης με την ξηρά (Low Voltage Shore Connection ή LVSC). Ο πρώτος (ISO/IEC/IEEE 80005-1) δημιουργήθηκε το 2012 και αναθεωρήθηκε το 2019, ενώ ο δεύτερος (ISO/IEC/IEEE 80005-3) δημιουργήθηκε το 2014.

Το πρότυπο High Voltage Shore Connection ή HVSC αντιστοιχεί σε τάσεις όπου απαιτείται ισχύς μεγαλύτερη του 1 MW ή σε πλοία όπου η κύρια λειτουργία τους πραγματοποιείται σε υψηλές τάσεις, όπως πλοία μεταφοράς αυτοκινήτων, μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, μεταφοράς υγροποιημένου αερίου, μεταφοράς υγρού φορτίου και κρουαζιερόπλοια. Στον αντίποδα το πρότυπο Low Voltage Shore Connection ή LVSC ασχολείται με χαμηλές τάσεις σύνδεσης σε πλωτά μέσα ή σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ή μεταφοράς υγρού φορτίου με ισχύ μικρότερη του 1MW.

2.7.1 Διάταξη συστήματος HVSC

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την διάταξη ενός συστήματος HVSC σύμφωνα με τα πρότυπα της ISO/IEC/IEEE 80005-1.



Σχήμα 8.8 : Διάταξη συστήματος HVSC

Πηγή: Tarnarowicz & German-Galkin, 2018,

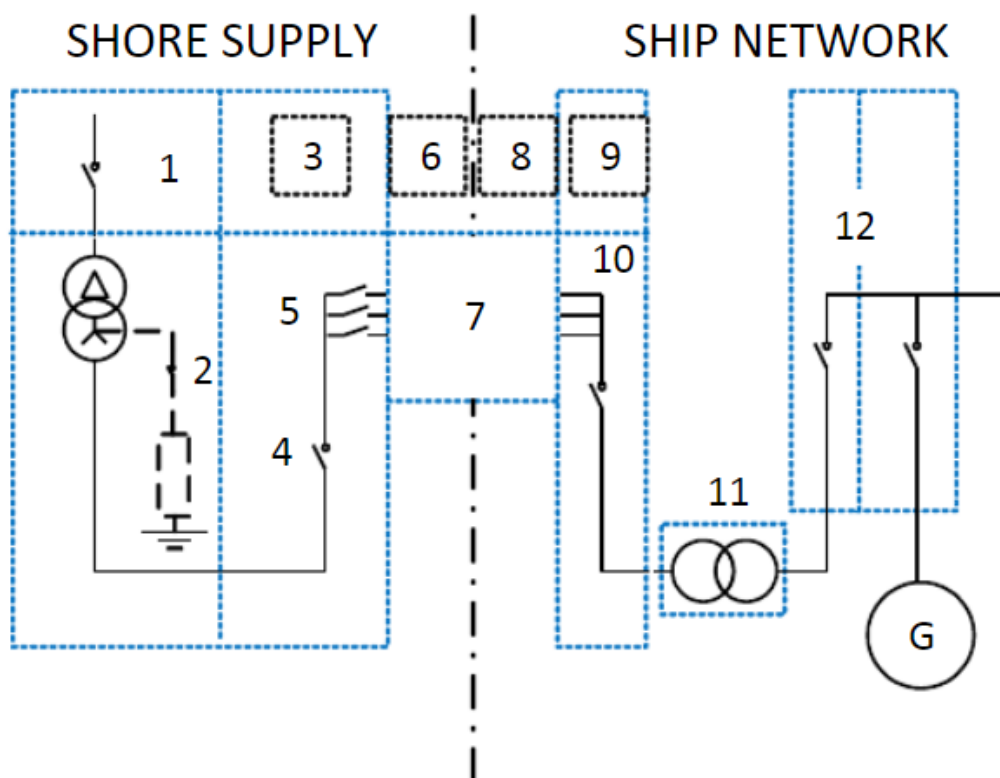
<https://www.researchgate.net/publication/322674277> International Standardization in the Design of Shore to Ship - Power Supply Systems of Ships in Port

Η διάταξη του συστήματος HVSC αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

1. Σύστημα παροχής από το λιμάνι
2. Μετασχηματιστής στη ξηρά
3. Προστατευτικά ρελέ στην ξηρά
4. Διακόπτης κυκλώματος (ρεύματος) και διακόπτης γείωσης στη στεριά
5. Πίνακας ελέγχου στη στεριά
6. Σύνδεση πλοίου – λιμανιού και εξοπλισμός διασύνδεσης
7. Σύστημα ελέγχου στο πλοίο
8. Προστατευτικά ρελέ στο πλοίο
9. Πίνακας ελέγχου σύνδεσης με την ξηρά
10. Μετασχηματιστής πάνω στο πλοίο
11. Πίνακας διανομής στο πλοίο

2.7.2 Διάταξη συστήματος LVSC

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την διάταξη ενός συστήματος LVSC σύμφωνα με τα πρότυπα της ISO/IEC/IEEE 80005-3.



Σχήμα 9.9 : Διάταξη συστήματος LVSC

Πηγή: Tarnarowicz & German-Galkin, 2018,

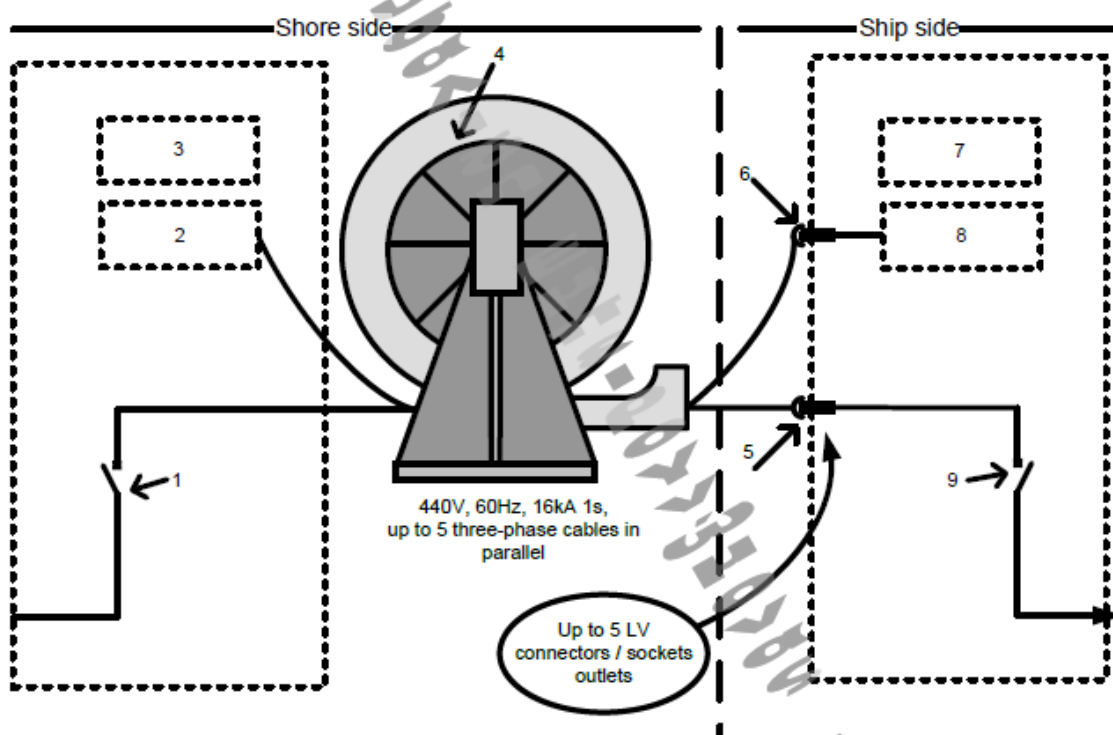
<https://www.researchgate.net/publication/322674277> International Standardization in the Design of Shore to Ship - Power Supply Systems of Ships in Port

Η διάταξη του συστήματος LVSC αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

1. Σύστημα τροφοδοσίας από το λιμάνι
2. Μετασχηματιστή στην ξηρά με αντίσταση γείωσης στον ουδέτερο κόμβο η κάνοντας χρήση συστήματος IT.
3. Προστατευτικά ρελέ στην ξηρά
4. Διακόπτης κυκλώματος στη στεριά
5. Διακόπτες τροφοδοσίας στη στεριά
6. Σύστημα ελέγχου στη στεριά
7. Συνδεσμολογία πλοίου – λιμανιού και εξοπλισμός διασύνδεσης
8. Σύστημα ελέγχου στο πλοίο
9. Προστατευτικά ρελέ στο πλοίο
10. Πίνακας ελέγχου σύνδεσης ακτής – πλοίου
11. Μετασχηματιστής στο πλοίο (όπου απαιτείται)
12. Πίνακας διανομής στο πλοίο

2.7.3 Πρόσθετες απαιτήσεις διάταξης συστήματος LVSC στα δεξαμενόπλοια

Η γενική διάταξη του συστήματος LVSC στα δεξαμενόπλοια φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 10.10 : Διάταξη συστήματος LVSC στα δεξαμενόπλοια
Πηγή: ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΟΤ,
ΕΛΟΤ IEC PAS 80005-3

Η διάταξη του συστήματος LVSC στα δεξαμενόπλοια αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

1. SHORE-SIDE MAIN OR/AND FEEDERS CIRCUIT-BREAKER(S)
2. INTERLOCKS WITH PILOT WIRES SHORE SIDE
3. SHORE-SIDE PROTECTION RELAYING
4. CABLE HANDLING SYSTEM, HERE SHOWN AS ON SHORE CABLE REEL
5. LV-PLUG
6. PILOT WIRES (INTEGRATED IN PLUG AND SOCKET)
7. SHIP PROTECTION RELAYING
8. INTERLOCKS WITH PILOT WIRE SHIP SIDE
9. ON-BOARD SHORE CONNECTION SWITCHBOARD

Παρατηρείται πως η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο διατάξεων είναι ο εξοπλισμός γειώσεων και περισσότερες δικλείδες ασφαλείας που εφαρμόζονται στο HVSC.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των συστημάτων LVSC και HVSC είναι η χρήση μετασχηματιστή απομόνωσης πριν πραγματοποιηθεί σύνδεση του πλοίου με το λιμάνι. Με αυτόν τον τρόπο κάθε πλοίο συνδέεται με διαφορετικό μετασχηματιστή με στόχο την γαλβανική απομόνωση για την προστασία του ηλεκτρικού δικτύου του πλοίου από πιθανές βλάβες στο ηλεκτρικό δίκτυο του λιμανιού.

2.8 Εξοπλισμός που απαιτεί το Cold Ironing

- **Μετασχηματιστής τάσης – Μετατροπέας συχνοτήτων**

Κάθε λιμάνι επισκέπτονται πολλά πλοία, τα οποία δεν λειτουργούν όλα στην ίδια τάση αλλά ούτε και στην ίδια συχνότητα. Επιπλέον αρκετά πλοία λειτουργούν σε διαφορετική τάση και συχνότητα από αυτή του δικτύου του λιμανιού. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται η χρήση μετασχηματιστή τάσης και μετατροπέας συχνοτήτων. Ο μετασχηματιστής τάσης και ο μετατροπέας συχνοτήτων μπορούν να τοποθετηθούν είτε μετά τον υποσταθμό και να τροφοδοτούν το πλοίο με τις επιθυμητές τάσεις και συχνότητες είτε πάνω στο πλοίο και η μετατροπή τάσης και συχνότητας να πραγματοποιείται εκεί. Είναι πολύ σημαντικό το πλοίο να τροφοδοτείται με την κατάλληλη τάση και συχνότητα για την σωστή λειτουργία του.



Σχήμα 11.11 : Μετασχηματιστής τάσης. Πηγή: Marineinsight, <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/why-are-transformer-and-alternator-ratings-in-kva-on-ships/>



Σχήμα 12.12 : Μετατροπέας συχνοτήτων. Πηγή: ENAG,
<https://www.enag.fr/english/marine-market/marine-frequency-converter/>

- **Καλώδια και αγωγοί**

Τα καλώδια και οι αγωγοί είναι όμοια με αντίστοιχα για το υπόλοιπο λιμάνι. Τα καλώδια τροφοδοσίας τοποθετούνται μέσα σε αγωγό ενώ για τις επικοινωνίες και τα χειριστήρια γίνεται χρήση διαφορετικού αγωγού. Για να διατηρηθούν σε λειτουργικό μέγεθος, τα καλώδια είναι τυπικά σχεδιασμένα να παρέχουν 4 MW ενέργειας. Έτσι, δύο καλώδια μπορούν να παρέχουν 8 MW. Το προτιμότερο/ιδανικότερο υλικό κατασκευής του αγωγού για τα κυκλώματα είναι οι οπτικές ίνες παρά ο χαλκός.



Σχήμα 13.13 : Καλώδια τροφοδοσίας από τη στεριά. Πηγή: Port of Seattle,
<https://www.portseattle.org/blog/past-present-and-future-shore-power>



Σχήμα 14.14 : Αγωγός για τα καλώδια τροφοδοσίας. Πηγή: Roxtec, <https://www.roxtec.com/en/industries/marine/>

- **Κοιλότητες υποδοχής (Switchgear)**

Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα παροχής ενέργειας, switchgear ονομάζεται ο συνδυασμός των ηλεκτρικών διακοπών και ασφαλειών αποσύνδεσης που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο, την προστασία και την απομόνωση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Το σύστημα αυτό έχει την ικανότητα να διακόπτει την τροφοδοσία του δικτύου σε περίπτωση βλάβης για τον περιορισμό περαιτέρω ζημιάς στο κύκλωμα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται να συνδέεται πριν τον μετασχηματιστή αλλά και ανάμεσα στον μετασχηματιστή και στα καλώδια που συνδέονται με τον μετατροπέα. Ακόμη συνίσταται να γίνεται χρήση του συστήματος switchgear και στα καλώδια τροφοδοσίας τα οποία θα συνδεθούν στο πλοίο.



Σχήμα 15.15 : Switchgear. Πηγή: RB Marine, <https://www.rb-marine.com/medium-voltage-switchgear/>

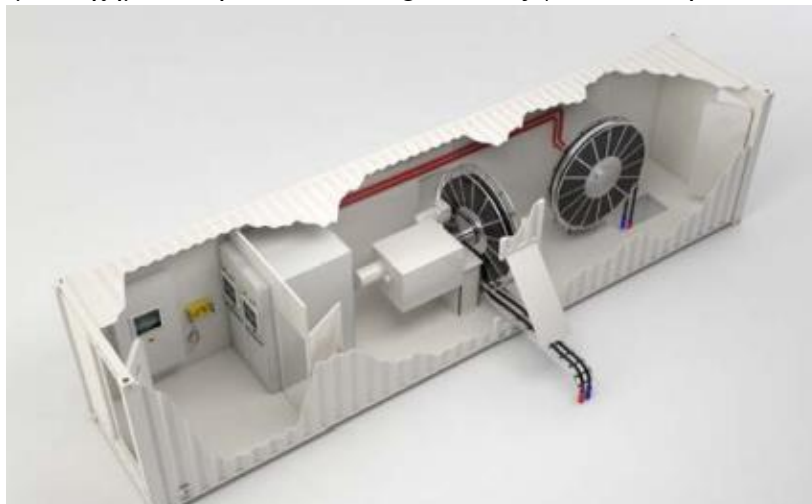
- **Σύστημα διαχείρισης καλωδίων**

Για την τροφοδοσία του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια από το λιμάνι είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος διαχείρισης καλωδίων. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει καλώδια, καρούλι και βύσματα. Στις περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη και η ύπαρξη μετασχηματιστή θα ενσωματωθεί και αυτός στο σύστημα. Η εγκατάσταση αυτή θα πρέπει να σχεδιαστεί με βύσματα ταχείας σύνδεσης για μεγαλύτερη ασφάλεια και ευκολότερη χρήση. Συνήθως τα καλώδια αυτά όταν δε χρησιμοποιούνται παραμένουν τυλιγμένα στο καρούλι είτε πάνω στο πλοίο είτε στο λιμάνι. Κάποια νέα πλοία διαθέτουν μόνιμο σύστημα διαχείρισης καλωδίων μαζί με μετασχηματιστή τάσης για τη μετατροπή της όπου είναι αναγκαίο.



Σχήμα 16.16 : Σύστημα διαχείρισης καλωδίων. Πηγή: Cavotec, <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/crane-electrification/e-rtq/product-motorized-reels>

Το σύστημα διαχείρισης καλωδίων μπορεί να τοποθετηθεί και μέσα σε ένα κοντέινερ μαζί με τον μετασχηματιστή και το switchgear όπως φαίνεται παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 17.17 : Σύστημα διαχείρισης καλωδίων σε εμπορευματοκιβώτιο. Πηγή: Wärtsilä , https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/ps/brochure-o-ea-pcd-shore-connection-system.pdf?sfvrsn=ccb18d45_4

3. Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις ενός αγκυροβολημένου πλοίου σε λιμάνι

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά στις ανάγκες ηλεκτροδότησης διαφόρων τύπων πλοίου ενώ βρίσκονται αγκυροβολημένα στο λιμάνι.

3.1 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις δεξαμενόπλοιων

Οι ανάγκες ηλεκτροδότησης ενός δεξαμενόπλοιου που τροφοδοτείται με ενέργεια από ξηρά μπορεί να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- **Αντλίες φορτίου:** Τα βυτιοφόρα απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των αντλιών φορτίου που χρησιμοποιούνται για τη φόρτωση και εκφόρτωση υγρών. Αυτές οι αντλίες είναι υπεύθυνες για τη μεταφορά του φορτίου μεταξύ του δεξαμενόπλοιου και των εγκαταστάσεων αποθήκευσης στην ξηρά.
- **Συστήματα θέρμανσης δεξαμενών:** Ορισμένα φορτία, όπως βαρέα λιπαντικά ή χημικά, πρέπει να θερμανθούν για να διατηρήσουν το επιθυμητό ιξώδες για άντληση και διακίνηση. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητη για τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης της δεξαμενής και τη διατήρηση του φορτίου στην απαιτούμενη θερμοκρασία.
- **Εξαερισμός και κλιματισμός:** Τα βυτιοφόρα συχνά διαθέτουν συστήματα εξαερισμού και κλιματισμού για να εξασφαλίσουν τον σωστό έλεγχο ροής αέρα και θερμοκρασίας μέσα στις δεξαμενές φορτίου και σε άλλους κλειστούς χώρους. Αυτά τα συστήματα βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους.
- **Φωτισμός και ηλεκτρικές συσκευές:** Απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για τον φωτισμό των διαφόρων διαμερισμάτων, των διαδρόμων και των χώρων εργασίας του δεξαμενόπλοιου. Επιπλέον, οι ηλεκτρικές συσκευές και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται επί του πλοίου, όπως οι συσκευές επικοινωνίας, οι μονάδες ψύξης και ο εξοπλισμός μαγειρικής, βασίζονται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Εξοπλισμός πλοήγησης:** Τα βυτιοφόρα χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τον εξοπλισμό πλοήγησής τους, συμπεριλαμβανομένων των ραντάρ, συστημάτων GPS, συσκευών επικοινωνίας και ηλεκτρονικών χαρτών. Αυτά τα συστήματα είναι ζωτικής σημασίας για την ασφαλή πλοήγηση και τη συμμόρφωση με τους διεθνείς κανονισμούς.
- **Συστήματα και υπηρεσίες επί του σκάφους:** Διάφορα συστήματα και υπηρεσίες σε δεξαμενόπλοιο, όπως αντλίες, κινητήρες, βαρούλκα (άγκυρας), γερανοί, σύστημα αδρανούς αερίου (Inert Gas System) και συστήματα ελέγχου, βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους. Αυτά τα συστήματα είναι απαραίτητα για τη συνολική λειτουργία και ασφάλεια του σκάφους.

3.2 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις πλοίων ξηρού φορτίου χύδην

Οι ανάγκες ηλεκτροδότησης ενός φορτηγού χύδην ξήρου φορτίου που τροφοδοτείται με ενέργεια από ξηρά μπορεί να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- **Εξοπλισμός διακίνησης φορτίου:** Τα φορτηγά χύδην φορτίου απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία εξοπλισμού χειρισμού φορτίου, όπως μάντες μεταφοράς, γερανοί, λαβές και φορτωτές. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για τη φόρτωση και εκφόρτωση χύδην εμπορευμάτων όπως άνθρακας, μέταλλευμα, σιτηρά και άλλα ξηρά χύδην υλικά.
- **Συστήματα επεξεργασίας νερού έρματος:** Οι μεταφορείς χύδην φορτίου πρέπει να διαχειρίζονται το νερό έρματος για να διατηρήσουν τη σταθερότητα και την περικοπή κατά τη διάρκεια των εργασιών φορτίου. Τα συστήματα επεξεργασίας νερού έρματος, τα οποία συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εκκένωσης νερού έρματος, απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους.
- **Εξαερισμός και κλιματισμός:** Τα φορτηγά χύδην φορτίου διαθέτουν συστήματα εξαερισμού και κλιματισμού για τη διατήρηση της σωστής ροής αέρα, θερμοκρασίας και υγρασίας στα αμπάρια και στους χώρους διαμονής. Αυτά τα συστήματα βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για να εξασφαλίσουν την άνεση και την ασφάλεια των μελών του πληρώματος και να διατηρήσουν την ποιότητα του φορτίου.
- **Φωτισμός και ηλεκτρικές συσκευές:** Απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για τον φωτισμό των διάφορων διαμερισμάτων, των διαδρόμων και των χώρων εργασίας του σκάφους. Επιπλέον, οι ηλεκτρικές συσκευές και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται επί του σκάφους, όπως συσκευές επικοινωνίας, μονάδες ψύξης, εξοπλισμός μαγειρικής και άλλα ηλεκτρικά συστήματα, βασίζονται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Εξοπλισμός πλοήγησης και επικοινωνίας:** Οι μεταφορείς χύδην απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τον εξοπλισμό πλοήγησης και επικοινωνίας τους, συμπεριλαμβανομένων των ραντάρ, των συστημάτων GPS, του AIS (Automatic Identification System), των ασύρματων VHF και των ηλεκτρονικών χαρτών. Αυτά τα συστήματα είναι απαραίτητα για την ασφαλή ναυσιπλοΐα και την επικοινωνία με άλλα πλοία και αρχές της ξηράς.
- **Ενσωματωμένα συστήματα και υπηρεσίες:** Διάφορα συστήματα και υπηρεσίες σε φορτηγό χύδην φορτίου, όπως αντλίες, κινητήρες, βαρούλκα, γερανοί, συστήματα έρματος, συστήματα παρακολούθησης φορτίου και συστήματα ελέγχου, βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους. Αυτά τα συστήματα είναι ζωτικής σημασίας για τη συνολική λειτουργία και ασφάλεια του σκάφους

3.3 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις containerships

Οι ανάγκες ηλεκτροδότησης ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που τροφοδοτείται με ενέργεια από ξηρά μπορεί να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Εμπορευματοκιβώτια εμπορευματοκιβωτίων: Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων συχνά μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια ψύξης, γνωστά και ως ψυγεία, τα οποία απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Αυτά τα εμπορευματοκιβώτια πρέπει να συνδέονται στο τροφοδοτικό του πλοίου για να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία για τα ευπαθή εμπορεύματα κατά τη μεταφορά.
- Εξοπλισμός χειρισμού εμπορευματοκιβωτίων: Απαιτείται ηλεκτρική ισχύς για τη λειτουργία εξοπλισμού χειρισμού εμπορευματοκιβωτίων, όπως γερανοί, βάσεις μεταφοράς, συσκευές στοίβαξης και περονοφόρα ανυψωτικά. Αυτά τα μηχανήματα είναι υπεύθυνα για τη φόρτωση, την εκφόρτωση και τη στοίβαξη εμπορευματοκιβωτίων στο κατάστρωμα του πλοίου ή στον τερματικό σταθμό του λιμένα.
- Φωτισμός και ηλεκτρικές συσκευές: Η ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητη για το φωτισμό των διαμερισμάτων, των διαδρόμων και των χώρων εργασίας του πλοίου. Επιπλέον, διάφορες ηλεκτρικές συσκευές και εξοπλισμός επί του σκάφους, συμπεριλαμβανομένων των συσκευών επικοινωνίας, των μονάδων ψύξης, του εξοπλισμού μαγειρέματος και άλλων ηλεκτρικών συστημάτων, βασίζονται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εξοπλισμός πλοήγησης και επικοινωνίας: Τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του εξοπλισμού πλοήγησης και επικοινωνίας τους, όπως ραντάρ, συστήματα GPS, AIS (Automatic Identification System), ραδιόφωνα VHF, ηλεκτρονικοί χάρτες και συστήματα επικοινωνίας. Αυτά τα συστήματα είναι απαραίτητα για την ασφαλή ναυσιπλοΐα, την αποφυγή σύγκρουσης και την επικοινωνία με άλλα πλοία και αρχές της ξηράς.
- Συστήματα και υπηρεσίες επί του σκάφους: Διάφορα συστήματα και υπηρεσίες σε ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, συμπεριλαμβανομένων αντλιών, κινητήρων, βαρούλκων, γερανών, συστημάτων έρματος, συστημάτων παρακολούθησης φορτίου, συστημάτων ελέγχου και συστημάτων πρόωσης, βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους. Αυτά τα συστήματα είναι κρίσιμα για τη συνολική λειτουργικότητα, την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα του σκάφους.

3.4 Λειτουργίες και ανάγκες ηλεκτροδοτήσεις κρουαζιερόπλοιων

Οι ανάγκες ηλεκτροδότησης ενός κρουαζιερόπλοιου που τροφοδοτείται με ενέργεια από ξηρά μπορεί να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Υπηρεσίες ξενοδοχείου: Τα κρουαζιερόπλοια παρέχουν διάφορες ξενοδοχειακές υπηρεσίες στους επιβάτες, όπως φωτισμό, κλιματισμό, θέρμανση και πρίζες ρεύματος σε καμπίνες και κοινόχρηστους χώρους. Αυτές οι υπηρεσίες απαιτούν σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για να διασφαλιστεί η άνεση και η άνεση των επιβατών.
- Εγκαταστάσεις ψυχαγωγίας και αναψυχής: Τα κρουαζιερόπλοια είναι εξοπλισμένα με ένα ευρύ φάσμα εγκαταστάσεων ψυχαγωγίας και ψυχαγωγίας, όπως θέατρα, καζίνο, κινηματογράφοι, πισίνες, ιαματικά λουτρά, γυμναστήρια και αθλητικά γήπεδα. Αυτές οι εγκαταστάσεις βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία φωτισμού, συστημάτων ήχου, προβολών, παιχνιδιών, συστημάτων φιλτραρίσματος νερού και άλλου ηλεκτρικού εξοπλισμού.
- Εστίαση και προετοιμασία φαγητού: Τα κρουαζιερόπλοια διαθέτουν πολλά εστιατόρια, μπαρ και χώρους προετοιμασίας φαγητού που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για εξοπλισμό μαγειρέματος, ψυκτικές μονάδες, πλυντήρια πιάτων και άλλες συσκευές σέρβις τροφίμων. Η αποτελεσματική λειτουργία αυτών των περιοχών είναι απαραίτητη για την παροχή γευμάτων και ποτών στους επιβάτες και το πλήρωμα.
- Συστήματα και υπηρεσίες επί του σκάφους: Τα κρουαζιερόπλοια διαθέτουν διάφορα συστήματα και υπηρεσίες που βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους. Αυτά περιλαμβάνουν συστήματα πρόωσης, εξοπλισμό πλοήγησης, συστήματα επικοινωνίας, συστήματα ασφαλείας (ανίχνευση και καταστολή πυρκαγιάς, συναγερμοί), ανελκυστήρες, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων.
- Καταστήματα και υπηρεσίες επί του σκάφους: Τα κρουαζιερόπλοια έχουν συχνά καταστήματα, μπουτίκ, σαλόνια ομορφιάς και σπα που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό, εξοπλισμό και άλλες λειτουργικές ανάγκες.
- Επαναφόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων: Με την αυξανόμενη δημοτικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων, τα κρουαζιερόπλοια μπορεί να προσφέρουν ευκολίες στους επιβάτες και το πλήρωμα για να επαναφορτίσουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ή τα ποδήλατά τους ενώ είναι ελλιμενισμένα. Αυτό απαιτεί τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

4. Πλοία που μελετήθηκαν και τρόπος ομαδοποίησης τους

4.1 Τύποι πλοίων που μελετήθηκαν

Στην διπλωματική εργασία αυτή μελετήθηκαν δύο τύποι πλοίων. Οι δυο τύποι πλοίων που μελετήθηκαν είναι τα δεξαμενόπλοια (tankers) και τα πλοία ξηρού φορτίου χύδην (bulk carriers). Πιο κάτω θα αναφερθούν μερικά χαρακτηριστικά των δυο αυτών τύπων πλοίου.

4.1.1 Δεξαμενόπλοια (Tankers)

Ως δεξαμενόπλοιο ορίζεται κάθε πλοίο, που είναι κατασκευασμένο να μεταφέρει χύδην υγρά φορτία. Τα σπουδαιότερα φορτία αυτής της μορφής είναι το αργό ή ακάθαρτο πετρέλαιο (crude ή dirty oil) και τα προϊόντα πετρελαίου (oil products), τα υγροποιημένα αέρια σε φυσική και επεξεργασμένη μορφή, ενώ επίσης με δεξαμενόπλοια μπορούν να μεταφέρονται και άλλα χύδην υγρά φορτία, όπως χημικά, κρασί, φυτικά έλαια κ.α. Το σημαντικότερο (τουλάχιστον όσον αφορά τη συνολική ποσότητα) από όλα τα υγρά φορτία που μεταφέρονται δια θαλάσσης είναι το πετρέλαιο.

Τα χύδην υγρά φορτία αποθηκεύονται σε δεξαμενές, ο χειρισμός τους γίνεται με αντλίες και η μεταφορά τους με δεξαμενόπλοια. Το αργό πετρέλαιο έχει μικρές απαιτήσεις ειδικού χειρισμού και μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες ποσότητες. Αντίθετα πολλά χημικά φορτία είναι τοξικά και πρέπει να μεταφέρονται μέσα σε ειδικές δεξαμενές. Τα υγροποιημένα αέρια (liquefied gasses) απαιτούν πλοία με ψυκτικές δυνατότητες ή δεξαμενές πίεσης

Τα δεξαμενόπλοια (πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου) έχουν τα κύτη διαμορφωμένα σε στεγανές δεξαμενές, όπου τοποθετείται χύδην το φορτίο. Επιπλέον τα πλοία αυτά διαθέτουν μια κεντρική διαμήκη φράκτη, ώστε να περιορίζουν την επίδραση του φαινομένου της ελεύθερης επιφάνειας και τη κρούση των τοιχωμάτων από το περιεχόμενο υγρό (sloshing). Ανεξαρτήτως μεγέθους, κινούνται με πολύ μικρή ταχύτητα, ($\leq 15\text{kn}$), ενώ η έμφαση δίνεται στην αύξηση της μεταφορικής ικανότητας. Έχουν εξαιρετικά ογκώδη (πλήρη) γάστρα, με CB που ξεπερνά το 0.8, ενώ η μεταφορική τους ικανότητα φθάνει και συχνά ξεπερνά το 80% του εκτοπίσματος.

Όταν ταξιδεύουν χωρίς φορτίο, προκειμένου να πετύχουν ένα ελάχιστο βύθισμα είναι υποχρεωμένα να φορτώνουν μεγάλες ποσότητες θαλάσσιου έρματος. Παλαιότερα το έρμα μεταφερόταν στις άδειες δεξαμενές φορτίου. Έτσι όμως προκαλούσαν εκτεταμένη θαλάσσια ρύπανση, γιατί όταν απέβαλαν το έρμα απέβαλαν μαζί του υπολείμματα φορτίου. Η ρύπανση που προκαλούνταν με τον τρόπο αυτό, ήταν σημαντικότερη από την ρύπανση που προκαλούσε το σύνολο των θαλάσσιων ατυχημάτων. Νεότεροι κανονισμοί (MARPOL) απαγόρευσαν την μεταφορά έρματος σε δεξαμενές φορτίου. Στα δεξαμενόπλοια ξεκίνησε η κατασκευή διπύθμενων, όπου διαμορφώνονταν δεξαμενές έρματος. Τα διπύθμενα συμμετέχουν στην διαμήκη αντοχή, και σε περίπτωση ρήγματος στον πυθμένα λόγω προσάραξης, προστατεύουν το πλοίο από βύθιση και το περιβάλλον από εκροή πετρελαίου.

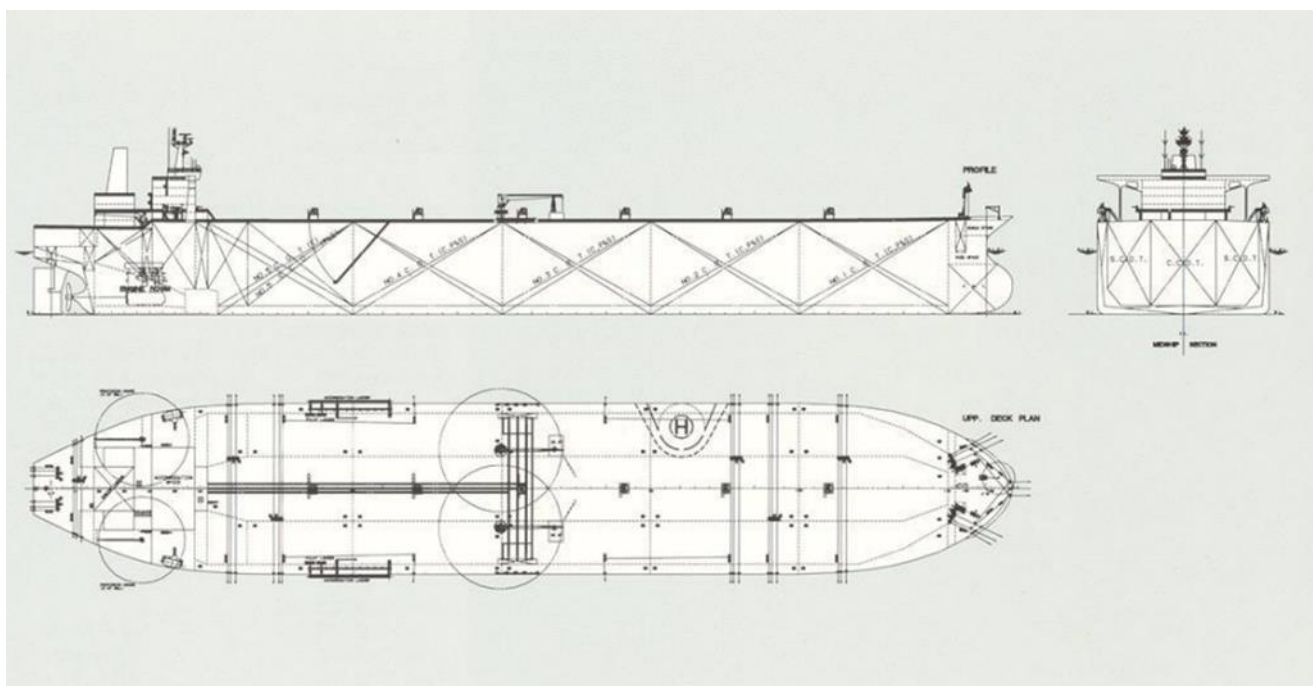
Η τάση της προστασίας των χώρων φορτίου με διπλά τοιχώματα, τα τελευταία χρόνια επεκτάθηκε και στις πλευρές. Η απαίτηση αυτή ξεκίνησε με έναν κανονισμό ασφάλειας που θέσπισαν οι ΗΠΑ, σύμφωνα με τον οποίο τα πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου που προσεγγίζουν λιμένες των ΗΠΑ πρέπει να διαθέτουν διπλά τοιχώματα. Η απαίτηση αυτή υιοθετήθηκε αργότερα από τον ΙΜΟ. Σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς, όλα τα νεότευκτα πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου πρέπει να διαθέτουν διπλά τοιχώματα σε όλη την έκταση του πυθμένα και των πλευρών τους στην περιοχή του φορτίου. Τα πλοία αυτά είναι γνωστά σαν double hulls.

Ο πιο συνηθισμένος τύπος πλοίων μεταφοράς υγρού φορτίου χύδην είναι τα Crude Oil Carriers. Μικρότερα σε μέγεθος είναι τα Product Carriers. Ακόμα πιο μικρά σε μέγεθος αλλά πιο πολύπλοκα στην κατασκευή και τον εξοπλισμό είναι τα Chemical Carriers, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν ταυτόχρονα στις δεξαμενές τους αυξημένο αριθμό διαφορετικών τύπων φορτίου.

Για την κατηγοριοποίηση των δεξαμενόπλοιων κατά μέγεθος χρησιμοποιείται μια άτυπη κατάταξη, χωρίς τα όρια της κάθε κατηγορίας να είναι αυστηρά καθορισμένα.

Οι κατηγορίες των δεξαμενόπλοιων με βάση το μέγεθος τους είναι οι ακόλουθες:

- **Product Tanker** (10.000-60.000 dwt)
- **Panamax** (60.000-80.000 dwt)
- **Aframax** (80.000-120.000 dwt)
- **Suezmax** (120.000-200.000 dwt)
- **VLCC** (200.000-315.000 dwt)
- **ULCC** (315.000-550.000 dwt)



Σχήμα 4.1 : Γενική Διάταξη Δεξαμενόπλοιου Πηγή: Mycourses NTUA

http://mycourses.ntua.gr/courses/NAVAL1063/document/05_%D6%EF%F1%F4%E7%E3%DC_%D0%EB%EF%DF%E1.pdf



Σχήμα 4.2 : Δεξαμενόπλοιο Πηγή: fleet ships
<https://www.fleetship.com/we-manage/vessels/oil-tankers/>

4.1.2 Πλοία ξηρού φορτίου χύδην (Bulk Carriers)

Ως πλοίο ξηρού φορτίου χύδην (Bulk Carriers) ορίζεται κάθε πλοίο που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά χύδην φορτίου σε ξηρή μορφή, όπως σιδηρομεταλλεύματα, άνθρακα, τσιμέντο, δημητριακά και παρόμοιους τύπους φορτίων. Η φορτοεκφόρτωση γίνεται από τις καταπακτές που βρίσκονται στο κατάστρωμα με τη βοήθεια γερανών που βρίσκονται πάνω στο πλοίο. Τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου και μεταλλευμάτων χύδην αποτελούν περί το 42% του DWT του παγκόσμιου στόλου. Τα πλοία αυτά παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τα δεξαμενόπλοια. Για πολλούς οι δύο αυτοί τύποι αποτελούν υποκατηγορίες μιας ευρύτερης κατηγορίας που περιλαμβάνει όλα τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην. Έχουν απλή και στιβαρή κατασκευή, με πολύ μεγάλο CB (≈ 0.85) και χαμηλή ταχύτητα (≤ 15 kn). Το μηχανοστάσιο και οι υπερκατασκευές τοποθετούνται στην πρύμνη. Πρώραθεν του μηχανοστασίου βρίσκεται ο χώρος φορτίου.

Εγκάρσιες στεγανές φρακτές υποδιαιρούν τον χώρο φορτίου σε κοίτη (από 5 έως 11, ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του πλοίου). Τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην έχουν ένα κατάστρωμα (single-deckers) και συνήθως κατασκευάζονται με μία γάστρα (single hull). Ο χώρος φορτίου τους έχει οκταγωνικό σχήμα και οριοθετείται από το διπύθμενο, τις κατώτερες δεξαμενές έρματος (lower wing tanks) και τις ανώτερες δεξαμενές έρματος (upper wing tanks). Μεγάλα στόμια κοιτών, με χαλύβδινα καλύμματα διευκολύνουν την φορτοεκφόρτωση. Η ειδική μορφή των πλευρικών δεξαμενών και ο οκταγωνικός μορφής χώρος φορτίου που είναι χαρακτηριστικά των bulk carriers έχουν αναπτυχθεί ώστε να εξυπηρετούν την λειτουργία του πλοίου.

Για την κατηγοριοποίηση των πλοίων ξηρού φορτίου χύδην (Bulk Carriers) κατά μέγεθος χρησιμοποιείται μια κατάταξη με βάση το Deadweight (DWT) τους

Οι κατηγορίες των πλοίων ξηρού φορτίου χύδην με βάση το μέγεθος τους είναι οι ακόλουθες:

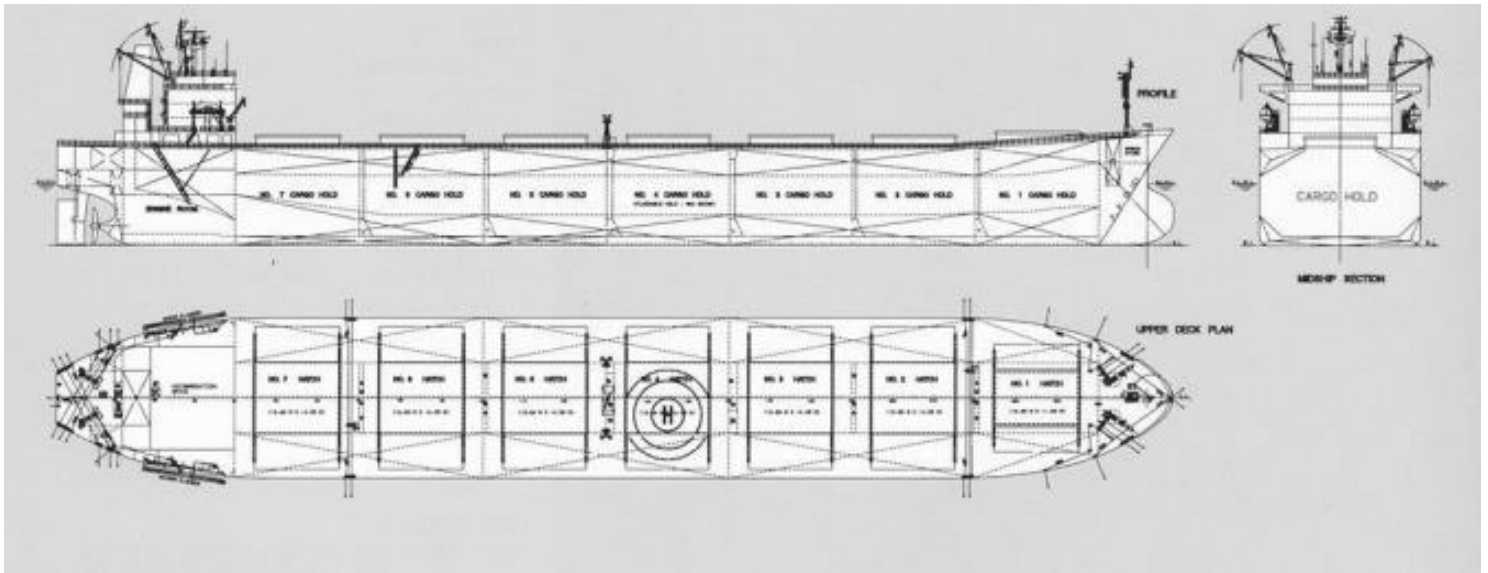
- **Minibulkers** (μικρότερα από 10.000 dwt)
- **Handysize** (10.000-35.000 dwt)
- **Handymax** (35.000-50.000 dwt)
- **Panamax** (50.000-80.000 dwt)
- **Capesize** (80.000-200.000 dwt)
- **Very Large Bulk Carrier** (μεγαλύτερα από 200.000 dwt)

Αντίθετα με τα δεξαμενόπλοια, που μπορούν να εκφορτώνουν μέσω ενός αγωγού πετρελαίου, τα Bulk Carriers είναι υποχρεωμένα να μπαίνουν στο λιμάνι για την εκφόρτωση.

Από τους περιορισμούς των λιμανιών, καναλιών ή στενών έχει προκύψει σειρά υποκατηγοριών όσον αφορά τη μεταφορική ικανότητα και τις διαστάσεις τους, οι πιο συνηθισμένες από τις οποίες είναι:

- **Seawaymax**: Πλοία που μπορούν να διαπλεύσουν το κανάλι του Αγίου Λαυρεντίου στις Μεγάλες Λίμνες του Καναδά (ολικό μήκος 226m, έμφορτο βύθισμα 7.92m, DWT μέχρι 25,500t).
- **Kamsarmax**: Πλοία στο πάνω όριο των Panamax με τις μεγαλύτερες δυνατές διαστάσεις (ολικό μήκος 229m, πλάτος 32.26m, έμφορτο βύθισμα 14.6m, DWT 80,000t με 85,000t) που επιτρέπουν την είσοδο στο Kamsar στη Δημοκρατία της Γουινέας, κύριο λιμάνι φόρτωσης Βωξίτη.
- **Dunkirkmax**: Υποκατηγορία των Capesize, με τις μέγιστες διαστάσεις για είσοδο στο Γαλλικό λιμάνι της Δουνκέρκης (ολικό μήκος 289m, πλάτος 45m, βύθισμα σχεδίασης περί τα 16.5m, DWT περίπου 175,000t)
- **Setouchmax**: Στο πάνω όριο των Capesize, τα μεγαλύτερα πλοία που μπορούν να διαπλεύσουν τη θάλασσα Setouch στην Ιαπωνία (ολικό μήκος 300m, βύθισμα σχεδίασης περί τα 16.1m, DWT \approx 205,000t).
- **Newcastlemax**: Στο πάνω όριο των Capesize, πλοία με τις μεγαλύτερες δυνατές διαστάσεις (ολικό μήκος 300m, πλάτος 50m, βύθισμα σχεδίασης περί τα 16.1m, DWT 200,000t με 210,000t) που επιτρέπουν την είσοδο στο Newcastle της Αυστραλίας, το μεγαλύτερο λιμάνι φόρτωσης κάρβουνου στον κόσμο.
- **Malaccamax**: Τα μεγαλύτερα πλοία που μπορούν να περάσουν από το στενό της Μάλαγας (ολικό μήκος 330m, βύθισμα 20.0m, DWT 300,000t).

Τα bulk carriers μεταφέρουν κάθε είδους ξηρά φορτία με μεγάλο εύρος φυσικοχημικών ιδιοτήτων. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι το ειδικό τους βάρος. Στις θαλάσσιες μεταφορές συχνά χρησιμοποιείται το αντίστροφο του ειδικού βάρους, που ονομάζεται συντελεστής στοιβασίας και εκφράζεται σε κυβικά μέτρα ή κυβικά πόδια ανά τόνο φορτίου. Ο συντελεστής στοιβασίας δίνει κατ' ευθείαν τον όγκο κοιτών που απαιτείται για τη μεταφορά συγκεκριμένου βάρους φορτίου. Οι συντελεστές στοιβασίας των προς μεταφορά φορτίων κυμαίνονται από $0.34\text{m}^3/\text{t}$ μέχρι $3.49\text{m}^3/\text{t}$.



Σχήμα 4.3 : Γενική Διάταξη Πλοίου ξηρού φορτίου χύδην, Πηγή: Mycourses NTUA
http://mycourses.ntua.gr/courses/NAVAL1063/document/05_%D6%EF%F1%F4%E7%E3%DC_%D0%EB%EF%DF%E1.pdf



Σχήμα 4.4 : Πλοίο ξηρού φορτίου χύδην, Πηγή: Riviera
<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/united-maritime-takes-on-three-new-bulk-carriers-75035>

4.2 Τρόπος ομαδοποίησης

Τα πλοία ομαδοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος τους. Για να γίνουν με σωστό τρόπο οι παραπάνω διαδικασίες, ήταν αναγκαίο να βρεθεί ένα κοινό στοιχείο το οποίο ήταν διαθέσιμο σε όλες τις περιπτώσεις. Είναι πολύ πιθανό, αν είχαμε στη διάθεση μας περισσότερες πληροφορίες για τα εν λόγω πλοία, η σύγκριση που ακολουθεί στο επόμενο κομμάτι αυτής της εργασίας, να ήταν πιο περιεκτική. Συνεπώς για τις ανάγκες ολοκλήρωσης της με πληρότητα, επιλέχθηκε το Deadweight (DWT) σε τόνους και το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) σε μέτρα. Θα μπορούσε να επιλεγεί και το βύθισμα του πλοίου (T), καθώς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) και το βύθισμα του (T) αποτελεί σημαντική παράμετρο σε ποια λιμάνια μπορεί να εισέλθει ένα πλοίο. Λόγω του μεγέθους της προβλήτας σε κάθε λιμάνι, υπάρχουν και οι αντίστοιχοι περιορισμοί στα μεγέθη αυτά ενός πλοίου (L_{OA}, T) που μπορεί επισκεφθεί το συγκεκριμένο λιμάνι. Παρόλα αυτά το βύθισμα δεν επιλέχθηκε καθώς δεν το γνωρίζαμε για όλα τα πλοία που είχαμε στη διάθεση, αλλά θα μπορούσε σε άλλη διπλωματική εργασία να διερευνηθεί και το βύθισμα του πλοίου. Η πληροφορία του DWT αποτελεί έναν κατεξοχήν δείκτη μεγέθους, ο οποίος αποτυπώνει το βάρος του φορτίου που επιτρέπεται να κουβαλήσει ένα βαπόρι. Είναι το άθροισμα των βαρών του φορτίου, των καυσίμων, του πόσιμου νερού, του έρματος, των προμηθειών, των επιβατών και του πληρώματος. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από 13 δεξαμενόπλοια και 35 πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην.

Τόσο στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων όσο και στη περίπτωση των πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην η ομαδοποίηση με βάση το Deadweight (DWT) έγινε ανά εύρος 10000 t.

Οι κατηγορίες με βάση το Deadweight (DWT) είναι οι ακόλουθες:

Για δεξαμενόπλοια:

- Εύρος 110000 με 119999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 150000 με 159999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 300000 με 309999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 310000 με 319999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Για πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην:

- Εύρος 30000 με 39999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 60000 με 69999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 70000 με 79999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 80000 με 89999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 90000 με 99999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 170000 με 179999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 180000 με 189999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)
- Εύρος 200000 με 209999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Παρακάτω παρουσιάζεται η ομαδοποίηση για τα δεξαμενόπλοια με βάση το Deadweight (DWT). Στην μια στήλη αναγράφεται το Deadweight (DWT), ενώ στη διπλανή στήλη η συνολική μέση ισχύ που καταναλώνεται από το κάθε πλοίο την ημέρα (ενεργειακές ανάγκες) καθώς βρίσκεται αγκυροβολημένο σε λιμάνι (ελλιμενισμένο). Ενώ στην τελευταία στήλη αναγράφεται ο λόγος των ενεργειακών αναγκών του κάθε πλοίου ως προς το Deadweight (DWT) του αντίστοιχου πλοίου.

Tankers			
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT
110000-119999 DWT	112000	1221,4	0,010905
	113000	1550,5	0,013721
	114000	1570,8	0,013779
	115000	1483,8	0,012903
	115000	1752,8	0,015242
	115500	1750,9	0,015159
150000-159999 DWT	156000	1392,7	0,008928
	156500	2052,6	0,013116
	158000	1716	0,010861
	158000	1771,1	0,011209
300000-309999 DWT	300000	2568,3	0,008561
310000-319999 DWT	317000	2445,78	0,007715
	318500	2620,65	0,008228

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1

Πίνακας ομαδοποίησης δεξαμενόπλοιων με βάση το Deadweight (DWT)

Παρακάτω παρουσιάζεται η ομαδοποίηση για τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην με βάση το Deadweight (DWT). Στην μια στήλη αναγράφεται το Deadweight (DWT), ενώ στη διπλανή στήλη η συνολική μέση ισχύ που καταναλώνεται από το κάθε πλοίο την ημέρα (ενεργειακές ανάγκες) καθώς βρίσκεται αγκυροβολημένο σε λιμάνι (ελλιμενισμένο). Ενώ στην τελευταία στήλη αναγράφεται ο λόγος των ενεργειακών αναγκών του κάθε πλοίου ως προς το Deadweight (DWT) του αντίστοιχου πλοίου.

Bulk carriers			
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT
30000-39999 DWT	34000	721,5	0,021221
	35500	748,2	0,021076
60000-69999 DWT	64000	1303,32	0,020364
	64000	826,5	0,012914
	64000	980,15	0,015315
70000-79999 DWT	74979	295	0,003934
	75003	251	0,003347
	76523	182	0,002378
	77060	265	0,003439
	77128	263	0,003410
	77998	295	0,003782
	77998	265	0,003398
	77998	287	0,003680
80000-89999 DWT	81200	423,1	0,005211
	81513	304	0,003729
	81802	360	0,004401
	82000	438,67	0,005350
	82000	427,8	0,005217
	82013	397	0,004841
	82050	271	0,003303
	83685	240	0,002868
	84849	295	0,003477
	85000	758,3	0,008921
	86850	347	0,003995
	86949	312	0,003588

90000-99999 DWT	91800	295	0,003214
	91800	438	0,004771
	91873	383	0,004169
	95692	209	0,002184
	95755	291	0,003039
170000-179999 DWT	176006	559	0,003176
	178000	1338,9	0,007522
	178064	616	0,003459
180000-189999 DWT	181383	404	0,0022
200000-209999 DWT	208000	894,8	0,004302

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2

Πίνακας ομαδοποίησης πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην με βάση το Deadweight (DWT)

Τώρα η ομαδοποίηση με βάση το ολικό μήκος του πλοίου (LOA), τόσο στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων όσο και στη περίπτωση των πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην έγινε ανά εύρος 10 m.

Οι κατηγορίες με βάση το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) είναι οι ακόλουθες:

Για δεξαμενόπλοια:

- Εύρος 240 με 249,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 250 με 259,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 270 με 279,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 330 με 339,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)

Για πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην:

- Εύρος 170 με 179,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 190 με 199,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 210 με 219,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 220 με 229,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 280 με 289,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)
- Εύρος 290 με 299,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LOA)

Παρακάτω παρουσιάζεται η ομαδοποίηση για τα δεξαμενόπλοια με βάση το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}). Στην μια στήλη αναγράφεται το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}), ενώ στη διπλανή στήλη η συνολική μέση ισχύ που καταναλώνεται από το κάθε πλοίο την ημέρα (ενεργειακές ανάγκες) καθώς βρίσκεται αγκυροβολημένο σε λιμάνι (ελλιμενισμένο). Ενώ στην τελευταία στήλη αναγράφεται ο λόγος των ενεργειακών αναγκών του κάθε πλοίου ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) του αντίστοιχου πλοίου.

Tankers			
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA
240-249,99m	249,9	1221,4	4,887555
	249,9	1550,5	6,204482
	249,9	1570,8	6,285714
	249,9	1750,9	7,006403
250-259,99m	254	1483,8	5,841732
	255,9	1752,8	6,849551
270-279,99m	274,2	1392,7	5,079139
	274,2	2052,6	7,485777
	274,2	1771,1	6,459154
	274,3	1716	6,255924
330-339,99m	330	2568,3	7,782727
	333	2620,65	7,86982
	336	2445,78	7,279107

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3

Πίνακας ομαδοποίησης δεξαμενόπλοιων με βάση το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Παρακάτω παρουσιάζεται η ομαδοποίηση για τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην με βάση το ολικό μήκος του πλοίου (LOA). Στην μια στήλη αναγράφεται το ολικό μήκος του πλοίου (LOA), ενώ στη διπλανή στήλη η συνολική μέση ισχύ που καταναλώνεται από το κάθε πλοίο την ημέρα (ενεργειακές ανάγκες) καθώς βρίσκεται αγκυροβολημένο σε λιμάνι (ελλιμενισμένο). Ενώ στην τελευταία στήλη αναγράφεται ο λόγος των ενεργειακών αναγκών του κάθε πλοίου ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) του αντίστοιχου πλοίου.

Bulk carriers			
	LOA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LOA
170-179,99m	177	748,2	4,227119
	179,9	721,5	4,010561
190-199,99m	199,9	1303,32	6,51986
	199,9	826,5	4,134567
	199,9	980,15	4,903202
210-219,99m	217	182	0,8387
	218	295	1,3532
	218	263	1,2064
	218	265	1,2156
	218	251	1,1514
	219,9	347	1,5780
	219,9	312	1,4188
	219,9	287	1,3051
220-229,99m	221,6	295	1,3312
	221,6	383	1,7283
	221,6	438	1,9765
	221,75	295	1,3303
	221,75	265	1,1950
	222	271	1,2207
	223	240	1,0762

	223	295	1,3229
	225,1	304	1,3505
	225,1	360	1,5993
	225,3	397	1,7621
	227	291	1,2819
	227	209	0,9207
	229	423,1	1,8476
	229	438,67	1,9156
	229	427,8	1,8681
	229	758,3	3,3114
280-289,99m	282	559	1,9823
	282	616	2,1844
	283	404	1,4276
290-299,99m	292	1338,9	4,5853
	299,7	894,8	2,9857

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4

Πίνακας ομαδοποίησης πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην με βάση το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

5. Απόπειρα εύρεσης μαθηματικής συσχέτισης

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει απόπειρα εύρεσης μιας ή και περισσότερων μαθηματικών σχέσεων, ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) ή το ολικό μήκος του πλοίου (LOA). Τα πλοία ομαδοποιήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος τους. Για να δημιουργηθούν οι μαθηματικές σχέσεις με όσο το δυνατό καλύτερο αποτέλεσμα, χρησιμοποιήθηκαν σαν σημεία το μέσο του εύρους των κατηγοριών που επιλέχθηκε τόσο στη περίπτωση του Deadweight (DWT) όσο το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) και οι μέσες τιμές των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) ή το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) για κάθε κατηγορία εύρους. Για την δημιουργία των μαθηματικών σχέσεων, στην περίπτωση του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT), η μονάδα μέτρησης από kW/t μετατράπηκε σε W/t και για αυτό οι τιμές πολλαπλασιάστηκαν με το 1000.

5.1 Εύρεση σημείων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τις μέσες τιμές των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) ή το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) για κάθε κατηγορία εύρους. Οι μέσες τιμές αυτές θα αποτελέσουν τα σημεία, για τον σχηματισμό των μαθηματικών σχέσεων.

5.1.1 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του Deadweight (DWT) για πλοία ξηρού φορτίου χύδην.

- Εύρος 30000 με 39999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,021148
30000-39999 DWT	34000	721,5	0,021221		
	35500	748,2	0,021076		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 30000 – 39999 DWT

- Εύρος 60000 με 69999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,016198
60000-69999 DWT	64000	1303,32	0,020364		
	64000	826,5	0,012914		
	64000	980,15	0,015315		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 60000 – 69999 DWT

- Εύρος 70000 με 79999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,003421
70000-79999 DWT	74979	295	0,003934		
	75003	251	0,003347		
	76523	182	0,002378		
	77060	265	0,003439		
	77128	263	0,003410		
	77998	295	0,003782		
	77998	265	0,003398		
	77998	287	0,003680		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 70000 – 79999 DWT

- Εύρος 80000 με 89999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,004575
80000-89999 DWT	81200	423,1	0,005211		
	81513	304	0,003729		
	81802	360	0,004401		
	82000	438,67	0,005350		
	82000	427,8	0,005217		
	82013	397	0,004841		
	82050	271	0,003303		
	83685	240	0,002868		
	84849	295	0,003477		
	85000	758,3	0,008921		
	86850	347	0,003995		
	86949	312	0,003588		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 80000 – 89999 DWT

- Εύρος 90000 με 99999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,003475
90000-99999 DWT	91800	295	0,003214		
	91800	438	0,004771		
	91873	383	0,004169		
	95692	209	0,002184		
	95755	291	0,003039		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 90000 – 99999 DWT

- Εύρος 170000 με 179999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,004719
170000-179999 DWT	176006	559	0,003176		
	178000	1338,9	0,007522		
	178064	616	0,003459		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 170000 – 179999 DWT

- Εύρος 180000 με 189999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,0022
180000-189999 DWT	181383	404	0,0022		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 180000 – 189999 DWT

- Εύρος 200000 με 209999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Bulk carriers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,004302
200000-209999 DWT	208000	894,8	0,004302		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην εύρους 200000 – 209999 DWT

Στον παρακάτω πίνακα βλέπετε συγκεντρωμένα την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή και τον μέσο όρο των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του Deadweight (DWT) για τα πλοία φορτίου χύδην.

Bulk carriers			
	Min kW/DWT	Max kW/DWT	Average kW/DWT
30000-39999 DWT	0,021076	0,021221	0,021148
60000-69999 DWT	0,012914	0,020364	0,016198
70000-79999 DWT	0,002378	0,003934	0,003421
80000-89999 DWT	0,002868	0,008921	0,004575
90000-99999 DWT	0,002184	0,004771	0,003475
170000-179999 DWT	0,003176	0,007522	0,004719
180000-189999 DWT	0,002227	0,002227	0,002227
200000-209999 DWT	0,004302	0,004302	0,004302

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9

Συγκεντρωτικός πίνακας kW/DWT πλοίων φορτίου χύδην

Ακολουθεί ο πίνακας με τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση μαθηματικής σχέσης, ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT). Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT), η μονάδα μέτρησης από kW/t μετατράπηκε σε W/t και για αυτό οι τιμές πολλαπλασιάστηκαν με το 1000.

DWT (t)	Average W/DWT (W/t)
35000	21,148322
65000	16,197760
75000	3,420923
85000	4,575062
95000	3,475329
175000	4,719123
185000	2,227331
205000	4,301923

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10

Πίνακας σημείων για τα πλοία ξηρού φορτίου χύδην

5.1.2 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του Deadweight (DWT) για δεξαμενόπλοια.

- Εύρος 110000 με 119999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Tankers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,013618
110000-119999 DWT	112000	1221,4	0,010905		
	113000	1550,5	0,013721		
	114000	1570,8	0,013779		
	115000	1483,8	0,012903		
	115000	1752,8	0,015242		
	115500	1750,9	0,015159		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.11

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT δεξαμενόπλοιων εύρους 110000 – 119999 DWT

- Εύρος 150000 με 159999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Tankers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,011028
150000-159999 DWT	156000	1392,7	0,008928		
	156500	2052,6	0,013116		
	158000	1716	0,010861		
	158000	1771,1	0,011209		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.12

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT δεξαμενόπλοιων εύρους 150000 – 159999 DWT

- Εύρος 300000 με 309999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Tankers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,008561
300000-309999 DWT	300000	2568,3	0,008561		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.13

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT δεξαμενόπλοιων εύρους 300000 – 309999 DWT

- Εύρος 310000 με 319999 τόνους νεκρού φορτίου (DWT)

Tankers					
	DWT	TOTAL LOAD (kW)	kW/DWT	AVG	0,007972
310000-319999 DWT	317000	2445,78	0,007715		
	318500	2620,65	0,008228		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.14

Πίνακας μέσης τιμής kW/DWT δεξαμενόπλοιων εύρους 310000 – 319999 DWT

Στον παρακάτω πίνακα βλέπετε συγκεντρωμένα την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή και τον μέσο όρο των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του Deadweight (DWT) για τα δεξαμενόπλοια.

Tankers			
	Min kW/DWT	Max kW/DWT	Average kW/DWT
110000-119999 DWT	0,010905	0,015242	0,013618
150000-159999 DWT	0,008928	0,013116	0,011028
300000-309999 DWT	0,008561	0,008561	0,008561
310000-319999 DWT	0,007715	0,008228	0,007972

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.15
Συγκεντρωτικός πίνακας kW/DWT δεξαμενόπλοια

Ακολουθεί ο πίνακας με τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση μαθηματικής σχέσης, ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT). Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT), η μονάδα μέτρησης από kW/t μετατράπηκε σε W/t και για αυτό οι τιμές πολλαπλασιάστηκαν με το 1000.

DWT (t)	Average W/DWT (W/t)
115000	13,61819977
155000	11,02836805
305000	8,561
315000	7,971747396

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.16
Πίνακας σημείων για τα δεξαμενόπλοια

5.1.3 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του ολικού μήκους του πλοίου (L_{OA}) για πλοία ξηρού φορτίου χύδην.

- Εύρος 170 με 179,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Bulk carriers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	4,11884
170-179,99m	177	748,2	4,227119		
	179,9	721,5	4,010561		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.17

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA πλοίων φορτίου χύδην εύρους 170 – 179,99 m

- Εύρος 190 με 199,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Bulk carriers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	5,185876
190-199,99m	199,9	1303,32	6,51986		
	199,9	826,5	4,134567		
	199,9	980,15	4,903202		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.18

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA πλοίων φορτίου χύδην εύρους 190 – 199,99 m

- Εύρος 210 με 219,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Bulk carriers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	1,2584
210-219,99m	217	182	0,8387		
	218	295	1,3532		
	218	263	1,2064		
	218	265	1,2156		
	218	251	1,1514		
	219,9	347	1,5780		
	219,9	312	1,4188		
	219,9	287	1,3051		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.19

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA πλοίων φορτίου χύδην εύρους 210 – 219,99 m

- Εύρος 220 με 229,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Bulk carriers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	1,5905
220-229,99m	221,6	295	1,3312		
	221,6	383	1,7283		
	221,6	438	1,9765		
	221,75	295	1,3303		
	221,75	265	1,1950		
	222	271	1,2207		
	223	240	1,0762		
	223	295	1,3229		
	225,1	304	1,3505		
	225,1	360	1,5993		
	225,3	397	1,7621		
	227	291	1,2819		
	227	209	0,9207		
	229	423,1	1,8476		
	229	438,67	1,9156		
	229	427,8	1,8681		
	229	758,3	3,3114		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.20

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA πλοίων φορτίου χύδην εύρους 220 – 229,99 m

- Εύρος 280 με 289,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Bulk carriers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	1,8647
280-289,99m	282	559	1,9823		
	282	616	2,1844		
	283	404	1,4276		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.21

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA πλοίων φορτίου χύδην εύρους 280 – 289,99 m

- Εύρος 290 με 299,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Bulk carriers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	3,7855
290-299,99m	292	1338,9	4,5853		
	299,7	894,8	2,9857		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.22

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA πλοίων φορτίου χύδην εύρους 290 – 299,99 m

Στον παρακάτω πίνακα βλέπετε συγκεντρωμένα την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή και τον μέσο όρο των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του ολικού μήκους του πλοίου (L_{OA}) για τα πλοία φορτίου χύδην.

Bulk carriers			
	Min kW/L _{OA}	Max kW/L _{OA}	Average kW/L _{OA}
170-179,99m	4,010561	4,22712	4,11884
190-199,99m	4,134567	6,51986	5,185876
210-219,99m	0,83871	1,57799	1,258409
220-229,99m	0,920705	3,31135	1,5905
280-289,99m	1,427562	2,1844	1,864743
290-299,99m	2,985652	4,58527	3,785463

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.23

Συγκεντρωτικός πίνακας kW/ L_{OA} πλοίων φορτίου χύδην

Ακολουθεί ο πίνακας με τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση μαθηματικής σχέσης, ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}).

L _{OA} (m)	Average kW/L _{OA} (kW/m)
175	4,11884
195	5,185876
215	1,258409
225	1,5905
285	1,864743
295	3,785463

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.24

Πίνακας σημείων για τα πλοία ξηρού φορτίου χύδην

5.1.4 Πίνακες υπολογισμού μέσης τιμής των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (LoA) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του ολικού μήκους του πλοίου (LoA) για δεξαμενόπλοια.

- Εύρος 240 με 249,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LoA)

Tankers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	6,096038
240-249,99m	249,9	1221,4	4,887555		
	249,9	1550,5	6,204482		
	249,9	1570,8	6,285714		
	249,9	1750,9	7,006403		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.25

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA δεξαμενόπλοιων εύρους 240 – 249,99 m

- Εύρος 250 με 259,99 m ολικό μήκος του πλοίου (LoA)

Tankers					
	LoA(m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/LoA	AVG	6,345641
250-259,99m	254	1483,8	5,841732		
	255,9	1752,8	6,849551		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.26

Πίνακας μέσης τιμής kW/LoA δεξαμενόπλοιων 250 – 259,99 m

- Εύρος 270 με 279,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Tankers					
	L _{OA} (m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/L _{OA}	AVG	6,319999
270-279,99m	274,2	1392,7	5,079139		
	274,2	2052,6	7,485777		
	274,2	1771,1	6,459154		
	274,3	1716	6,255924		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.27

Πίνακας μέσης τιμής kW/L_{OA} δεξαμενόπλοιων 270 – 279,99 m

- Εύρος 330 με 339,99 m ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA})

Tankers					
	L _{OA} (m)	TOTAL LOAD (kW)	kW/L _{OA}	AVG	7,643885
330-339,99m	330	2568,3	7,782727		
	333	2620,65	7,86982		
	336	2445,78	7,279107		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.28

Πίνακας μέσης τιμής kW/L_{OA} δεξαμενόπλοιων 330 – 339,99 m

Στον παρακάτω πίνακα βλέπετε συγκεντρωμένα την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή και τον μέσο όρο των τιμών του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) κάθε κατηγορίας ανάλογα με το εύρος του ολικού μήκους του πλοίου (LOA) για τα δεξαμενόπλοια.

Tankers			
	Min kW/LOA	Max kW/LOA	Average kW/LOA
240-249,99m	4,887555	7,006403	6,096038
250-259,99m Lbp	5,841732	6,849551	6,345641
270-279,99m Lbp	5,079139	7,485777	6,319999
330-339,99m Lbp	7,279107	7,86982	7,643885

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.29
Συγκεντρωτικός πίνακας kW/ LOA δεξαμενόπλοιων

Ακολουθεί ο πίνακας με τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση μαθηματικής σχέσης, ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (LOA).

LOA (m)	Average kW/LOA (kW/m)
245	6,096038
255	6,345641
275	6,319999
335	7,643885

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.30
Πίνακας σημείων για τα δεξαμενόπλοια

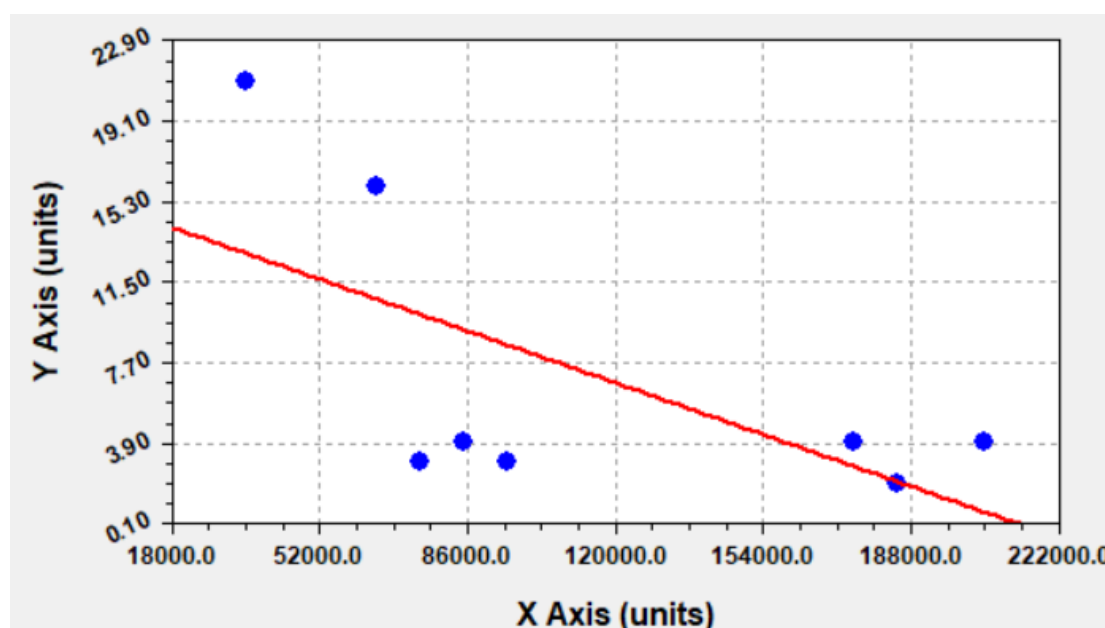
5.2 Μαθηματικές συσχετίσεις

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μαθηματικές σχέσεις μαζί με τις καμπύλες τους, που δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος CurveExpert χρησιμοποιώντας τα σημεία που προσδιορίσαμε πιο πάνω. Το πρόγραμμα CurveExpert μας έδωσε σαν αποτέλεσμα πολλές μαθηματικές σχέσεις όμως επιλέχθηκαν αυτές με τις πιο απλές μαθηματικές εκφράσεις αλλά και με τις μικρότερες αποκλίσεις των σημείων από την καμπύλη που σχηματίστηκε.

5.2.1 Μαθηματικές συσχετίσεις του Deadweight (DWT) και των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων φορτίου χύδη

Στις γραφικές αυτές ο άξονας των τεταγμένων (άξονας των y) αντικατοπτρίζει το λόγο των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) τους με μονάδα μέτρησης τα W/t (Watt/tonnes), ενώ ο άξονας των τετημένων (άξονας των x) αντικατοπτρίζει το Deadweight (DWT) των πλοίων με μονάδα μέτρησης τα t (tonnes).

1^η Μαθηματική συσχέτιση (Linear Fit)



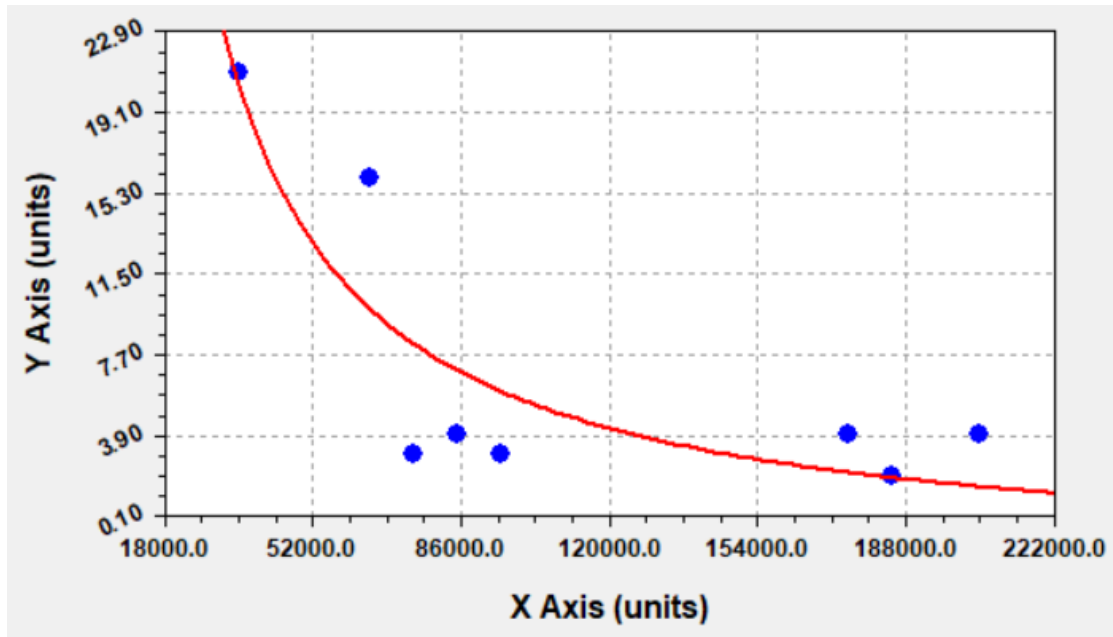
Linear Fit: $y=a+b*x$

Coefficient Data:

$a = 1.53855633803E+001$

$b = -7.18309859155E-005$

2^η Μαθηματική συσχέτιση (Hyperbolic Fit)



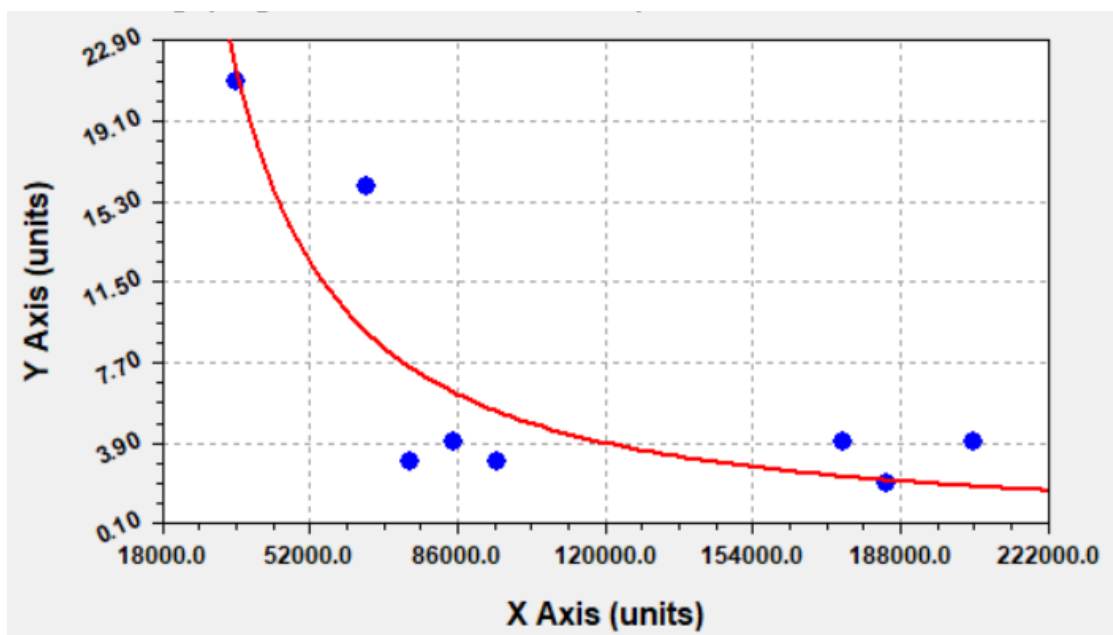
Hyperbolic Fit: $y=a+b/x$

Coefficient Data:

$$a = -2.37530821731E+000$$

$$b = 7.95186709628E+005$$

3^η Μαθηματική συσχέτιση (Power Fit)



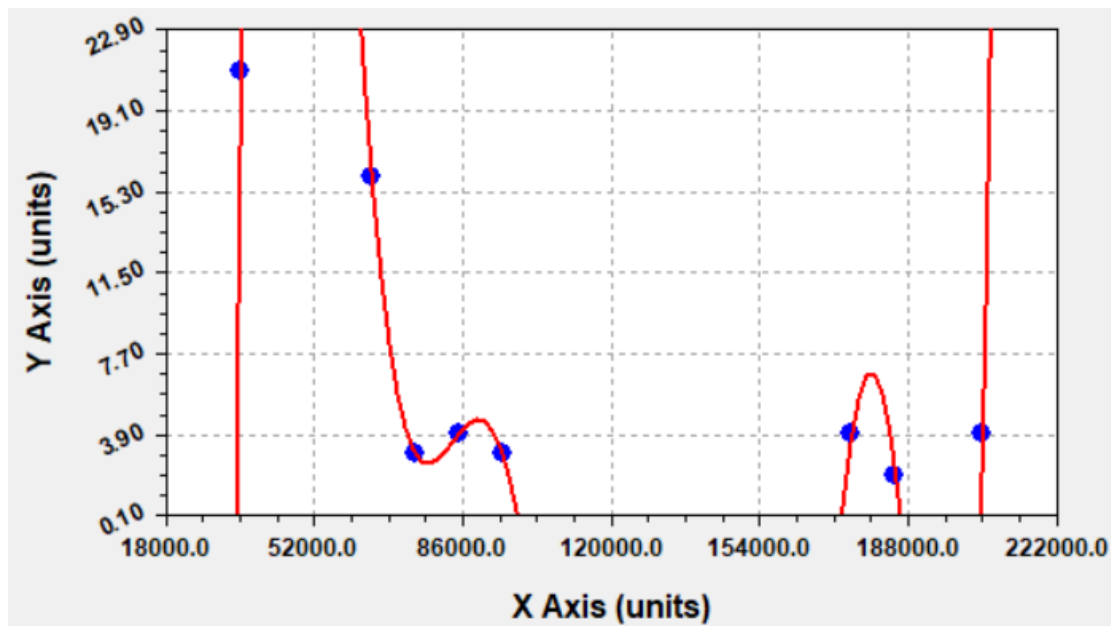
Power Fit: $y=a*x^b$

Coefficient Data:

$a = 3.92670729695E+007$

$b = -1.37831919726E+000$

4^η Μαθηματική συσχέτιση (Lagrangian Interpolation)



Lagrangian Interpolation: $y=a+b*x+c*x^2+d*x^3+e*x^4+f*x^5+g*x^6+h*x^7$

Coefficient Data:

$a = -6.15658328812E+003$

$b = 5.02699216723E-001$

$c = -1.62320916883E-005$

$d = 2.72798488326E-010$

$e = -2.59660778169E-015$

$f = 1.40677661459E-020$

$g = -4.03658609909E-026$

$h = 4.75620058953E-032$

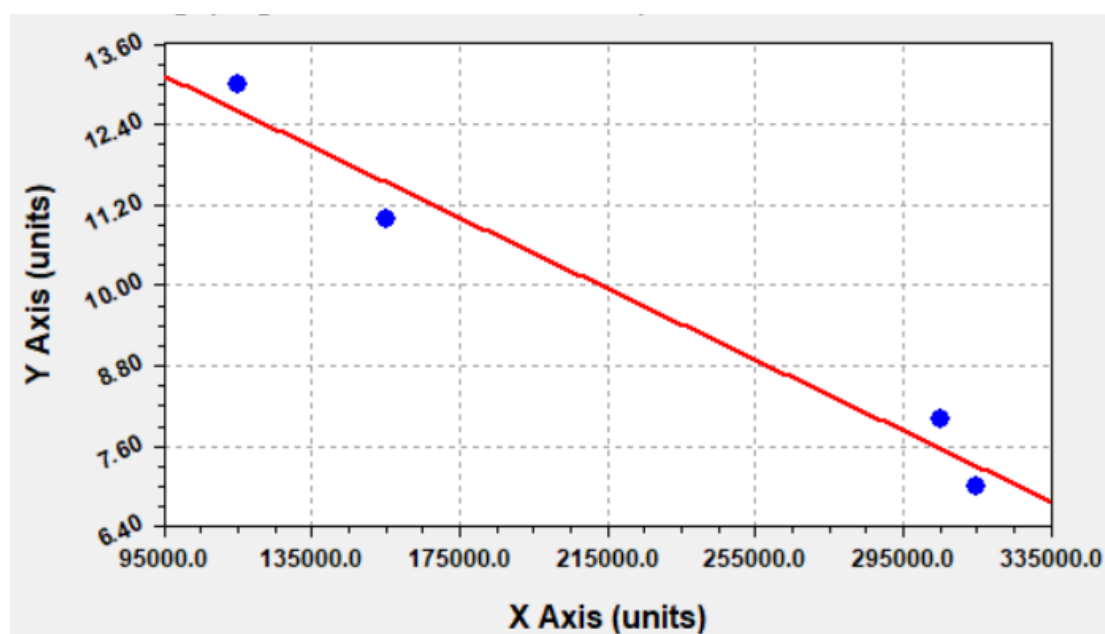
Παρατηρήσεις

Μέσα από τις γραφικές παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το Deadweight (DWT), ο λόγος των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) τους μειώνεται (φθίνουσα συνάρτησή), πάρα το γεγονός ότι όσο αυξάνεται το Deadweight (DWT) ενός πλοίου φορτιού χύδην αυξάνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις.

5.2.2 Μαθηματικές συσχετίσεις του Deadweight (DWT) και των ενεργειακών απαιτήσεων των δεξαμενόπλοιων

Στις γραφικές αυτές ο άξονας των τεταγμένων (άξονας των y) αντικατοπτρίζει το λόγο των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) τους με μονάδα μέτρησης τα W/t (Watt/tonnes), ενώ ο άξονας των τετημένων (άξονας των x) αντικατοπτρίζει το Deadweight (DWT) των πλοίων με μονάδα μέτρησης τα t (tonnes).

1^η Μαθηματική συσχέτιση (Linear Fit)



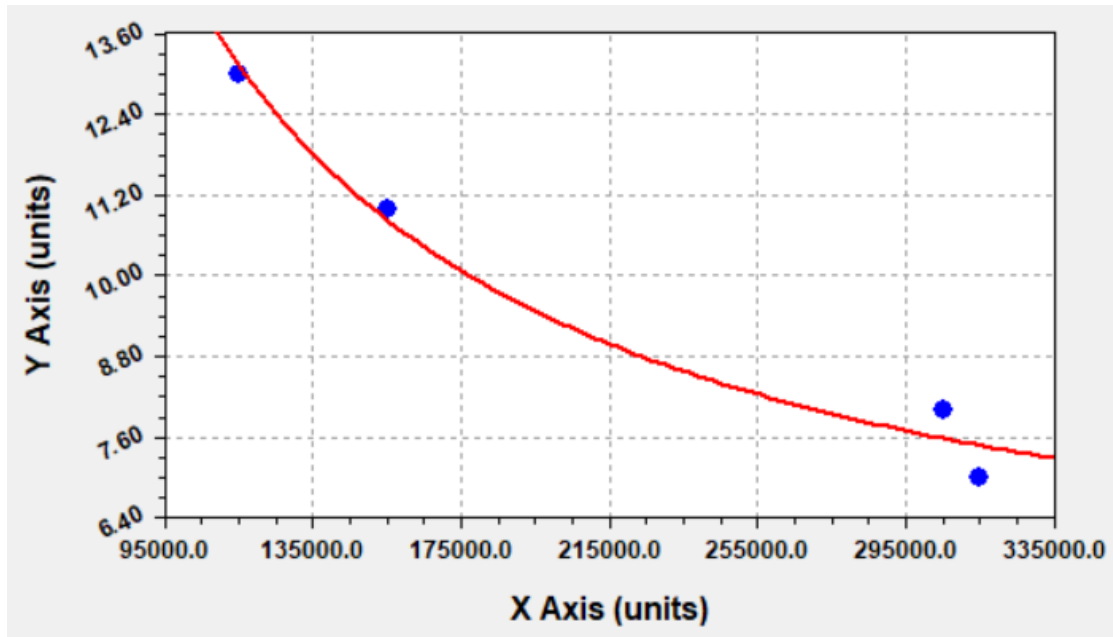
Linear Fit: $y=a+b*x$

Coefficient Data:

$a = 1.56350277998E+001$

$b = -2.64495631454E-005$

2^η Μαθηματική συσχέτιση (Hyperbolic Fit)



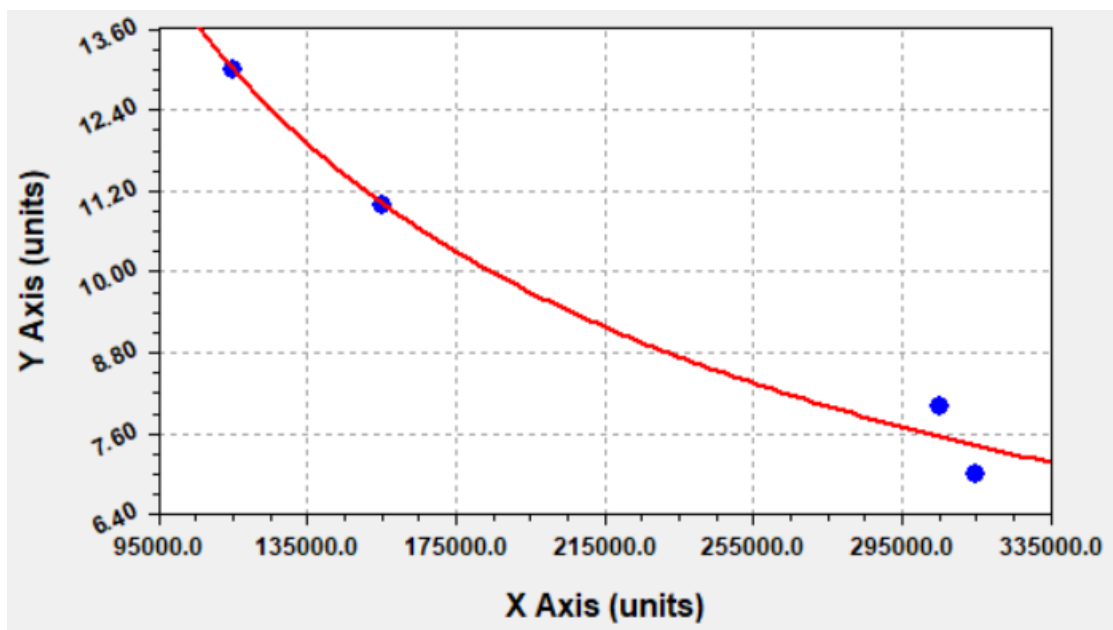
Hyperbolic Fit: $y=a+b/x$

Coefficient Data:

$a = 4.23944670715E+000$

$b = 1.02044652827E+006$

3^η Μαθηματική συσχέτιση (Power Fit)



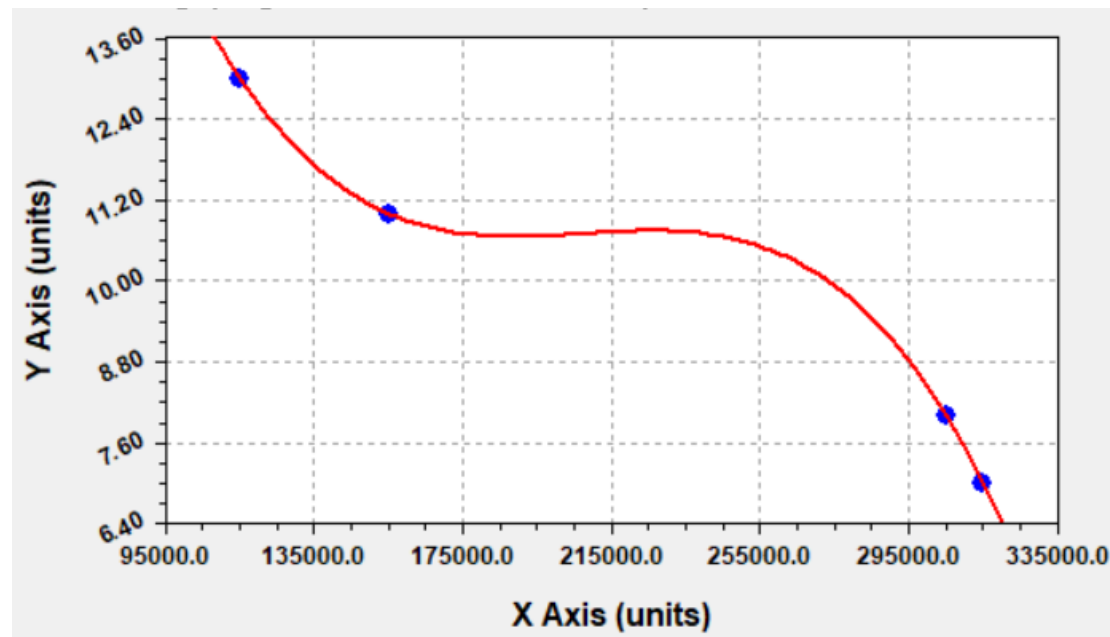
Power Fit: $y=a*x^b$

Coefficient Data:

$a = 8.43051356758E+003$

$b = -5.55635652715E-001$

4^η Μαθηματική συσχέτιση (Lagrangian Interpolation)



Lagrangian Interpolation: $y=a+b*x+c*x^2+d*x^3$

Coefficient Data:

$a = 3.94481085526E+001$

$b = -4.22154605263E-004$

$c = 2.04934210526E-009$

$d = -3.28947368421E-015$

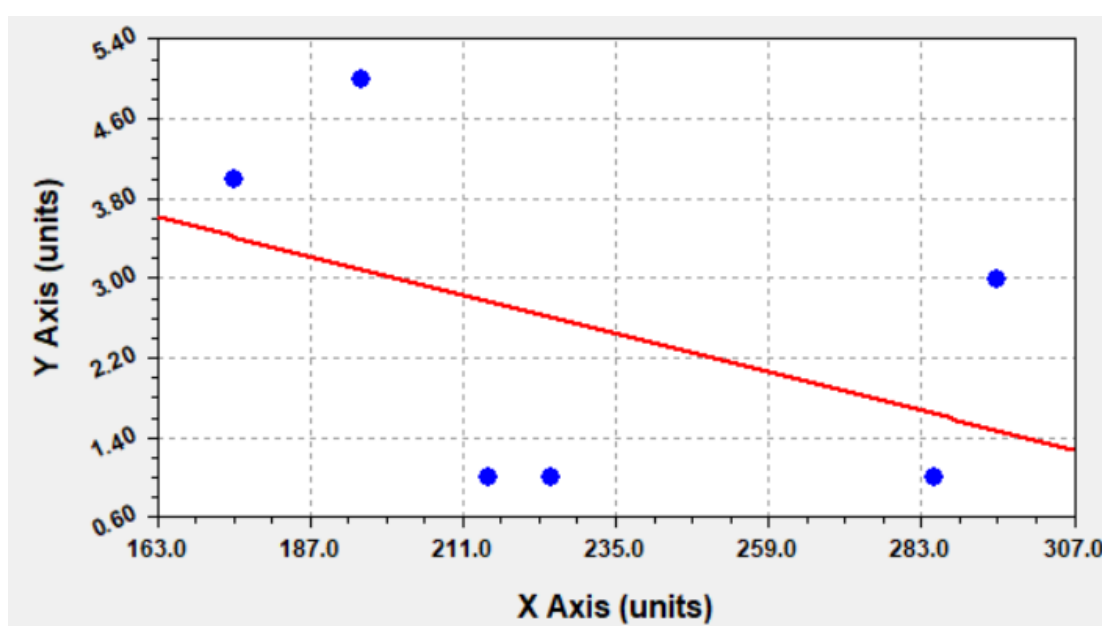
Παρατηρήσεις

Μέσα από τις γραφικές παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το Deadweight (DWT), ο λόγος των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) τους μειώνεται (φθίνουσα συνάρτησή), πάρα το γεγονός ότι όσο αυξάνεται το Deadweight (DWT) ενός δεξαμενόπλοιου αυξάνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις.

5.2.3 Μαθηματικές συσχετίσεις του ολικού μήκους των πλοίων (L_{OA}) και των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων φορτίου χύδην

Στις γραφικές αυτές ο άξονας των τεταγμένων (άξονας των y) αντικατοπτρίζει το λόγο των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) με μονάδα μέτρησης τα kW/m (kilowatt/meters), ενώ ο άξονας των τετμημένων (άξονας των x) αντικατοπτρίζει το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) με μονάδα μέτρησης τα m (meters).

1^η Μαθηματική συσχέτιση (Linear Fit)



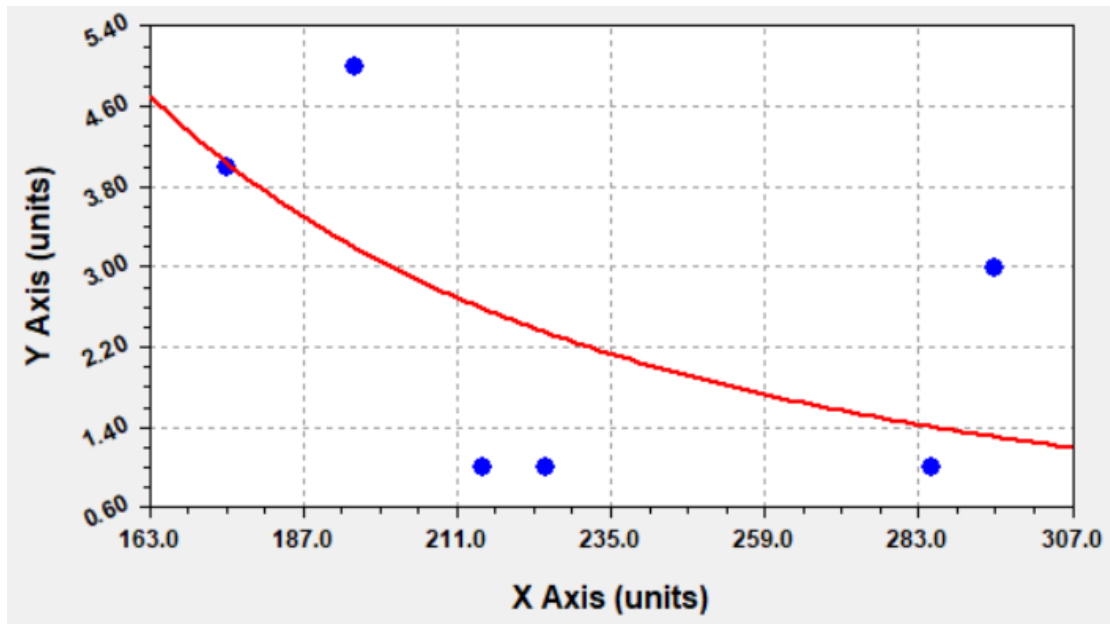
Linear Fit: $y=a+b*x$

Coefficient Data:

$a = 6.25142045455E+000$

$b = -1.61931818182E-002$

2^η Μαθηματική συσχέτιση (Power Fit)



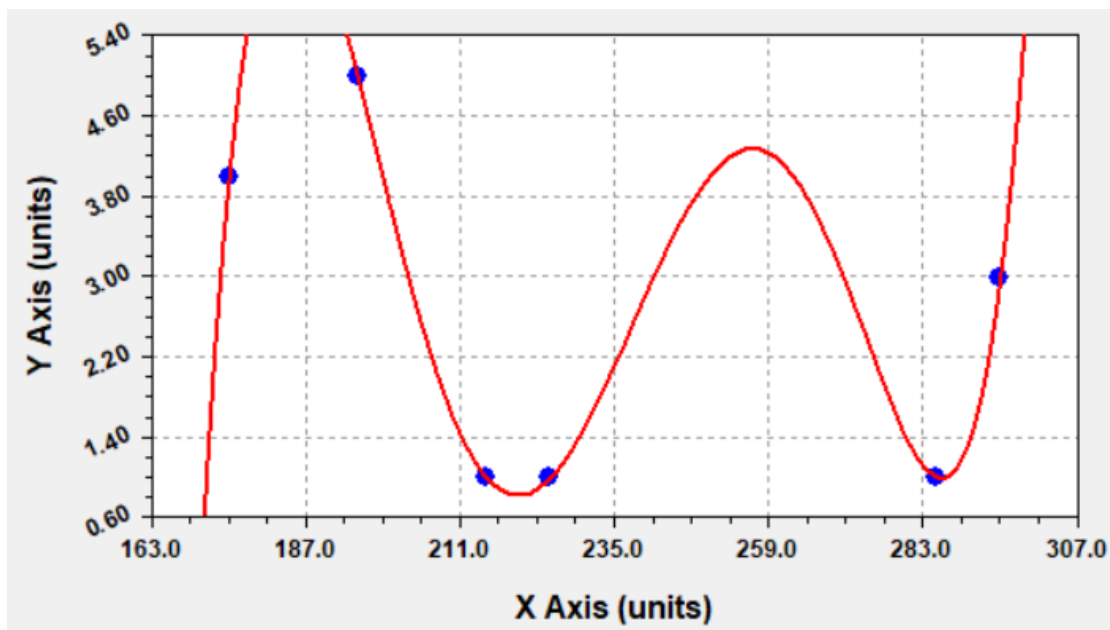
Power Fit: $y=a*x^b$

Coefficient Data:

$a = 2.89339839559E+005$

$b = -2.16470488802E+000$

3^η Μαθηματική συσχέτιση (Lagrangian Interpolation)



Lagrangian Interpolation: $y=a+b*x+c*x^2+d*x^3+e*x^4+f*x^5$

Coefficient Data:

$a = -2.32540520241E+004$

$b = 5.09907305308E+002$

$c = -4.42874493446E+000$

$d = 1.90529611592E-002$

$e = -4.06147787398E-005$

$f = 3.43314093314E-008$

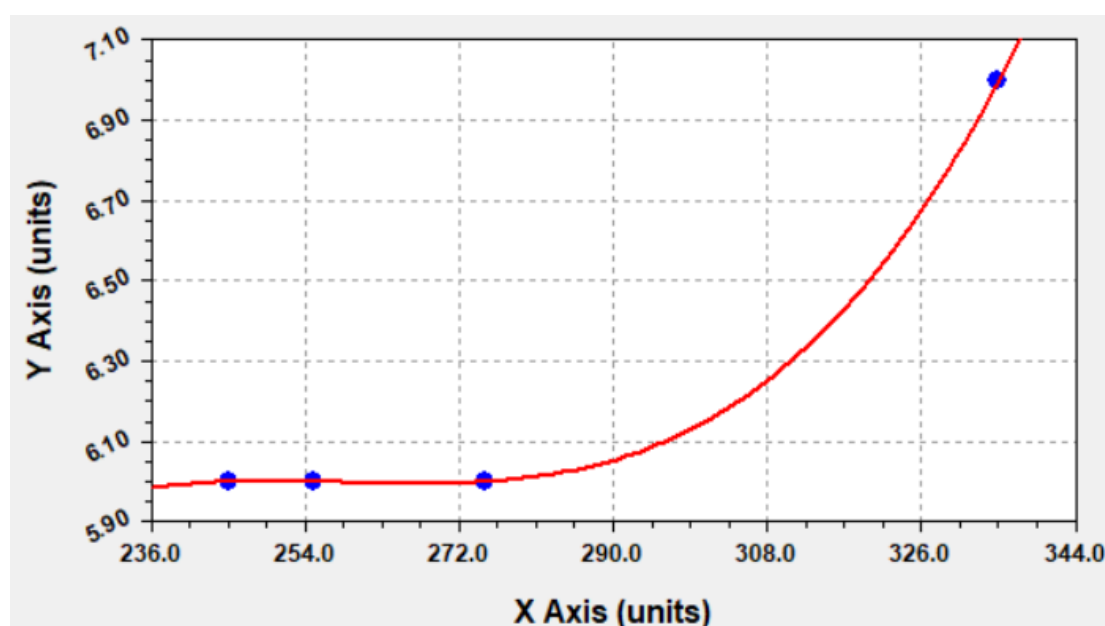
Παρατηρήσεις

Μέσα από τις γραφικές παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το ολικό μήκος των πλοίων (L_{OA}), ο λόγος των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς ολικό μήκος των πλοίων (L_{OA}) μειώνεται (φθίνουσα συνάρτησή), πάρα το γεγονός ότι όσο αυξάνεται το ολικό μήκος των πλοίων (L_{OA}) ενός πλοίου φορτίου χύδην αυξάνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις. Επιπλέον παρατηρούμε ότι τα σημεία μας δεν εφάπτονται και μερικά αποκλίνουν αρκετά από τις καμπύλες (Linear Fit και Power Fit) που σχηματίστηκαν από το πρόγραμμα και αυτό ίσως να οφείλεται και σε μη ακριβής δεδομένα που συλλέχθηκαν.

5.2.4 Μαθηματικές συσχετίσεις του ολικού μήκους των πλοίων (L_{OA}) και των ενεργειακών απαιτήσεων των δεξαμενόπλοιων

Στις γραφικές αυτές ο άξονας των τεταγμένων (άξονας των y) αντικατοπτρίζει το λόγο των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) με μονάδα μέτρησης τα kW/m (kilowatt/meter), ενώ ο άξονας των τετμημένων (άξονας των x) αντικατοπτρίζει το ολικό μήκος του πλοίου (L_{OA}) με μονάδα μέτρησης τα m (meters).

1^η Μαθηματική συσχέτιση (Lagrangian Interpolation)



Lagrangian Interpolation: $y=a+b*x+c*x^2+d*x^3$

Coefficient Data:

$$a = -3.37699652778E+001$$

$$b = 4.62905092593E-001$$

$$c = -1.79398148148E-003$$

$$d = 2.31481481481E-006$$

Παρατηρήσεις

Καλό αποτέλεσμα μας εδώ μόνο μια μαθηματική έκφραση, η Lagrangian Interpolation. Καθώς αυξάνεται το ολικό μήκος των πλοίων (L_{OA}) ενός δεξαμενόπλοιου αυξάνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις όπως και στις άλλες περιπτώσεις. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις μέσα από τη γραφική αυτή παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το ολικό μήκος των πλοίων (L_{OA}), ο λόγος των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς ολικό μήκος των πλοίων (L_{OA}) αυξάνεται και αυτός (αύξουσα συνάρτησή). Ίσως να είναι και πάλι λόγω μη εξακριβωμένων δεδομένων καθώς το λογικό θα ήταν να είχαμε μια φθίνουσα συνάρτηση.

6. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

6.1 Συμπεράσματα

Για την μελέτη της διπλωματικής εργασίας αυτής, συνελέγησαν στοιχεία από σημαντικό αριθμό πλοίων διάφορων τύπων μεγεθών (δεξαμενόπλοια και χύδην φορτίου), διαφόρων ετών κατασκευής και διαφόρων εταιριών και ναυπηγείων.

Έγινε η προσπάθεια να ομαδοποιηθούν ώστε να αναδειχθούν κατά το δυνατόν κοινά χαρακτηριστικά και για αυτό τον λόγο έγιναν διάφορες δοκιμές όσον αφορά την ανεξάρτητη μεταβλητή αναγωγής των ηλεκτρικών αναγκών κατά τον ελλιμενισμό.

Πιο συγκεκριμένα, έγινε η δοκιμή να αναχθούν οι ηλεκτρικές ανάγκες με βάση κάποιες χαρακτηριστικές διαστάσεις των πλοίων που κατά τα τεκμήριο σχετίζονται με τις ανάγκες όπως οι επιμέρους διαστάσεις (πλάτος, μήκος) αλλά και τον όγκο (χωρητικότητα) των πλοίων. Τα στοιχεία που επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από όλα τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα από τα πλοία είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις σε κατάσταση ελλιμενισμού από τα πλοία ξηρού φορτίου χύδην (bulk carriers) και τα δεξαμενόπλοια (tankers), το Deadweight (DWT) και το ολικό μήκος των πλοίων (LOA).

Η ομαδοποίηση των πλοίων με βάση το Deadweight (DWT) έγινε ανά εύρος 10000 t και με βάση το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) έγινε ανά εύρος 10 m. Στη συνέχεια έγινε εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών των πλοίων στο λιμάνι στη μία περίπτωση συναρτήσει του Deadweight (DWT) και στην άλλη περίπτωση συναρτήσει του ολικού μήκους του πλοίου (LOA), μετά από προσπάθεια να βρεθούν συναρτήσεις εκτίμησης μέσω αριθμητικής παρεμβολής.

Οι μαθηματικές συσχετίσεις (εξισώσεις) των ενεργειακών αναγκών των πλοίων και του λόγου των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) ή το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) που σχηματίσαμε είναι αρκετά καλές.

Μέσα από τις εξισώσεις αυτές βγαίνει το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται ο όγκος του πλοίου - Deadweight (DWT) και το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) ο λόγος των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων ως προς το Deadweight (DWT) και το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) μειώνεται (φθίνουσες συναρτήσεις), παρά το γεγονός ότι όσο αυξάνονται το Deadweight (DWT) και το ολικό μήκος του πλοίου (LOA) οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονται και αυτές. Μόνο σε μια περίπτωση η συνάρτηση δεν βγήκε φθίνουσα όπως περιμέναμε, αλλά μάλλον αυτό θα οφείλεται σε ανακρίβη ή και λανθασμένα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τις εταιρίες για τις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων της κατηγορίας αυτής. Για αυτό και συνιστάται να υπάρχουν όργανα μέτρησης στα λιμάνια ώστε να γίνεται σωστή και ακριβής καταμέτρηση των ενεργειακών απαιτήσεων των ελλιμενισμένων πλοίων.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η εργασία αυτή θα μπορούσε να εξελιχθεί περισσότερο, καθώς στη συνέχεια ακολουθούν ορισμένες ιδέες που μπορούν να βοηθήσουν στην περαιτέρω διερεύνηση:

- Να γίνει συλλογή στοιχείων για περισσότερα πλοία διαφόρων μεγεθών ίσως κάνει ακόμη πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη την έρευνα
- Να γίνει ομαδοποίηση ανάλογα και με την ηλικία κατασκευής των πλοίων
- Να γίνει ομαδοποίηση ανάλογα με το αν τα πλοία έχουν συστήματα water ballast treatment, scrubber ή όχι (καθώς τα συστήματα αυτά έχουν αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις)
- Να γίνει παρόμοια δουλειά και για άλλους τύπους πλοίων όπως containerships, κρουαζιερόπλοια, πλοία LNG, πλοία LPG κ.α.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Implementation of cold ironing in modern ports - Case study of cargo vessels
Καρακατσάνης, Βασίλειος; Karakatsanis, Vasileios
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/54132>
<http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.21830>
- Τροφοδότηση των ελλιμενισμένων πλοίων στον λιμένα Πειραιά με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (φωτοβολταϊκά στοιχεία) βάσει της μεθόδου cold ironing
Χατζηπαπάς, Μιχαήλ
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/54916>
<http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.22614>
- Fourth Greenhouse Gas Study 2020
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- «International Organization for Standardization», <https://www.iso.org/home.html>
- SHORE POWER, Global maritime energy efficiency partnerships
<https://glomeep.imo.org/technology/shore-power/>
- DIRECTIVE 2005/33/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 July 2005 amending Directive 1999/32/EC <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:191:0059:0069:EN:PDF>
- An Environmental, Technical and Economical Approach for the Use of Shore-Power in Piraeus Port, Kampylis Panagiotis
- Ηλεκτρικές διασυνδέσεις πλοίων και λιμένων και προοπτικές ενεργειακής αναβάθμισης λιμένων, άρθρο του κ. Ιωάννη Προυσαλίδη
<https://www.electrologos.gr/wp-content/uploads/2021/03/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F-%CE%91%CE%A1%CE%98%CE%A1%CE%9F-%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%91%CE%9B%CE%99%CE%94%CE%97%CE%A3.pdf>
- M. Anastasios, D. Lyridis, J. Prousalidis, et al. “The Maritime Sector in the Electric Energy Markets.” 2023 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), IEEE, 2023, pp. 1–6. DOI.org (Crossref),
<https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC57127.2023.10114842>
- What is Alternate Marine Power (AMP) or Cold Ironing?, Marineinsight
<https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-alternate-marine-power-amp-or-cold-ironing/>

- On Estimating the Port Power Demands for Cold Ironing Applications, ieeexplore
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9512359>
- ΦΟΡΤΗΓΑ ΠΛΟΙΑ, Mycourses NTUA
http://mycourses.ntua.gr/courses/NAVAL1063/document/05_%D6%EF%F1%F4%E7%E3%DC_%D0%EB%EF%DF%E1.pdf
- ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΧΥΔΗΝ ΞΗΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΟΓΚΟΥ,
https://ikee.lib.auth.gr/record/281514/files/%CE%A4%CE%B5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%B7%CC%81%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%B9%CC%81%CE%B1_%CE%9A%CE%BF%CC%81%CF%84%CE%B9%CE%BF%CF%82_5000.pdf
- Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΩΝ,
<https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/3027/Kalara.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- IIIEE Theses 2013: 29
<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=4092898&fileId=4092899>
- DNV-CARBS-Vessels-at-Berth-Regulation-Emissions-Control-Technology-Assessment-for-Tankers-2022_06, DNV
- INTERNATIONAL STANDARDIZATION IN THE DESIGN OF “SHORE TO SHIP” - POWER SUPPLY SYSTEMS OF SHIPS IN PORT
https://www.researchgate.net/publication/322674277_International_Standardization_in_the_Design_of_Shore_to_Ship_-_Power_Supply_Systems_of_Ships_in_Port
- Why are Transformer and Alternator Ratings in kVA on Ships?, Marineinsight
<https://www.marineinsight.com/marine-electrical/why-are-transformer-and-alternator-ratings-in-kva-on-ships/>
- The Past, Present, and Future of Shore Power, Port of Seattle
<https://www.portseattle.org/blog/past-present-and-future-shore-power>
- Cable and pipe transits for marine industries, Roxtec
<https://www.roxtec.com/en/industries/marine/>
- MEDIUM VOLTAGE SWITCHGEAR, RB Marine
<https://www.rb-marine.com/medium-voltage-switchgear/>
- Motorised Reels, CAVOTEC
<https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/crane-electrification/ertg/product-motorized-reels>

- Wärtsilä SAMCon High Voltage Shore Connection System
https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/ps/brochure-o-ea-pcd-shore-connection-system.pdf?sfvrsn=ccb18d45_4
- Βοηθητικές συνδέσεις στο λιμάνι Μέρος 3 : Συστήματα σύνδεσης χαμηλής τάσης στην ακτή (LVSC) – Γενικές απαιτήσεις, ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ IEC PAS 80005-3