



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

Τμήμα Ναυτιλίας και
Βιομηχανικής

Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
& ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών

Σχεδίασης και Παραγωγής



ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος Διατριβής:

*“Βελτιστοποίηση συστήματος διαχείρισης ισχύος πλοίου με ανάπτυξη
μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης”*

Τίτλος Αγγλικά:

“Power management system optimization with artificial intelligence”

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:

Δαδιώτης Φώτιος

Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

Νικολάου Γρηγόριος

ΜΑΙΟΣ 2020



ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Δαδιώτης Φώτιος, του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 21 φοιτητής του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμήματος «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Διπλωματικής Διατριβής μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

- Η Διπλωματική Διατριβή (Δ.Δ.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και των Ιδρυμάτων και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.
- Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Δ.Δ., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.
- Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που του έχει απονεμίσει ο μεταπτυχιακός τίτλος, αυτός ανακαλείται με απόφαση της Ε.Δ.Ε. του ΠΜΣ. Η Ε.Δ.Ε. με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Δ.Δ. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Δ.Δ. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στον Κανονισμό Λειτουργίας του Π.Μ.Σ..

Ο Δηλών
ΔΑΔΙΩΤΗΣ ΦΩΤΙΟΣ

Ημερομηνία
29/5/2020



Περιεχόμενα Εργασίας

1.	Περιγραφή Διατριβής.....	- 5 -
1.1	Σκοπός Διατριβής	- 5 -
1.2	Δομή Διατριβής	- 6 -
1.3	Αρκτικόλεξα.....	- 7 -
2.	Περιγραφή Μελετούμενου Σκάφους Αναψυχής (Model Yacht Description)	- 8 -
2.1	Γενικά Χαρακτηριστικά.....	- 8 -
2.2	Εσωτερικοί χώροι (Internal Amenities and facilities).....	- 8 -
2.2.1	Εγκαταστάσεις Διαμονής (Accommodation Facilities)	- 8 -
2.2.2	Εγκαταστάσεις & Εξοπλισμός Αναψυχής (Entertainment Facilities and Equipment)	- 8 -
2.3	Πλήρωμα (Crew).....	- 9 -
2.3.1	Πλήρωμα Καταστρώματος.....	- 10 -
2.3.2	Πλήρωμα Μηχανής.....	- 10 -
2.3.3	Βοηθητικό Προσωπικό.....	- 11 -
3.	Σύστημα Παροχής Ισχύος (Power Distribution).....	- 11 -
3.1	Πηγές Ισχύος (Power Sources).....	- 12 -
3.1.1	Κύριες Ηλεκτρογεννήτριες (Main Generators)	- 12 -
3.1.2	Ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης (Emergency Generator)	- 15 -
3.1.3	Παροχή Συνεχούς Τάσης (DC voltage supply from batteries)	- 17 -
3.1.4	Εξωτερική Παροχή Στεριάς (Shore connection)	- 18 -
3.2	Κυρίως Πίνακας Σκάφους (Main switchboard).....	- 18 -
3.2.1	Πεδίο παραλληλισμού (Synchronization Panel)	- 19 -
3.2.2	Πίνακας ελέγχου ηλεκτρογεννήτριας (Generator Control Panel)	- 21 -
3.2.3	Πίνακας παροχής ισχύος φορτίων 400 Volt (400V Feeder Panel)	- 22 -
3.3	Εγκατεστημένα Φορτία (Loads)	- 23 -
3.3.1	Συνθήκες Επιλογής Εγκατεστημένων Φορτίων	- 23 -
3.3.2	Κατηγορίες Εγκατεστημένων Φορτίων	- 25 -
3.4	Σύστημα Διαχείρισης Ισχύος (Power management system).....	- 29 -



3.4.1	Αποτελούμενα Μέρη (Hardware).....	29 -
3.4.2	Πρόγραμμα PMS (Software).....	33 -
3.5	Ανάλυση Περιπτώσεων Ζήτησης Ισχύος.....	35 -
3.5.1	Ζήτηση ισχύος κατά την πλεύση.....	38 -
3.5.2	Ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια της διαδικασίας πρόσδεσης/απόπλου του σκάφους.....	48 -
3.5.3	Ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια της παραμονής του σκάφους στην μαρίνα.....	54 -
4.	Ανάλυση δεδομένων με χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου.....	60 -
4.1	Εισαγωγή στη μηχανική μάθηση.....	60 -
4.2	Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.....	60 -
4.2.1	Βασικά χαρακτηριστικά τεχνητών νευρωνικών δικτύων.....	60 -
4.3	ΤΝΔ πρόβλεψης κατανάλωσης ισχύος.....	64 -
4.3.1	Ανάλυση Δεδομένων Εισόδου.....	64 -
4.3.2	Εισαγωγή δεδομένων στο MATLAB.....	66 -
5.	Συμπεράσματα.....	76 -
6.	Πίνακας Εικόνων.....	77 -
7.	Βιβλιογραφία.....	78 -



1. Περιγραφή Διατριβής

1.1 Σκοπός Διατριβής

Σκοπός της διατριβής είναι η κατανόηση του συστήματος παροχής ισχύος ενός σκάφους αναψυχής και η βελτιστοποίηση της απόδοσης του. Για να επιτευχθεί η ακριβέστερη προσέγγιση του θέματος θα υπάρξουν κάποιες παραδοχές που θα αφορούν τα δεδομένα που θα ληφθούν από το σκάφος.

Επιπλέον, στόχος της παρούσας διατριβής είναι και η μακροπρόθεσμη μείωση των δαπανών για επισκευές και ανταλλακτικά των κυρίως ηλεκτρογεννητριών του πλοίου. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα θα επιτευχθεί από την πιο επιλεκτική χρησιμοποίησή τους, καθώς και με σωστή εναλλαγή μεταξύ τους.

Τα στοιχεία που χρειάζονται για την παρούσα εργασία έχουν παρθεί από σκάφος αναψυχής κατασκευής 2018, μέσω συστήματος διαχείρισης ισχύος (power management system). Τα δεδομένα που ληφθήκαν οδήγησαν στην δημιουργία μοτίβων τα οποία μπορούν να υπολογίσουν και αυτόματα να έχουν μελλοντικά την δυνατότητα να εκτελέσουν, με την βοήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ισχύος, ενέργειες για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος παραγωγής ενέργειας.

Στην παρούσα διατριβή θα δοθεί έμφαση στην παράλληλη λειτουργία των δυο ηλεκτρογεννητριών του σκάφους, όπως επίσης και στο διαμοιρασμό των φορτίων ενώ θα μελετηθούν και ιδιαίτερες περιπτώσεις όπως πλοήγηση με κακοκαιρία, πλοήγηση με ή χωρίς φιλοξενούμενους και άλλες πιθανές περιπτώσεις.

Τέλος, θα αναπτυχθεί ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο με σκοπό την πρόβλεψη της κατανάλωσης ισχύος και την καλύτερη διαχείριση της εγκατάστασης υπό οποιαδήποτε συνθήκη.



1.2 Δομή Διατριβής

Στο πρώτο κεφάλαιο της διατριβής, θα γίνει περιγραφή του συστήματος παροχής ισχύος του σκάφους που θα μελετηθεί. Αναλυτικότερα, θα γίνει παρουσίαση των κύριων ηλεκτρογεννητριών και των χαρακτηριστικών τους, ώστε να μπορεί να είναι ξεκάθαρα τα χαρακτηριστικά εκείνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί. Στην συνέχεια, θα παρουσιαστούν όλα τα φορτία που τροφοδοτούνται από το κυρίως σύστημα παροχής ισχύος του πλοίου και θα εξεταστούν οι επιμέρους λεπτομέρειες που αφορούν καθένα από τα φορτία όπως π.χ. συχνές εκκινήσεις, πιθανές ανωμαλίες στην λειτουργία, φορτία με ειδικές απαιτήσεις κ.α.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, θα παρουσιαστεί το σύστημα διαχείρισης ισχύος (power management system) το οποίο έχει και λειτουργικό σκοπό καθώς ελέγχει τις ηλεκτρομηχανές αλλά παρέχει και πληροφορίες στον χειριστή για την κατάσταση ολόκληρου του συστήματος παροχής ισχύος του πλοίου. Επιπρόσθετα, θα γίνει ανάλυση των διαφόρων περιπτώσεων που θα μπορεί να γίνει η βελτιστοποίηση όπως πλοήγηση με κακοκαιρία, πλοήγηση με ή χωρίς φιλοξενούμενους και θα παρουσιαστούν τα δεδομένα τα οποία έχουν συγκεντρωθεί για κάθε σενάριο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, θα γίνει η ανάλυση των δεδομένων που έχουν ληφθεί από την ανάπτυξη του μοντέλου μηχανικής μάθησης ώστε να εντοπιστούν οι χειρισμοί που μπορούν να κάνουν ολόκληρο το σύστημα διαχείρισης ακόμα πιο αποδοτικό.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα της διατριβής και θα συνοψιστούν οι προτεινόμενες αλλαγές.



1.3 Αρκτικόλεξα

TND → Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο

ΑΟΛ → Αλγόριθμος Οπισθοδιάδοσης Σφάλματος

PMS → Power Management System

PLC → Programmable logic unit

CPU → Central Processing Unit

E/G → Emergency Generator

M/G → Main Generator

S/C → Shore Connection

IMO → International Maritime Organization

ESB → Emergency Switchboard

MSB → Main Switchboard

HVAC → Heating, Ventilation and Air Condition

V/T → Voltage Transformer

C/T → Current Transformer

MCCB → Molded Case Circuit Breaker

E/R → Engine Room

N/B → Navigation Bridge

STCW → International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers



2. Περιγραφή Μελετούμενου Σκάφους Αναψυχής (Model Yacht Description)

2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Το σκάφος αναψυχής που θα μελετηθεί στην εργασία είναι κατασκευής 2018, ναυπηγημένο στην Ελλάδα και το μοντέλο που ακολουθεί είναι σχεδιασμένο ειδικά για τις απαιτήσεις της περίπτωσης (custom).

Ορισμένα στοιχεία που είναι σημαντικό να αναφερθούν είναι τα παρακάτω:

- Το σκάφος αναψυχής διαθέτει σημαία Μάλτας και είναι πιστοποιημένο από τον Γαλλικό νηογνώμονα Bureau Veritas.
- Έχει μήκος 85 μέτρα (278.87 πόδια), πλάτος 13.8 μέτρα (45.28 πόδια) και βύθισμα περίπου 3.6 μέτρα (11.81 πόδια).
- Το μικτό βάρος του (gross tonnage) ανέρχεται στους 2350 τόννους.
- Μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα έως και 18 κόμβους, ενώ η ονομαστική ταχύτητα πλεύσης του είναι στους 16 κόμβους.
- Οι περιοχές που μπορεί να προσδέσει, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, και να ταξιδέψει είναι η Μεσόγειος (Γαλλία, Ελλάδα, Μονακό, Μαυροβούνιο, Τουρκία) και ειδικότερα οι συνήθεις προορισμοί είναι οι Κάννες, η Γαλλική Ριβιέρα, η Ιταλική Ριβιέρα, η Μύκονος, το Πορτοφίνο, η Σαντορίνη, η Σαρδινία, το Σεντ Τροπέζ και άλλα. Κατά την χειμερινή περίοδο, το σκάφος αναψυχής μπορεί να επισκεφθεί νησιά της Καραϊβικής (Αντίγκουα, Κούβα, Άγιος Μαρτίνος, Άγιο Βαρθολομαίο κ.α.), τις Μαλδίβες, τις Σεϋχέλλες και άλλα μέρη κατόπιν συνεννόησης ναυλωτή και ιδιοκτήτη.

2.2 Εσωτερικοί χώροι (Internal Amenities and facilities)

2.2.1 Εγκαταστάσεις Διαμονής (Accommodation Facilities)

Στο εσωτερικό του μελετούμενου σκάφους αναψυχής μπορούν να φιλοξενηθούν έως και 12 φιλοξενούμενοι σε 11 διαφορετικά δωμάτια. Αναλυτικότερα, υπάρχουν ένα δωμάτιο διακεκριμένων φιλοξενούμενων (VIP guest room), έξι καμπίνες των δυο ατόμων, δυο καμπίνες που μπορούν να εξυπηρετήσουν έναν φιλοξενούμενο καθώς και μια καμπίνα η οποία μετά από κατάλληλη διαμόρφωση θα μπορούσε να φιλοξενήσει παραπάνω από δυο φιλοξενούμενους.

2.2.2 Εγκαταστάσεις & Εξοπλισμός Αναψυχής (Entertainment Facilities and Equipment)

Εντός του σκάφους αναψυχής, οι επιλογές για την αναψυχή των φιλοξενούμενων είναι πολλές και ποικίλες, καλύπτοντας μια ευρεία κλίμακα προτιμήσεων των φιλοξενούμενων του σκάφους.



Ανάμεσα στις επιλογές που μπορούν να έχουν οι φιλοξενούμενοι είναι τα παρακάτω:

- Ελικοδρόμιο
- Πισίνα και Σπα
- Πλήρως εξοπλισμένο γυμναστήριο
- Εγκαταστάσεις για Μπάρμπεκιου
- Ανελκυστήρας που καλύπτει και τα τέσσερα καταστρώματα του σκάφους
- Δορυφορική σύνδεση
- Δωμάτιο Σάουνας

Επίσης, το σκάφος αναψυχής είναι εξοπλισμένο με ένα βοηθητικό σκάφος αναψυχής 9.75 μέτρων (31.99 πόδια) το οποίο διαθέτει δυο εσωλέμβιες μηχανές συνολικής απόδοσης 440 ίππων, ένα φουσκωτό 6 μέτρων (19.69 πόδια) εξοπλισμένο με μια εξωλέμβια μηχανή 110 ίππων και δυο ατομικά ταχύπλοα (Jet Ski) απόδοσης 60 ίππων.

Τέλος, το σκάφος διαθέτει ποικιλία φουσκωτών που χρησιμοποιούνται για θαλάσσια σπορ (water sports) όπως ράμπες, πισίνες που επιπλέουν, κανόε καγιάκ, θαλάσσιο τραμπολίνο κ.α.

2.3 Πλήρωμα (Crew)

Για να διασφαλιστεί η ασφαλής πλεύση του σκάφους καθώς και η εξυπηρέτηση των φιλοξενούμενων το σκάφος διαθέτει πλήρωμα έως και 26 ατόμων. Αναλυτικότερα, σε ένα σκάφος μεγαλύτερο των 24 μέτρων, σύμφωνα με τους κανονισμούς (Malta Transport Centre, 2010), θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν ορισμένοι παράγοντες:

- I. Το μικτό βάρος του σκάφους (Gross Tonnage)
- II. Η εγκατεστημένη ισχύς πρόωσης του σκάφους (Main Propulsion Power)
- III. Διάρκεια ταξιδιού με φιλοξενούμενους (Length of Voyages)
- IV. Συχνότητα ελλιμενισμών (Frequency of Port Calls)
- V. Περιοχές και χρονική περίοδος λειτουργίας του σκάφους (Environmental Conditions and Time of Year Operation)
- VI. Μέγεθος Σκάφους (Yacht's Size)
- VII. Ηλικία Σκάφους (Yacht's Age)
- VIII. Τύπος Σκάφους (Yacht's Type)
- IX. Εξοπλισμός και Αυτοματισμοί Σκάφους (Yacht's Equipment and Automation)
- X. Τύπος Κατασκευής και Εξοπλισμού εντός Σκάφους (Yacht's Type of Construction and Equipment on board)
- XI. Απαιτήσεις Συμμόρφωσης με τα Πρότυπα Εκπαίδευσης, Πιστοποίησης και Τήρησης Βαρδιών για Ναυτικούς (STCW Requirements)
- XII. Επάρκεια ανθρωπίνου προσωπικού και εξοπλισμού ώστε να διατηρηθεί ένα ασφαλές επίπεδο λειτουργίας σε περιπτώσεις ανάγκης όπως την περίπτωση που θα χρειαστεί να συγκεντρωθούν και να αποβιβαστούν οι φιλοξενούμενοι από το σκάφος. (Yacht's operational requirements and the minimum number of crew required to maintain a safe operational level for the crew and to handle emergency situations and disembark the passengers)



XIII. Διασφάλιση ύπαρξης μιας ασφαλούς βάρδιας για τους μηχανικούς και ασφαλούς λειτουργίας των μηχανημάτων του σκάφους. (Maintain a safe engineering watch and operate the ship's machinery in a safe manner.)

Πιο συγκεκριμένα, στο πλήρωμα του σκάφους ανήκουν οι παρακάτω:

2.3.1 Πλήρωμα Καταστρώματος

- Πλοίαρχος (Yacht Captain): Για να είναι κάποιος πλοίαρχος στο μελετούμενο σκάφος αναψυχής θα πρέπει να έχει εκτενή και επιβεβαιωμένη εμπειρία από ναυσιπλοΐα σκαφών μεγαλύτερων από 24 μέτρα. Μερικές τυπικές ευθύνες του καπετάνιου είναι ότι είναι υπεύθυνος για το υπόλοιπο προσωπικό καθώς και για τους φιλοξενούμενους, όντας το μέλος του πληρώματος που παίρνει τις αποφάσεις για οποιοδήποτε ζήτημα αφορά το σκάφος.
- Ύπαρχος (First Officer): Ο ύπαρχος είναι ο δεύτερος στην ιεραρχία του σκάφους και είναι υπεύθυνος για όλο το πλήρωμα καταστρώματος καθώς και για την παρακολούθηση των εργασιών αυτού. Συνήθως, αρκετές αρμοδιότητες μεταφέρονται από τον πλοίαρχο στον ύπαρχο.
- Υποπλοίαρχος (Second Officer): Ο υποπλοίαρχος είναι ο τρίτος στην ιεραρχία μετά τον ύπαρχο και συνήθως επωμίζεται ευθύνες όπως η ασφάλεια του σκάφους ενώ στελεχώνει και τις καθημερινές βάρδιες του σκάφους.
- Ανθυποπλοίαρχος (Third Officer): Ο ανθυποπλοίαρχος είναι ο τελευταίος αξιωματικός της ιεραρχίας και εκτός από την στελέχωση των βαρδιών του σκάφους ασχολείται και με εργασίες που το ανατίθενται από τον πλοίαρχο.
- Λοστρόμος (Bosun): Ο λοστρόμος συνήθως είναι ένας έμπειρος ναύκληρος, ο οποίος και είναι υπεύθυνος για όλες τις εργασίες που αφορούν την καθοδήγηση των ναυτών και την συντήρηση των υποδομών του σκάφους.
- Ναύτης (Deckhand/Able Seaman): Οι ναύτες είναι υπεύθυνοι στο να είναι το σκάφος αναψυχής σε άψογη κατάσταση. Μερικές αρμοδιότητες τους είναι η καθαριότητα, το γυάλισμα, η συντήρηση των βοηθητικών λέμβων κ.α. Στο μελετούμενο σκάφος αναψυχής το πλήθος των ναυτών μπορεί να ανέλθει μέχρι και τους επτά, αναλόγως την κατάσταση του σκάφους και το πλήθος των φιλοξενούμενων.

2.3.2 Πλήρωμα Μηχανής

- Πρώτος Μηχανικός (Chief Engineer): Ο πρώτος μηχανικός είναι υπεύθυνος για τις κύριες μηχανές και για τους βοηθητικούς μηχανισμούς του σκάφους αναψυχής και αναφέρει στον πλοίαρχο προβλήματα κατά τον πλου.
- Δεύτερος Μηχανικός (Second Engineer): Ο δεύτερος μηχανικός είναι ο δεύτερος στην ιεραρχία του προσωπικού μηχανής και είναι υπεύθυνος για την συντήρηση όλων των μηχανημάτων που βοηθούν στην πλεύση καθώς και στις γενικές λειτουργίες του σκάφους αναψυχής.



- Τρίτος Μηχανικός (Third Engineer): Ο τρίτος μηχανικός είναι υπεύθυνος για την στελέχωση των βαρδιών της μηχανής καθώς και για διάφορες εργασίες συντήρησης του σκάφους.
- Ηλεκτρολόγος (Electrical Officer): Ο ηλεκτρολόγος είναι υπεύθυνος για τα ηλεκτρικά συστήματα που είναι υπεύθυνα τόσο για την πρόωση του πλοίου καθώς και για την διαμονή των φιλοξενούμενων του σκάφους.

2.3.3 Βοηθητικό Προσωπικό

- Μάγειρας (Chef): Ο ρόλος του μάγειρα είναι να μαγειρεύει τόσο για το προσωπικό, καθώς και τους φιλοξενούμενους. Συχνό είναι το φαινόμενο, σε σκάφη αναψυχής όπως το υπό μελέτη, οι φιλοξενούμενοι να έχουν τον προσωπικό τους μάγειρα ο οποίος και συνεργάζεται με το πλήρωμα.
- Βοηθός Μάγειρα (Second Chef): Ο βοηθός μάγειρα είναι υπεύθυνος για τις παραγγελίες τροφίμων καθώς και για την καθαριότητα της κουζίνας του σκάφους.
- Αρχιθαλαμηπόλος (Chief Steward): Η αρχιθαλαμηπόλος είναι υπεύθυνη για την καθαριότητα όλων των χώρων του σκάφους, το σερβίρισμα των καλεσμένων κ.α.
- Θαλαμηπόλος (Steward): Οι αρμοδιότητες των θαλαμηπόλων εναπόκεινται στην αρχιθαλαμηπόλο. Στο συγκεκριμένο σκάφος αναψυχής, υπάρχουν τρεις θαλαμηπόλοι.

3. Σύστημα Παροχής Ισχύος (Power Distribution)

Ένα σύστημα παροχής ισχύος σε ένα πλοίο έχει ως σκοπό την ασφαλή μεταφορά ισχύος σε κάθε υποσύστημα το οποίο είναι συνδεδεμένο μαζί του. Δεδομένης της φύσης της ηλεκτρικά παραγόμενης ισχύος σε ένα σκάφος με την χρήση σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών, αρκετοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψιν ώστε να υπάρξει αδιάκοπη διαθεσιμότητα σε ισχύ.

Λόγω της σημασίας της ηλεκτρικής ισχύος για την ναυσιπλοΐα του σκάφους, για την επιβίωση των επιβαινόντων το πλοίο απαιτεί την ύπαρξη υποδομών παραγωγής, εγκαταστάσεις μέσω των οποίων μπορεί να γίνει ασφαλής υποβιβασμός και διανομή της ισχύος και στους επιμέρους εκάστοτε καταναλωτές.

Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, το σύστημα παροχής ισχύος πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

1. Με την χρήση των κυρίως πηγών ισχύος, να επικρατούν συνθήκες αξιοπλοΐας του σκάφους καθώς και να διασφαλίζονται επιτρεπτές συνθήκες διαβίωσης εντός του σκάφους.
2. Η εξασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας όλων των εγκατεστημένων φορτίων τα οποία είναι ζωτικής σημασίας κατά την διάρκεια περιστατικού έκτακτης ανάγκης



3. Η πρόβλεψη του ότι κάθε σημείο της γενικής εγκατάστασης του πλοίου διαθέτει τις απαραίτητες ασφαλιστικές διατάξεις ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια όλων των επιβαινόντων στο σκάφος.

3.1 Πηγές Ισχύος (Power Sources)

Οι πηγές ισχύος που συνήθως υπάρχουν σε ένα σκάφος είναι:

1. Κύριες ηλεκτρογεννήτριες (main generators)
2. Γεννήτρια εκτάκτου ανάγκης (emergency generator)
3. Παροχή συνεχούς τάσης από συσσωρευτές (DC voltage supply from batteries)

3.1.1 Κύριες Ηλεκτρογεννήτριες (Main Generators)

Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα πλοία είναι σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και συνηθίζεται η εγκατάσταση τους να γίνεται στον χώρο του μηχανοστασίου, σε χώρο που περικλείεται από υδατοστεγή διαχωριστικά. Οι κυρίως ηλεκτρογεννήτριες, που στην περίπτωση του μελετούμενου σκάφους είναι δυο μεταξύ τους ανεξάρτητες και αποτελούν την κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος. (DNV GL SE, 2016)

Η σύγχρονη γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική εναλλασσόμενου ρεύματος, για αυτό και στην βιβλιογραφία αναφέρεται συχνά ως ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα. (Thompson, 2011) Για να υπάρξει όμως αυτή η μετατροπή, καθοριστική είναι η ύπαρξη είτε ενός στροβίλου π.χ. κινούμενος από ατμό (steam turbine), υδραυλικός (hydraulic turbine) είτε μίας εμβολοφόρου μηχανής εσωτερικής καύσης π.χ. πετρελαιοκινητήρας (diesel engine), κινητήρας τροφοδοτούμενος από φυσικό αέριο (natural gas engine) κ.α. Σε κάθε περίπτωση, όποιο και αν είναι το μηχανικό μέρος συνδέεται, με την χρήση ενός ευθυγραμμισμένου άξονα, με τον ρότορα, που αποτελεί το κινητό μέρος του ηλεκτρικού μέρους του συστήματος. (Champan, 2012)

Στις σύγχρονες γεννήτριες, ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγεται από μόνιμους μαγνήτες που είναι εγκαταστημένοι στον ρότορα, ο οποίος περιστρέφεται παράγοντας το προαναφερθέν μαγνητικό πεδίο. Από το μαγνητικό πεδίο αυτό, επαγωγικά, στα τυλίγματα του στάτη της γεννήτριας δημιουργείται τριφασική τάση. (Caterpillar, 2017) Η σύγχρονη ταχύτητα του συστήματος ορίζεται από το πλήθος των πόλων που είναι εγκατεστημένοι στον στάτορα.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, μια ηλεκτρογεννήτρια καθώς και το σύστημα διέγερσης της ορίζεται να έχουν την δυνατότητα να:

- Αντέχουν ρεύμα σε περίπτωση βραχυκυκλώματος τιμής $I_{cu} = 6 * I_n$, δηλαδή έξι φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό (στην περίπτωση μας το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι 3120 Amperes) για χρονικό διάστημα δυο δευτερολέπτων, χωρίς να προκαλείται ζημιά στην ηλεκτρογεννήτρια



- Επιφορτιστούν 1,5 φορές το ονομαστικό τους ρεύμα (δηλαδή 780 Amperes) για χρονικό διάστημα δυο λεπτών και να διατηρούν την ονομαστική τους τάση (400V)
- Σε κανονική λειτουργία, όταν η παροχή ισχύος γίνεται από μια ηλεκτρογεννήτρια, η τιμή της τάσης δικτύου δεν πρέπει να μειωθεί κάτω από το -15% (στην περίπτωση μας το κατώτερο όριο είναι τα 340 Volt) και να μην αυξηθεί πάνω από 20% (στην περίπτωση μας 480 Volt) κατά την εκκίνηση ή την απότομη παύση συμμετρικών φορτίων που είναι εγκατεστημένα στο πλοίο.

Στην εγκατάσταση του πλοίου που θα μελετηθεί, οι εγκατεστημένες γεννήτριες είναι το μοντέλο Cat C18 ACERT Marine Generator Set της Caterpillar. Τα δυο εγκατεστημένα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν παράλληλα και να τροφοδοτήσουν όλες τις εγκαταστάσεις του πλοίου. Σημαντική είναι η σημείωση ότι από το αυτόματο σύστημα διαχείρισης ισχύος, που θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω, γίνεται εναλλαγή μεταξύ των ηλεκτρογεννητριών λόγω της καταπόνησης που δέχονται και ώστε να επιτευχθεί ισομερής κατανομή των ωρών λειτουργίας.



Εικόνα 1. Πλαϊνή όψη ηλεκτρογεννήτριας C18

Specifications		
Generator Set Specifications		
Minimum Rating		330 ekW (418 kVA)
Maximum Rating		450 ekW (563 kVA)
Frequency		50 Hz or 60 Hz
Speed		1500 rpm (50 Hz) or 1800 rpm (60 Hz)
Generator Set Configurations		
Emissions/Fuel Strategy		IMO II
Engine Specifications		
Engine Model		In-line 6, 4-Stroke-Cycle Diesel
Configuration		In-line 6, 4-Stroke-Cycle Diesel
Aspiration		TA, TTA
Bore	145 mm	5.7 in
Stroke	183 mm	7.2 in
Displacement	18.1 L	1106 in ³
Rotation (from flywheel end)		Counterclockwise
Dimensions & Weights		
Length	3040 mm	119.7 in
Width	1547 mm	60.9 in
Height	1684 mm	66.3 in
Weight	9713 kg	4406 lb

Εικόνα 2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά C18



Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2, η ηλεκτρογεννήτριες του σκάφους αναψυχής έχουν ονομαστική ισχύ 360 kW, ονομαστική τάση 400 V, ονομαστικό ρεύμα 520 A και συχνότητα 50 Hz στις 1500 στροφές ανά λεπτό.

CONTROL SYSTEM

- If an EMCP panel or MGCP option is not chosen as optional equipment, then start/stop controls must be provided by the customer
- Programmable low idle
- Electronic diagnostics and fault logging
- Engine Protection Mode for extended ambient conditions - EPA Tier 3 Ratings Only
- Electronic fuel/air ratio control

Εικόνα 3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά C18

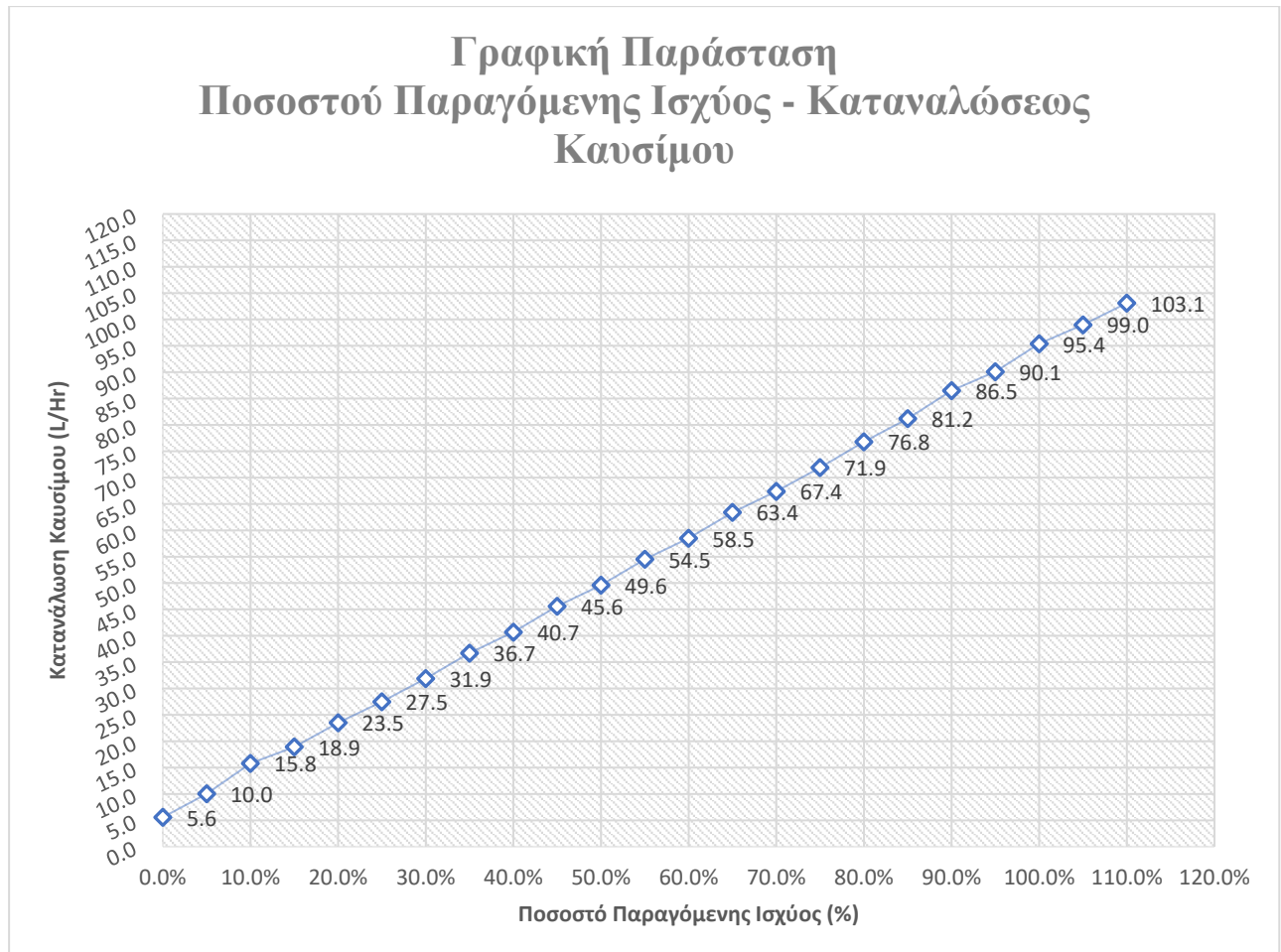
GENERATORS AND GENERATOR ATTACHMENTS

- SR4B Random Wound
- Permanent Magnet Excitation
- 12 leads
- Generator set package includes Caterpillar's Digital Voltage Regulator (CDVR)
- Marine Class H insulation, Class F temperature rise
- Surface mount platinum bearing and stator RTD's
- Anti-condensation space heaters (120/240VAC, 300W, 2 elements)

Εικόνα 4. Τεχνικά Χαρακτηριστικά C18

Από τις εικόνες 3 και 4, πρέπει να ληφθούν υπόψιν ότι οι γεννήτριες έχουν σύστημα μόνιμων μαγνητών για διέγερση, καθώς και ότι και η αναλογία καυσίμου και αέρα αλλά και η τάση εξόδου ρυθμίζονται με ηλεκτρονικούς ρυθμιστές ακριβείας, επιτρέποντας επιπλέον ρυθμίσεις για να επιτευχθεί πιο αποδοτική χρήση των ηλεκτρογεννητριών. (Caterpillar, Manual for Cat C18 ACERT Marine Generator Set, 2017)

Ένα επιπλέον κύριο στοιχείο για τις ηλεκτρογεννήτριες είναι η κατανάλωση καυσίμου. Από την κατανάλωση καυσίμου, για δοσμένες τιμές απαιτούμενης ισχύος, θα προκύψουν αποτελέσματα για την τελική διαμόρφωση του μοντέλου.



Εικόνα 5. Γραφική Παράσταση Καταναλώσεων – Ισχύος Κυρίων Ηλεκτρογεννητριών

Στη παραπάνω γραφική παράσταση, παρατηρείται η αύξηση της καταναλώσεως καυσίμου σε σχέση με το ποσοστό παραγόμενης ισχύος.

Σε κάθε στιγμή, η ηλεκτρογεννήτρια διατηρεί σταθερές στροφές και μπορεί να ανταπεξέλθει μέσω του ρυθμιστή της παροχής καυσίμου. Ο ρυθμιστής διατηρεί τις στροφές σταθερές, με γρήγορη απόκριση, και επηρεάζει την συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος, η οποία λόγω των αλλαγών ανάμεσα στην ζήτηση και την παραγωγή ισχύος τείνει να μειώνεται και να πέφτει κάτω από την επιθυμητή τιμή των 50Hz. (Mobarak, 2015)

3.1.2 Ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης (Emergency Generator)

Στην εγκατάσταση του σκάφους αναφυχής που μελετάμε, καθώς και σε όλες τις πλωτές κατασκευές τέτοιου μεγέθους είναι επιτακτική η ύπαρξη μια ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης (emergency generator). Η E/G είναι σχεδιασμένη ώστε να λειτουργεί ανεξάρτητα με τις



κυρίως ηλεκτρογεννήτριες, εγκαθίσταται σε διαφορετικό χώρο από τις κυρίως ηλεκτρογεννήτριες, συνήθως πάνω από το επίπεδο του καταστρώματος στεγανών (bulkhead deck) στο επίπεδο της υπερκατασκευής (accommodation deck). Η επιλογή της εγκατάστασης της ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης γίνεται ώστε σε περίπτωση πυρκαγιάς, πλημμύρας ή άλλης καταστροφής στον χώρο που βρίσκονται οι κυρίως ηλεκτρογεννήτριες να μην υπάρχει επιπλοκή στη λειτουργία της ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης.

Η E/G είναι μια γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη με μια μηχανή diesel, για εύκολη και γρήγορη εκκίνηση, και έχει αρκετή ισχύ ώστε να τροφοδοτήσει τα απαραίτητα κυκλώματα όπως το σύστημα του πηδαλίου (steering gear), τα συστήματα της γέφυρας όπως το ραντάρ και τα συστήματα τηλεπικοινωνίας, μια αντλία πυρόσβεσης, φώτα ανάγκης κ.α. Αυτά τα φορτία βρίσκονται σε ένα μικρό πεδίο παροχής ισχύος ανάγκης (emergency switchboard) το οποίο είναι εγκατεστημένο στον ίδιο χώρο με την ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης. (Taylor, 1996)

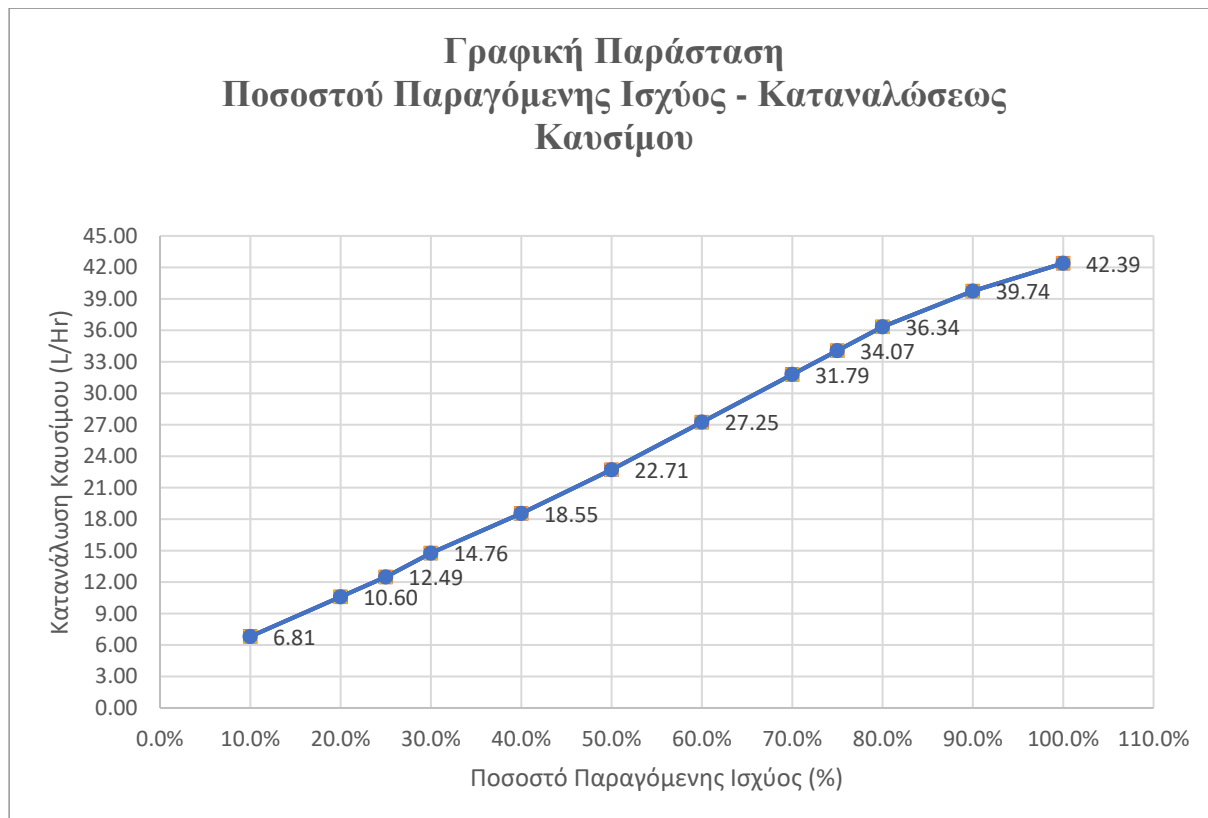
Ο κύριος λόγος που υπάρχει εγκατεστημένη η ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης είναι η επανεκκίνηση από την νεκρή κατάσταση των κυρίως συστημάτων του πλοίου και πρέπει να μπορεί να εκκινήσει ακόμα και όταν το σκάφος έχει κλίση $22,5^\circ$ ή διαμήκη κλίση 10° . (DNV GL SE, Ιανουάριος 2018)

Στο σκάφος αναψυχής που μελετούμε, ο τύπος της E/G είναι C7.1 ACERT και είναι κατασκευασμένη από την Caterpillar. Η συγκεκριμένη ηλεκτρογεννήτρια έχει ισχύ 143 kW, ονομαστική τάση 400V, ονομαστικό ρεύμα 206 A και συχνότητα 50 Hz στις 1500 στροφές ανα λεπτό. (Caterpillar, Manual for Cat C7.1 ACERT Industrial Engine, 2011)



Εικόνα 6. Πλαϊνή όψη ηλεκτρογεννήτριας C7.1 ACERT

Για την ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης, ισχύει διαφορετική γραφική παράσταση που ορίζει την σχέση κανάλωσης καυσίμου και ποσοστού παραγόμενης ισχύος.



Εικόνα 7. Γραφική Παράσταση Καταναλώσεων - Ισχύος Ηλεκτρογεννήτριας Ανάγκης

Η γραφική παράσταση που αφορά την ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης δεν είναι τόσο μεγάλης σημασίας διότι η ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης, όπως έχει προαναφερθεί, εξυπηρετεί τα συνδεδεμένα φορτία κάτω υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος από την ονομαστική, οποιοδήποτε φορτίο δεν είναι φορτίο ανάγκης θα πρέπει να αποσυνδεθεί αυτόματα.

3.1.3 Παροχή Συνεχούς Τάσης (DC voltage supply from batteries)

Το σύστημα παροχής συνεχούς τάσης είναι πλήρως απαραίτητο για κάθε είδος πλοίου διότι διασφαλίζει την συνεχή τροφοδότηση όλων των καίριων συστημάτων αυτοματισμού.

Οι συσσωρευτές εγκαθίστανται σε χώρους με επαρκή αερισμό, μακριά από οποιαδήποτε δεξαμενή ή γενικώς περιβάλλον που μπορεί να συσσωρεύσει εύφλεκτα αέρια. Συνήθως είναι σε κάποιο χώρο στην γέφυρα ναυσιπλοΐας του σκάφους. Εκ κατασκευής, οι συσσωρευτές πρέπει να έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν ακόμα και όταν το σκάφος έχει κλίση 22,5°. Επιπρόσθετα, για μπαταρίες ανοικτού τύπου, θα πρέπει να αποφευχθεί η διαρροή υγρού (ηλεκτρολύτη) σε περιπτώσεις που το σκάφος μπορεί να έχει κλίσεις ακόμα και 40°. (DNV GL SE, Ιανουάριος 2018)



3.1.4 Εξωτερική Παροχή Στεριάς (Shore connection)

Δεδομένου ότι μια μεγάλη ισχύς απαιτείται ώστε να λειτουργήσουν όλα τα εγκατεστημένα φορτία σε ένα σκάφος, σε πολλές περιπτώσεις που το σκάφος είναι αγκυροβολημένο, προτιμάται η σύνδεση μια εξωτερικής παροχής ισχύος που ονομάζεται shore connection (S/C). Διεθνείς οργανισμοί, όπως ο International Maritime Organization (IMO), υπαγορεύουν την χρήση του S/C για περιβαλλοντικούς λόγους κατά την διάρκεια της παραμονής των πλοίων σε ένα λιμάνι που έχει τις κατάλληλες υποδομές. (International Maritime Organization, 2012)

Έτσι, με την χρήση του S/C, αποφεύγεται η χρήση των κυρίως ηλεκτρογεννητριών του σκάφους, και κατά συνέπεια υπάρχει μείωση δυο παραμέτρων πολύ σημαντικών για ένα σκάφος αναψυχής που εξυπηρετεί καλεσμένους, των εκπεμπόμενων ρύπων παράλληλα με την μείωση της ηχορύπανσης.

Η διαδικασία προϋποθέτει την σύνδεση ενός καλωδίου ισχύος από την στεριά σε μια κατάλληλη υποδοχή στο σκάφος. Η σύνδεση της εξωτερικής παροχής γίνεται μέσω μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης (shore connection panel), η οποία, εκτός άλλων ασφαλιστικών διατάξεων και κυκλωμάτων αυτοματισμού, διαθέτει και inverter. (Megdiche, Radu, & Jeannot, 2013)

Η παρουσία inverter είναι επιτακτική διότι οι παροχές, ανάλογα με την τοποθεσία, παρέχονται σε διαφορετικές ονομαστικές τάσεις και συχνότητα (π.χ. σε έναν ελληνικό η ονομαστική φασική τάση είναι 220 Volt με συχνότητα 50Hz ενώ σε μια μαρίνα που βρίσκεται στην Αμερική η ονομαστική φασική τάση είναι 110 Volt και συχνότητα 60Hz).

3.2 Κυρίως Πίνακας Σκάφους (Main switchboard)

Το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο αυτού του δικτύου είναι η ύπαρξη ενός κυρίως πίνακα διανομής και ελέγχου (main switchboard), ο οποίος είναι τοποθετημένος στο δωμάτιο ελέγχου μηχανής (engine control room) και αποτελεί, όπως θα επεξηγηθεί αναλυτικά, το κεντρικό ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου.

Το MSB χωρίζεται σε αρκετά μέρη ώστε να υπάρξει διαχωρισμός των επιμέρους κυκλωμάτων. Ο γενικός διαχωρισμός που γίνεται είναι μεταξύ των κυκλωμάτων ισχύος και των κυκλωμάτων αυτοματισμού. Αναλυτικότερα, ο κύριος πίνακας που παρουσιάζεται στην διπλωματική εργασία αποτελείται από τα παρακάτω

1. Πεδίο παραλληλισμού
2. Πεδία αυτοματισμού ηλεκτρογεννήτριας No1 και No2
3. Πεδία παροχής ισχύος φορτίων 400 Volt No1 και No2
4. Πεδίο παροχή ισχύος φορτίων 220 Volt
5. Πεδίο εκκινήτων



Σύμφωνα με τους κανονισμούς, όπως έχουν διατυπωθεί στο 8^ο κεφάλαιο του 4^{ου} μέρους που αφορά τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων (electrical installations), οποιαδήποτε κατασκευή κυρίως πίνακα περιέχει εγκατεστημένη ισχύ που ξεπερνά τα 3MW, υποχρεωτικά ο κύριος ζυγός θα πρέπει να χωρίζεται σε δυο επιμέρους μέρη. Στο μελετούμενο σκάφος, υπάρχουν δυο επιμέρους διακόπτες απομόνωσης (bus tie breakers) οι οποίοι παρέχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν οι δυο ηλεκτρογεννήτριες ξεχωριστά τροφοδοτώντας τα πεδία ισχύος των 400 Volt ενώ δεν είναι σε παράλληλη λειτουργία. Απώτερος σκοπός αυτής της εγκατάστασης είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος ενός μέρος του συστήματος παραλληλισμού να μπορούν τα κρίσιμα για την ναυσιπλοΐα φορτία να λειτουργήσουν.

Μέσω του MSB, διανέμεται ισχύς σε εκκινητές κινητήρων που συνήθως είναι απευθείας συνδεδεμένοι με αυτόν τον κυρίως πίνακα, σε υποπίνακες διανομείς καθώς και σε μετασχηματιστές τάσης που υποβιβάζουν την τάση ώστε να μπορούν να τροφοδοτηθούν φορτία χαμηλής τάσης όπως φωτιστικά κ.α. Για να επιτευχθεί αυτό, διακόπτες (Circuit breakers) και ασφάλειες (fuses) είναι τοποθετημένα είτε πριν είτε μετά από όλα τα επιμέρους φορτία, ώστε να επιτευχθεί η αυτόματη αποκοπή κάποιου προβληματικού φορτίου ή κυκλώματος. Η λογική των ασφαλιστικών διατάξεων επιτρέπει την χρήση συμβατικού διακοπτικού υλικού, το οποίο όμως έχει προσαρμοστεί και πιστοποιηθεί για τις δυσμενείς συνθήκες που επικρατούν όπως π.χ. δονήσεις, πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, τροπικά κλίματα, αλατότητα κ.ά. (Valkeejärvi, 2006)

Πλέον, στο μεγαλύτερο ποσοστό των πλοίων που ναυπηγούνται, έχει επικρατήσει το κύριο σύστημα ισχύος να είναι εναλλασσόμενου ρεύματος σε σχέση με τα παλαιότερα χρόνια που ήταν συνεχούς.

Στο σκάφος αναψυχής που θα μελετηθεί στην εργασία, υπάρχει ένα τριφασικό σύστημα εναλλασσόμενης τάσης 440V.

3.2.1 Πεδίο παραλληλισμού (Synchronization Panel)

Το πρώτο πεδίο που υπάρχει σε ένα main switchboard είναι το πεδίο του παραλληλισμού. Ο παραλληλισμός των ηλεκτρογεννητριών σε ένα πλοίο είναι μια πολύπλοκη και ιδιαίτερη διαδικασία, η οποία πρέπει να εκτελείται με ακρίβεια.

Για να επιτευχθεί ο παραλληλισμός δυο πηγών ισχύος, πρέπει να έχουμε ταυτοποίηση των παρακάτω στοιχείων (Cummins Engine, 2017):

- Αλληλουχία φάσεων
- Συχνότητα
- Γωνία Φάσεων
- Τάση

Σύμφωνα με τα πρότυπα IEEE Standards C50.12 και C50.13, οι ηλεκτρογεννήτριες είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες ώστε να λειτουργούν απρόσκοπτα και χωρίς την ανάγκη για επίβλεψη εάν τα περιθώρια που υπάρχουν στις διαφοροποιήσεις μεταξύ των δυο πηγών είναι:



- $\pm 0,067\text{Hz}$ όσον αφορά την συχνότητα
- $\pm 5\%$ Volt όσον αφορά την τάση
- $\pm 5^\circ$ όσον αφορά την γωνία φάσεων

Μια αποτυχημένη προσπάθεια παραλληλισμού των ηλεκτρογεννητριών μπορεί να οδηγήσει σε αρκετές καταστάσεις. Αναλυτικότερα:

- Κατά την διαδικασία του συγχρονισμού, λίγο πριν κλείσει ο διακόπτης ισχύος της υπό παραλληλισμό ηλεκτρογεννήτριας, η γωνιακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και κατά επέκταση η συχνότητα του συστήματος καθορίζεται από την ταχύτητα του ρότορα. Από την στιγμή που ο διακόπτης της ηλεκτρογεννήτριας κλείσει και έπειτα, η γωνιακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου καθορίζεται από την συχνότητα που υπάρχει στο δίκτυο ισχύος. Το μηχανικό μέρος της ηλεκτρογεννήτριας πρέπει να αυξομειώσει αμέσως τις στροφές του ώστε να συγχρονιστεί με το δίκτυο, όπως αναφέρθηκε. Εάν αυτές οι δυο συχνότητες που αναφερθήκαν, είναι σχεδόν ίδιες, τότε οι αυξομειώσεις δεν είναι τόσο έντονες και η ροπή που δημιουργείται κατά την διόρθωση της συχνότητας είναι εντός αποδεκτών ορίων. Αν η διαφορά της γωνίας φάσεων είναι μικρή αλλά η διαφορά συχνότητας μεταξύ του δικτύου και της, σε διαδικασία παραλληλισμού, ηλεκτρογεννήτριας μπορεί να υπάρξουν απότομες αλλαγές της ταχύτητας. Οι απότομες αυτές αλλαγές που γίνονται κατά την διαδικασία επίτευξης συντονισμού συχνότητας και γωνίας φάσεων εμπεριέχουν την πιθανότητα ζημιάς στο μηχανικό μέρος της ηλεκτρογεννήτριας λόγω των δονήσεων και του μηχανικού στρες.
- Ένας πιθανός παραλληλισμός μιας ηλεκτρογεννήτριας ενώ δεν έχουν καλυφθεί όλες οι προαπαιτούμενες συνθήκες μπορεί να προκαλέσει στιγμιαία πολύ υψηλές τιμές ρεύματος (peak), οι οποίες ορισμένες φορές ξεπερνούν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τα οποία είναι κατασκευασμένη η γεννήτρια να λειτουργεί. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν αλλοιώσεις στα τυλίγματα της διέγερσης και του μετασχηματιστή υποβίβασης, που μπορεί να οδηγήσουν σε περιορισμένη διάρκεια ζωής των επιμέρους τμημάτων της ηλεκτρογεννήτριας καθώς και σε ολοκληρωτικές καταστροφές αναλόγως το μέγεθος των υψηλών, σε ένταση, ρευμάτων που παράγονται.
- Εκτός από τις δυο περιπτώσεις που έχουν αναλυθεί ήδη (μηχανικά στρες και ύπαρξη υψηλής έντασης ρεύματος) μια αποτυχημένη προσπάθεια παραλληλισμού μπορεί να προκαλέσει και αναστάθεια στο δίκτυο λόγω των μεγάλων ταλαντώσεων που είναι πιθανόν να δημιουργηθούν. Παράλληλα, μια ηλεκτρογεννήτρια αποτελεί μια πηγή άεργου ισχύος. Ειδικότερα, εάν η διέγερση της ηλεκτρογεννήτριας κατά τον χειροκίνητο παραλληλισμό δεν είναι ρυθμισμένη ορθά και η ηλεκτρογεννήτρια παράγει τάση μικρότερης τιμής από αυτή του δικτύου, τότε το δίκτυο θα επιφορτιστεί με όλη την άεργο ισχύ που θα παραχθεί. Στην περίπτωση που το δίκτυο δεν καταφέρει να αποδώσει όλη την άεργο στιγμή που παράγεται ωστόσο η ηλεκτρογεννήτρια να διορθώσει την τάση εξόδου της, ο έλεγχος της διέγερσης της γεννήτριας θα καταστεί δύσκολος. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης θα είναι είτε το ότι δεν θα



μπορεί να επιτευχθεί ο συγχρονισμός μεταξύ του δικτύου και της ηλεκτρογεννήτριας είτε ότι η ηλεκτρογεννήτρια αμέσως μόλις συγχρονιστεί με το δίκτυο θα αδυνατεί να παραμείνει συνδεδεμένη και θα αποσυγχρονιστεί, προκαλώντας την αστάθεια του δικτύου που αναφέρθηκε νωρίτερα.

Για την αποφυγή όλων αυτών των περιπτώσεων, το πεδίο συγχρονισμού είναι εφοδιασμένο με ενδεικτικά όργανα, είτε ψηφιακά είτε αναλογικά, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για την τιμή της τάσης, της συχνότητας και της γωνίας φάσης και βοηθούν τον χειριστή, κατά την διαδικασία του χειροκίνητου συγχρονισμού, να προβεί σε όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις είτε του ρυθμιστή παροχής καυσίμου (governor) είτε του ρυθμιστή τάσης (automatic voltage regulator). (Thompson, 2011) Τα ενδεικτικά όργανα που υπάρχουν στο πεδίο παραλληλισμού είναι:

- Ψηφιακό συγχρονοσκόπιο το οποίο έχει ένδειξη διαφοράς γωνίας φάσεων, τάσης και συχνότητας
- Βολτόμετρο και συχνόμετρο με δυο κλίμακες, ώστε να υπάρχει ένδειξη τάσης του δικτύου παράλληλα με την τάση της γεννήτρια που πρόκειται να παραλληλιστεί με το δίκτυο
- Οθόνη με γενικές πληροφορίες για διάφορα στοιχεία του σκάφους, που θα αναλυθεί παρακάτω

Ο χειροκίνητος παραλληλισμός συνήθως αποφεύγεται και η διαδικασία εκτελείται είτε πλήρως αυτόματα είτε μερικώς αυτόματα με την βοήθεια του συγχρονοσκοπίου το οποίο επιτρέπει την ζεύξη μια ηλεκτρογεννήτριας με το σύστημα ισχύος μόνο στην περίπτωση που όλες οι προϋποθέσεις έχουν ικανοποιηθεί. Ιδανικά, η βέλτιστη περίπτωση είναι το κλείσιμο του διακόπτη της, προς παραλληλισμό, ηλεκτρογεννήτριας ενώ δεν υπάρχει διαφορά στην γωνία φάσεων.

3.2.2 Πίνακας ελέγχου ηλεκτρογεννήτριας (Generator Control Panel)

Ζωτικής σημασίας μέρος του κυρίως πίνακα είναι οι πίνακες ελέγχου των ηλεκτρογεννητριών. Συνηθίζεται να υπάρχει ένας μεμονωμένος πίνακας για κάθε μια ηλεκτρογεννήτρια.

Ο πίνακας ελέγχου των ηλεκτρογεννητριών χωρίζεται σε δυο μέρη. Το κάτω μέρος περιέχει τον γενικό διακόπτη ισχύος της ηλεκτρογεννήτριας και υπόκειται σε αυστηρή διαμερισματοποίηση του χώρου γύρω από τον διακόπτη, ενώ το πάνω μέρος του πίνακα περιέχει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για τον αυτοματισμό, τα ενδεικτικά, τα μπουτόν χειρισμού της ηλεκτρογεννήτριας κ.α. (DNV GL SE, Ιανουάριος 2018)

Λόγω των ιδιοτήτων μια ηλεκτρογεννήτριας, ο γενικός διακόπτης της θα πρέπει να:

- Να μπορεί να διαρρέεται από το ονομαστικό ρεύμα της ηλεκτρογεννήτριας δίχως να διακόπτει άνευ αιτίας
- Έχει την ικανότητα να προστατεύει τα τυλίγματα της ηλεκτρογεννήτριας πριν συμβεί ζημιά λόγω των υψηλών ρευμάτων



- Να αντέχει τα υψηλά ρεύματα βραχυκυκλώσεως που μπορεί να υπάρξουν από πιθανό βραχυκύκλωμα γραμμής με ασφάλεια
- Να διακόπτει πολύ υψηλές τιμές ρεύματος σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα

Στο σκάφος που αναφέρεται η εργασία, ο επιλεγμένος τύπος διακόπτη ηλεκτρογεννήτριας διαθέτει όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, ενώ, ακόμα, διαθέτει και πηνίο ελλείψεως τάσεως, το οποίο είναι προαπαιτούμενο, σύμφωνα με τους κανονισμούς. (Terasaki Electric, 2017)

Στο επάνω μέρος του πίνακα, υπάρχουν τοποθετημένα τα επιμέρους στοιχεία του αυτοματισμού όπως το κύκλωμα ελέγχου των παραμέτρων της ηλεκτρογεννήτριας.

Μέρος του συστήματος διαχείρισης ισχύος, που θα αναλυθεί αργότερα, είναι και ο ελεγκτής που, μέσω δειγματοληψίας, επιτηρεί την κατάσταση της ηλεκτρογεννήτριας. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, ο ελεγκτής θα πρέπει να διαθέτει τις παρακάτω προστασίες:

- Υπερένταση (Overcurrent)
- Αυξημένη ή μειωμένη τάση (Overvoltage/Undervoltage)
- Αυξημένη ή μειωμένη συχνότητα (Overfrequency/Underfrequency)
- Αναστροφής ισχύος (Reverse Power)
- Απώλεια διέγερσης (Excitation Loss)

3.2.3 Πίνακας παροχής ισχύος φορτίων 400 Volt (400V Feeder Panel)

Σε όλα τα σκάφη, ανεξαρτήτου μεγέθους και συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, υπάρχει εγκατάσταση για την τροφοδότηση τριφασικών φορτίων 400 Volt. Οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις είναι σχεδιασμένες ώστε να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις όπως:

- Ένα σύστημα παροχής εναλλασσόμενης τάσης πρέπει να είναι σχεδιασμένο και να έχει εγκατασταθεί έτσι ώστε η επιμέρους πτώση τάσεως σε κάθε έναν από τους καταναλωτές, μετρούμενη από την αναχώρηση από τον κύριο πίνακα παροχής ισχύος μέχρι και τη τελική του εγκατάσταση, να μην ξεπερνά το 6% της ονομαστικής τάσης του δικτύου. Συγκεκριμένα, στο παρόν σκάφος, με ονομαστική τάση δικτύου 400 Volt, η επιτρεπόμενη πτώση τάσεως είναι 24 Volt σε περίπτωση σταθερής λειτουργίας του συστήματος
- Σε ένα σύστημα παροχής εναλλασσόμενης τάσης, οι διατομές των ζυγών και των καλωδίων υπολογίζονται μέσω της μελέτης βραχυκυκλωμάτων που έχει προηγηθεί της κατασκευής του κυρίως πίνακα. Η μελέτη βραχυκυκλωμάτων αναφέρει τα πιθανά ρεύματα βραχυκύκλωσης που θα διαρρέουν τους ζυγούς και τα καλώδια και προδιαγράφει τις αντοχές του διακοπτικού υλικού.

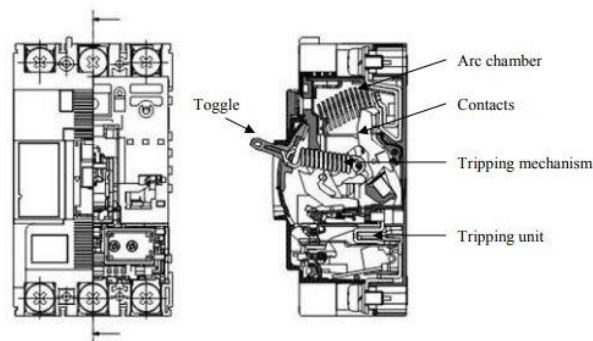
Στο μελετούμενο σκάφος, ο πίνακας παροχής ισχύος φορτίων 400 Volt αποτελείται από διακόπτες κλειστού τύπου και ζυγούς που συνδέουν τους διακόπτες με τους κυρίως ζυγούς του πίνακα.

Οι διακόπτες ισχύος κλειστού τύπου (MCCB), είναι μηχανικές διακοπτικές διατάξεις, ικανές να διακόψουν και να διαπεραστούν από ρεύμα υπό κανονικές συνθήκες. Επίσης, οι MCCB



μπορούν να διακόψουν υψηλά ρεύματα κάτω από μη κανονικές συνθήκες, όπως μια περίπτωση βραχυκυκλώματος, και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που ορίζεται επίσης από κανονισμούς.

Ένας διακόπτης αυτού του είδους χρησιμοποιείται για να προστατεύσει και την εγκατάσταση αλλά και τον εγκαταστάτη/χειριστή από επικίνδυνες καταστάσεις όπως π.χ. την παρουσία βραχυκυκλώματος στην γραμμή. Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι ότι οι διακόπτες, επίσης, παρέχουν την δυνατότητα ένα κύκλωμα που περιέχει ένα ή μπορεί και περισσότερα φορτία να απομονωθεί για να εκτελεστούν εργασίες συντηρήσεως και επισκευής. (International Electrotechnical Commission, 2013)



Εικόνα 8. Ο μηχανισμός ενός MCCB σε τομή

3.3 Εγκατεστημένα Φορτία (Loads)

3.3.1 Συνθήκες Επιλογής Εγκατεστημένων Φορτίων

Η διαδικασία εγκατάστασης των απαιτούμενων φορτίων για την πλήρη λειτουργία ενός σκάφους αναψυχής είναι μια σύνθετη διαδικασία, για την οποία αρκετές συνιστάμενες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι συνθήκες που πρέπει να καλυφθούν συχνά αποτελούν τροχοπέδη στον αρχικό σχεδιασμό του σκάφους και για αυτό η μεταξύ τους σχέση αναλύεται διεξοδικά.

Τα πρώτα που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι συνολικές απαιτήσεις σε φορτία του σκάφους, η τάση της κυρίως παροχής, η ύπαρξη μεγάλων καταναλωτών, η μελέτη βραχυκυκλωμάτων της μελλοντικής εγκατάστασης, καθώς και η ύπαρξη αρμονικών στο δίκτυο που πρόκειται να υλοποιηθεί.

Πιο συγκεκριμένα, για τις συνολικές απαιτήσεις του πλοίου σε φορτία γίνεται υπολογισμός της συνολικής ισχύος ως προς την εγκατεστημένη ισχύ του πλοίου, εφαρμόζοντας και συντελεστές όπως π.χ. ταυτοχρονισμού, μέγιστης χρονικής διάρκειας χρησιμοποίησης κ.α.

Όσον αφορά την τάση της κυρίως παροχής του πλοίου (κυρίως ηλεκτρογεννήτριες), αυτή καθορίζει το μέγεθος των ασύγχρονων κινητήρων που θα χρησιμοποιηθούν για τις διάφορες εφαρμογές. Για παράδειγμα, στο σκάφος αναψυχής που μελετούμε, η συχνότητα είναι 50 Hz,



και αυτό συνεπάγεται ότι όλοι οι κινητήρες θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές. (Henneberger, 2001)

Η ύπαρξη μεγάλων καταναλωτών, όπως ο έλικας πηδαλιουχίας (bow thruster), ο κλιματισμός, το σύστημα πυρόσβεσης (high fog firefighting system) κ.α. προϋποθέτει ότι ειδικές συνθήκες όπως ο παραλληλισμός των δυο ηλεκτρογεννητριών θα πρέπει να έχουν προβλεφθεί για την ορθή λειτουργία και την αποφυγή δυσλειτουργιών.

Οι σημαντικότερες μελέτες που προηγούνται της οριστικοποίησης επιλογής ηλεκτρικών φορτίων είναι οι μελέτες βραχυκυκλωμάτων της εγκατάστασης (short circuit calculation) καθώς και η μελέτη συντονισμού των ασφαλιστικών διατάξεων (coordination analysis).

Οι συγκεκριμένες μελέτες γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο IEC-61363-1 και αφορούν τις ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου, τους κινητήρες που είναι συνδεδεμένοι στον κύριο ζυγό της ηλεκτρικής εγκατάστασης του σκάφους καθώς και τους υποπίνακες που είναι επίσης συνδεδεμένοι. (International Electrotechnical Commission, 1998)

Κύριοι παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στις επιλογές των εγκατεστημένων φορτίων είναι οι απαιτήσεις του ιδιοκτήτη του σκάφους, συνεπώς και το εύρος της οικονομικής επένδυσης που θα γίνει για το σκάφος. Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης είναι δύσκολο να εκτιμηθεί, κυρίως διότι αλληλοεπιδρά με άλλα συστήματα και διαφέρει από σκάφος σε σκάφος. Έχει μελετηθεί ότι το κόστος των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανόμενων και των ηλεκτρογεννητριών, είναι 500 €/kVA, ενώ το κόστος μόνο των ηλεκτρογεννητριών ανέρχεται στα 175 €/kW. (Hekkenberg, 2014)

Οι ειδικές συνθήκες λειτουργίας του σκάφους αναψυχής όπως π.χ. η λειτουργία σε χώρες όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα σε συνδυασμό με υψηλά ποσοστά υγρασίας, και επιβάλλεται η εγκατάσταση μιας μονάδας κλιματισμού που θα πρέπει να ανταποκριθεί σε αυτές τις συνθήκες, μπορούν επίσης να διαφοροποιήσουν την ηλεκτρική εγκατάσταση του σκάφους. (Marine Air Systems, 2013)



3.3.2 Κατηγορίες Εγκατεστημένων Φορτίων

Σημαντικό σημείο στην εκπόνηση της διπλωματικής διατριβής είναι η θεωρητική προσέγγιση της κατανάλωσης ισχύος. Κατά τον σχεδιασμό του σκάφους, υπολογίζονται όλα τα μηχανήματα και οι συσκευές που θα χρειαστεί να εγκατασταθούν και, ακολούθως, διαμορφώνεται η θεωρητική ζήτηση ισχύος σε διάφορα σενάρια, όπως έχει εξηγηθεί και νωρίτερα.

Η θεωρητική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή βασίζεται σε δυο βασικές κατηγορίες, την κατάσταση του σκάφους και τις κατηγορίες των εγκατεστημένων καταναλωτών. Οι καταστάσεις του πλοίου και οι σχετικές καταναλώσεις θα αναλυθούν διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι κατηγορίες φορτίων:

- **Φορτία Μηχανοστασίου (Engine Room Loads)**

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίου (kW)	Αριθμός Εγκατεστημένων Φορτίων	Συνολική Ισχύς Φορτίων (kW)
Αντλία Όμβριων	25	1	25
Αντλία Πυρόσβεσης	30	1	30
Βίντσι Άγκυρας	29	2	58
Σύστημα Πυρόσβεσης	90	1	90
Ανεμιστήρας Εξαερισμού Μηχανοστασίου	1	2	2
Αντλία Λυμάτων Μηχανοστασίου	1.5	2	3
Μονάδα Καθαρισμού Καυσίμου	1.8	1	1.8
Αντλία Προλίπανσης Κύριας Μηχανής	2.2	2	4.4
Αντλία Απορροφήσεως Απολήξεων Κ.Μ.	2.2	1	2.2
Ανεμιστήρας Παροχής Αέρα Μηχανοστασίου	5.5	2	11
Αεροσυμπιεστής	6	2	12



Αντλία Μεταφοράς Καυσίμου	4	2	8
Διαχωριστής Νερού από Καύσιμα	5	1	5
Μονάδα Ξήρανσης Αέρα	5.5	2	11
Παροχή Αυτοματισμού Ηλεκτρογεννητριών	1.5	2	3
Παροχή Αυτοματισμού Συστήματος PMS	1.5	1	1.5
Αντλία Μεταφοράς Έρματος	6	1	6
Φωτισμός Μηχανοστασίου	4	1	4

• **Φορτία Εξοπλισμού Γέφυρας Ελέγχου (Bridge Equipment Loads)**

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίου (kW)	Αριθμός Εγκατεστημένων Φορτίων	Συνολική Ισχύς Φορτίων (kW)
Παροχή Συσκευών Γέφυρας Ελέγχου	9	1	9
Παροχή Συστήματος Επιτήρησης Σημάτων	1.5	1	1.5
Παροχή Συστημάτων Ναυσιπλοΐας	0.8	1	0.8
Παροχή Συστήματος GMDSS	0.8	1	0.8
Παροχή Συστήματος Ενδοεπικοινωνίας	0.4	1	0.4
Παροχή Τηλεφωνικού Κέντρου	0.3	1	0.3

• **Φορτία Θέρμανσης, Εξαερισμού και Κλιματισμού (HVAC Loads)**

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίου (kW)	Αριθμός Εγκατεστημένων Φορτίων	Συνολική Ισχύς Φορτίων (kW)
Κυρίως Μονάδα Κλιματισμού	162.5	1	162.5



Μονάδα Κλιματισμού Μηχανοστασίου	9	1	9
Κυρίως Εναλλάκτες	33	1	33
Εναλλάκτες Μηχανοστασίου	6	1	6

- **Φορτία που αφορούν την γάστρα του πλοίου (Hull related Loads)**

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίου (kW)	Αριθμός Εγκατεστημένων Φορτίων	Συνολική Ισχύς Φορτίων (kW)
Πτερύγιο Πηδαλιουχίας	300	1	300
Εργάτης Άγκυρας	22	2	44
Υδραυλικό Σύστημα Χειρισμού Πόρτας Γκαράζ	22	1	22
Σύστημα Πηδαλίου	5	2	10
Σύστημα Καθοδικής Προστασίας Πλοίου	3.3	2	6.6
Γερανός Σωσίβιας Λέμβου	7.5	2	15
Σύστημα Σταθεροποίησης Σκάφους	85	2	170
Βοηθητική Αντλία Ψύξεως Συστήματος Σταθεροποίησης Σκάφους	1.5	1	1.5

- **Φορτία που αφορούν την διαμονή των φιλοξενούμενων στο σκάφος αναψυχής (Domestic Loads)**

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίου (kW)	Αριθμός Εγκατεστημένων Φορτίων	Συνολική Ισχύς Φορτίων (kW)
Ανελκυστήρας	12	2	24
Υδρομασάζ	52	1	52



Ψυγείο Τροφοδοσίας	6	3	18
Αντλίας Πισίνας	2	1	2
Αντλίας Καθαρισμού Κυρίως Καταστρώματος	1.1	1	1.1
Θερμοσίφωνα	72.5	1	72.5
Εξοπλισμός Εστίασης	70	1	70
Μετασχηματιστής Φωτισμού	100	1	100
Παροχή Πλυντηρίων	53.6	1	53.6
Παροχή Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	45	1	45
Παροχή Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	45	1	45
Φωτισμός Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	12	1	12
Φωτισμός Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	12	1	12
Φωτισμός Εξωτερικών Χώρων Σκάφους	10	1	10

• **Λοιπά Διάφορα Φορτία (Miscellaneous Loads)**

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίου (kW)	Αριθμός Εγκατεστημένων Φορτίων	Συνολική Ισχύς Φορτίων (kW)
Παροχή Διάφορων Συσκευών	30	1	30
Φορτιστής Μπαταριών Κύριας Μηχανής	3.5	2	7
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννητριών	3	2	6
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννήτριας Ανάγκης	1	1	1



Σταθεροποιητής 24Vdc	3	2	6
Σύστημα Ελέγχου Παραβίασης Θυρών Σκάφους	0.6	1	0.6
Σύστημα Πυρανίχνευσης	0.5	1	0.5

3.4 Σύστημα Διαχείρισης Ισχύος (Power management system)

Το σύστημα διαχείρισης ισχύος (Power Management System) ελέγχει και οπτικοποιεί την λειτουργία των παροχών ισχύος και γενικότερα του ηλεκτρολογικού συστήματος του σκάφους που είναι συνδεδεμένα. Επιλέγει πόσες ηλεκτρογεννήτριες θα λειτουργούν, βασίζοντας την επιλογή στην ζήτηση ισχύος των φορτίων (αντλίες, κινητήρες κ.α.) που υπάρχει καθώς και την αναμενόμενη ζήτηση ισχύος από μεγάλα φορτία όπως π.χ. έλικα πηδαλιουχίας (bow thruster), κλιματισμό κ.α. (Radan, 2008)

Η κύρια λειτουργία του συστήματος που θα μελετηθεί είναι ο έλεγχος των ηλεκτρογεννητριών. Οι ηλεκτρογεννήτριες είναι εξοπλισμένες με ηλεκτρονικούς ρυθμιστές παροχής καυσίμου (electronic governor), οι οποίοι ελέγχουν τον λόγο στροφών/συχνότητας (droop control) , οι οποίοι ελέγχονται από το σύστημα διαχείρισης ισχύος ώστε να επιτευχθεί η λειτουργία σε συγκεκριμένες στροφές και να «ικανοποιηθεί» η ζήτηση φορτίων. (May & Foss, 2000)

Το PMS αποτελείται από ένα σύστημα αυτοματισμού το οποίο εμπεριέχει διαφορετικά στοιχεία τα οποία είναι συνδεδεσμένα κατάλληλα μεταξύ τους ώστε να επιτευχθεί η ορθή λειτουργία του συστήματος.

Σε πλήρως αυτοματοποιημένες εφαρμογές, ένα κοινό πλάνο είναι ο διαμοιρασμός των επιμέρους συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης σε περισσότερους από ένα ελεγκτές. Αυτή η συνθήκη προσφέρει ανθεκτικότητα και αξιοπιστία στο σύστημα του σκάφους.

3.4.1 Αποτελούμενα Μέρη (Hardware)

3.4.1.1 Programmable Logic Controller (PLC)

Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) και κάρτες επέκτασης του PLC περισσότερα σήματα να μπορούν να επεξεργάζονται από το PLC, χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία με σκοπό την μείωση του κόστους, του χρόνου κατασκευής, του όγκου κατασκευής και άλλων πλεονεκτημάτων. Τα PLC μπορούν είτε να σηματοδοτηθούν με αναλογικά σήματα όπως π.χ. στάθμη, θερμοκρασία, πίεση κ.α. καθώς και απλές ψηφιακές καταστάσεις λογικού ναι ή λογικού όχι. Στα PLC έχουν επικρατήσει πιο απλές γλώσσες προγραμματισμού όπως η ladder ώστε να γίνει ευκολότερος και παράλληλα πιο αποδοτικός ο προγραμματισμός για διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. (M. A. Laughton, 2003)



Όσον αφορά τους κύριους χειρισμούς, το PLC που έχει εγκατασταθεί είναι το C6200 της Littelfuse. Μέσω της μονάδας C6200, επιτυγχάνονται όλοι οι κύριοι σκοποί ενός συστήματος PMS όπως παράδειγμα:

- Προστασία Ηλεκτρογεννητριών από υπέρταση, υπερένταση κ.α.
- Ρύθμιση Τάσης και Συχνότητας
- Εκκίνηση και Διακοπή Λειτουργίας γεννητριών σύμφωνα με την ζήτηση φορτίου
- Χειρισμός Μεγάλων Καταναλωτών
- Διακοπή Λειτουργίας λιγότερο σημαντικών φορτίων
- Διαδικασίες Επαναφοράς Ισχύος στο δίκτυο
- Διαμοιρασμός Φορτίων μεταξύ των Ηλεκτρογεννητριών
- Διαμοιρασμός Άεργου Ισχύος μεταξύ των Ηλεκτρογεννητριών (Littelfuse, Revision 2013)



Εικόνα 9. Μονάδα C6200

Για την εγκατάσταση που θα μελετηθεί, έχουν εγκατασταθεί 4 μονάδες C6200. Οι δυο είναι συνδεδεμένες με τις κυρίως ηλεκτρογεννήτριες, η μια είναι συνδεδεμένη με την γεννήτρια εκτάκτου ανάγκης (Emergency Generator) και η τελευταία είναι συνδεδεμένη με την παροχή που μπορεί να συνδεθεί από την στεριά (Shore Connection).

Το PLC που έχει εγκατασταθεί για την απεικόνιση πληροφοριών είναι το 6ES7510-1DJ01-0AB0 της σειράς S7-1500 της Siemens.



Εικόνα 10. Μονάδα 6ES7510-1DJ01-0AB0

Η συγκεκριμένη CPU (Central Processing Unit) διαθέτει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Τάση Λειτουργίας: 24Vdc (Όρια λειτουργίας από 19.2 έως 28.8Vdc)
- Κατανάλωση Ρεύματος: 0.6Amps
- Δυνατότητα σύνδεσης με έως 64 μονάδες επέκτασης.
- Θύρα επικοινωνίας Profinet (Siemens, Revision 2018)

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η CPU έχει συνδεθεί με αρκετές μονάδες επέκτασης καθώς και με μια οθόνη για απεικόνιση των στοιχείων και των μετρήσεων. Αναλυτικότερα, οι συνδεδεμένες μονάδες επέκτασης είναι:

- 1 μονάδα επέκτασης 6ES7131-6BF00-0AA0 που μπορεί να δεχθεί έως 8 ψηφιακές εισόδους
- 11 μονάδες επέκτασης 6ES7131-6BH00-0BA0 που μπορούν να δεχθούν έως 16 ψηφιακές εισόδους ανά μονάδα
- 1 μονάδα επέκτασης 6ES7132-6BF60-0AA0 που μπορεί να παρέχει έως 8 ψηφιακές εξόδους
- 2 μονάδες επέκτασης 6ES7132-6BH00-0BA0 που μπορεί να παρέχει έως 16 ψηφιακές εξόδους
- 1 μονάδα επέκτασης 6ES7134-6HD00-0BA1 που μπορεί να δεχθεί έως 4 αναλογικές εισόδους

Συνολικά το σύστημα διαθέτει δυνατότητες σύνδεσης με έως και 184 ψηφιακές εισόδους, 40 ψηφιακές εξόδους και 4 αναλογικές εισόδους.



Οι ψηφιακές εισοδοί χρησιμεύουν για να δοθούν πληροφορίες στο σύστημα απεικόνισης όπως η κατάσταση των διακοπών ισχύος, η παρουσία τάσης από την στεριά, η εκκίνηση της γεννήτριας εκτάκτου ανάγκης, η ανάγκη για λήψη ενεργειών προτού εκκινήσει ένα μεγάλο φορτίο κ.α.

Παρομοίως, οι ψηφιακές έξοδοι χρησιμοποιούνται για εντολές χειρισμού διακοπών ισχύος, εντολές εκκινήσεως των κυρίως ηλεκτρογεννητριών, ως μανδαλώσεις κ.α.

Η κάρτα αναλογικών εισόδων έχει τοποθετηθεί για την παρατήρηση των θερμοκρασιών και των πιέσεων που αφορούν τις δυο κύριες ηλεκτρογεννήτριες.

3.4.1.2 Μετασχηματιστές τάσης και έντασης (Voltage and Current Transformer)

Σε ένα σύστημα διαχείρισης ισχύος, χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές τάσης και έντασης ρεύματος οι οποίοι δίνουν λειτουργικά στοιχεία στην κεντρική μονάδα του PLC.

Οι μετασχηματιστές τάσης παρέχουν πληροφορίες, υποβιβάζοντας την τάση ώστε να μπορεί να συνδεθεί με τις εισόδους του PLC, για την παρουσία τάσης στον κυρίως ζυγό, την παρουσία ορθής τάσης από τις ηλεκτρογεννήτριες, την σωστή σύνδεση της παροχής από την στεριά σε καταστάσεις ελλειμνισμού του σκάφους κ.α. Συνήθως, μετασχηματιστές τάσης χρησιμοποιούνται για την παροχή τάσης χαμηλότερης τιμής σε συστήματα όπως π.χ. σύστημα φωτισμού καθώς και στις διατάξεις αυτοματισμού των κυρίων ηλεκτρογεννητριών.



Εικόνα 11. Μετασχηματιστής Τάσης

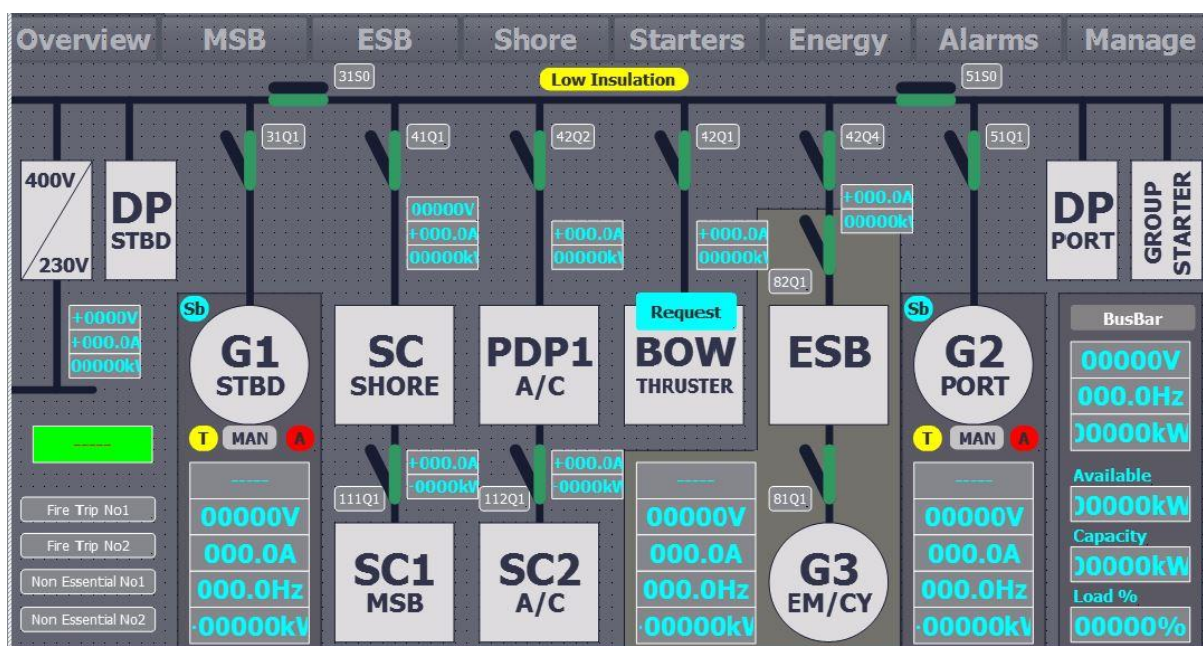
Οι μετασχηματιστές έντασης είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για να υποβιβάζουν την κύρια ένταση του ρεύματος και να παρέχουν, ως έξοδο, μια μικρότερη ένταση ρεύματος ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί ως τιμή από το PLC. Μετασχηματιστές έντασης διαφορετικών μεγεθών και ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται γενικότερα ως μέρος ασφαλιστικών διατάξεων (π.χ. μπορεί να σηματοδοτούν μια συσκευή προστασίας υπερέντασης ρεύματος σε περίπτωση αυξομειώσεων) καθώς και για να δώσουν στοιχεία, τα οποία μετά από ανάλυση, μπορούν να οδηγήσουν σε αποφάσεις με σκοπό την οικονομικότερη λειτουργία του σκάφους. (Elkor Technologies Inc., 2006)



Εικόνα 12. Μετασχηματιστής Έντασης

3.4.2 Πρόγραμμα PMS (Software)

Το λογισμικό του συστήματος διαχείρισης ενέργειας είναι το μέσον που έχει ο χειριστής ώστε, ρυθμίζοντας διάφορες παραμέτρους, να καταφέρει να ελέγξει και τις διάφορες διαδικασίες ώστε να λειτουργούν αυτόματα και πολύ πιο οικονομικά.



Εικόνα 13. Κύρια Οθόνη Software (Overview) κατά την εκκίνηση του software



Στην Overview οθόνη, ο χειριστής αποκτά πρόσβαση σε πολλές κύριες πληροφορίες για τις κυρίως ηλεκτρογεννήτριες, για την εξωτερική παροχή του σκάφους, για την κατάσταση των μεγάλων καταναλωτών όπως το bow thruster κ.α. μέσω μιας γενικής εικόνας για την κατάσταση του δικτύου ισχύος του σκάφους. Αναλυτικότερα, στην οθόνη overview υπάρχουν ενδείξεις για:

- Την κατάσταση των κυρίων ηλεκτρογεννητριών

Μέσω των ενδείξεων T,MAN,A (TEST,MANUAL,AUTO) μπορεί να φανεί η διαθεσιμότητα της ηλεκτρογεννήτριας. Στην θέση TEST, ο χρήστης μπορεί να δει την επιλεγμένη ηλεκτρογεννήτρια να εκκινεί και να κάνει στάση σε μια προσομοίωση της αυτόματης λειτουργίας. Παρομοίως, στις θέσεις MANUAL και AUTO, ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει και να σταματήσει την ηλεκτρογεννήτρια κατά την βούληση του και να επιτρέψει στο πρόγραμμα διαχείρισης ισχύος να ελέγξει την ηλεκτρογεννήτρια αντίστοιχα.

Μέσω της προσομοίωσης του συμβόλου του κυρίως διακόπτη της ηλεκτρογεννήτριας, μπορεί να υπάρξει ένδειξη για το αν η ηλεκτρογεννήτρια είναι συνδεδεμένη στον κυρίως ζυγό ή όχι.

Τέλος, μέσω των ενδείξεων V,A, Hz, kW μπορεί να δοθεί ένδειξη για τα ανάλογα ηλεκτρικά μεγέθη (τάση, ένταση, συχνότητα και ισχύ).

- Την κατάσταση του Emergency Switchboard και της Emergency Generator

Μέσω της προσομοίωσης του συμβόλου του κυρίως διακόπτη της ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης, μπορεί να υπάρξει ένδειξη για το αν η ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης είναι συνδεδεμένη και τροφοδοτεί το ESB. Παρομοίως, από το σύμβολο του διακόπτη που συνδέει το MSB με το ESB μπορεί να υπάρξει ένδειξη για την σωστή τροφοδοσία του δευτέρου.

- Την κατάσταση του Shore Connection Panel

Μέσω της προσομοίωσης των συμβόλων των κυρίως διακοπών των παροχών στεριάς (shore connection), μπορεί ο χειριστής να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες για την σύνδεση των παροχών στεριάς είτε με τον κύριο ζυγό είτε με τον πίνακα τροφοδοσίας του κλιματισμού.

- Την κατάσταση του Bow Thruster

Στην κύρια οθόνη του software υπάρχουν πληροφορίες για την κατάσταση του έλικα πηδαλιουχίας (Bow Thruster) καθώς και ένδειξη για το αν υπάρχει ανάγκη για χρησιμοποίηση του (Request). Πιο συγκεκριμένα, όταν χρειάζεται το bow thruster, το σύστημα διαχείρισης ισχύος υπολογίζει εάν η παρεχόμενη ισχύ από τις ηλεκτρογεννήτριες που λειτουργούν την συγκεκριμένη στιγμή είναι επαρκής ώστε να λειτουργήσει. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, τότε δίνεται η εντολή από το σύστημα διαχείρισης ισχύος ώστε να εκκινήσει μια γεννήτρια και να μπορεί να τροφοδοτηθεί το bow thruster.



3.5 Ανάλυση Περιπτώσεων Ζήτησης Ισχύος

Η κατηγοριοποίηση των διαφόρων περιπτώσεων ζήτησης ισχύος γίνεται πριν την κατασκευή του πλοίου και εξυπηρετεί σε μεγάλο βαθμό την μετέπειτα διαστασιολόγηση της παροχής ισχύος, την ισχύ που θα πρέπει να μετασχηματιστεί (π.χ. παροχές φωτισμού) και την ανάγκη για αποθήκευση ισχύος (εγκατάσταση μπαταριών, UPS κ.α.) ενώ καθορίζει και την τελική επιλογή των συσκευών προστασίας και των καλωδιώσεων όλου του εξοπλισμού του σκάφους.

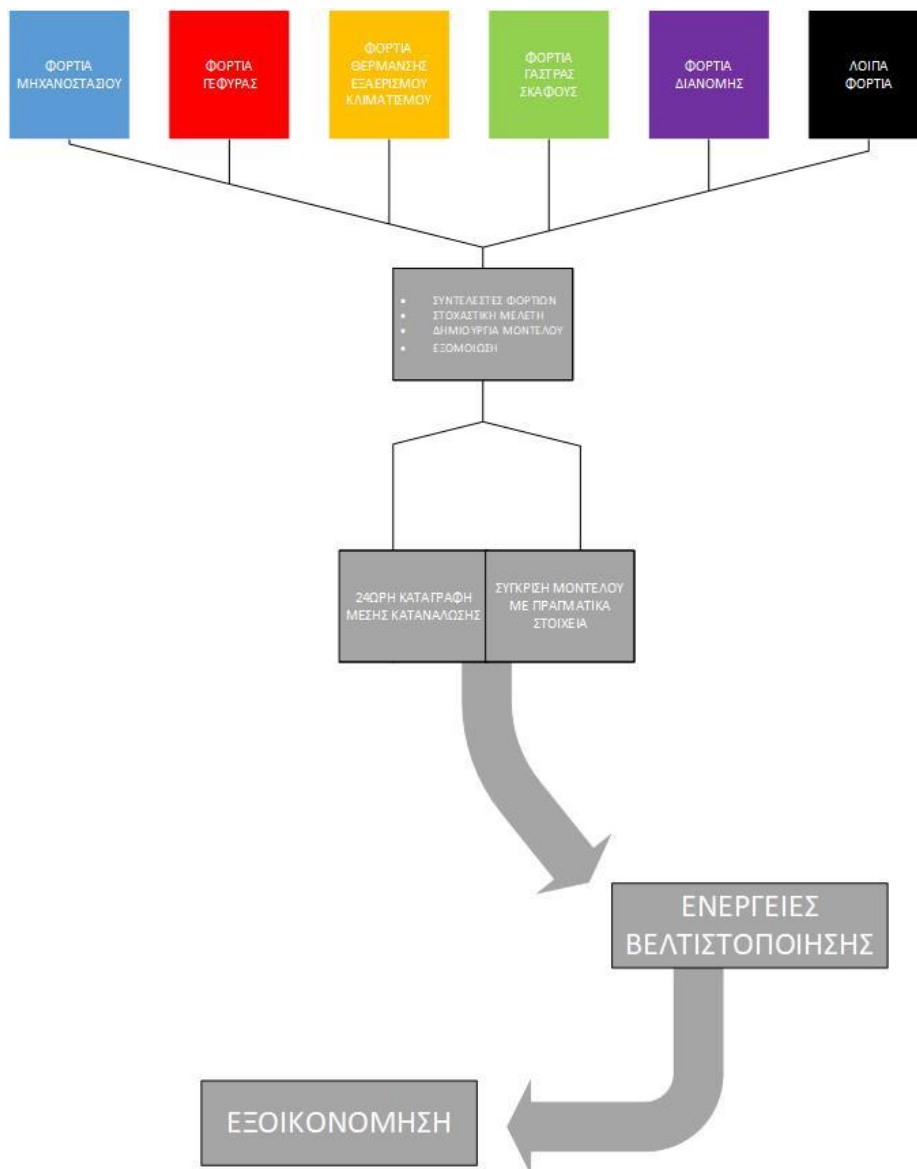
Η διαδικασία δημιουργίας ενός πλάνου με τις διάφορες καταστάσεις αποτελείται από δυο στάδια:

1. Την μελέτη, ομαδοποίηση και κατηγοριοποίηση των φορτίων.
2. Με την χρήση αλγορίθμων, μπορεί να προβλεφθεί το σύνολο των φορτίων ώστε να σχεδιαστεί το ανάλογο πλάνο για την διαχείριση των εγκατεστημένων παροχών ισχύος.

Συνήθως, ο αλγόριθμος υπολογίζει την κατανάλωση που ένα φορτίο πρόκειται να έχει και υπολογίζεται ο μέσος όρος αυτής και στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει σχεδιασμός ώστε ο μέσος όρος να μην είναι αρκετά μεγάλος καθώς ούτε και μικρός. Ένας μέσος όρος μεγάλος μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα κόστη επισκευής και συντήρησης λόγω μεγάλου χρόνου λειτουργίας των κινητήρων, ενώ παράλληλα ένας μικρός μέσος όρος κατανάλωσης μπορεί να οδηγήσει και πάλι σε μεγάλα κόστη επισκευής καθώς όλα τα φορτία υπολειτουργούν και τελικά ίσως προκληθεί και αστάθεια στο πρόγραμμα διαχείρισης ισχύος. (Naval Sea System Command, 2012)

Στην διπλωματική εργασία, το πλάνο που έχει δημιουργηθεί έχει ένα προσανατολισμό ως προς την λειτουργία (task oriented). Έχοντας έναν τέτοιο προσανατολισμό, το πλάνο συγκεντρώνεται στις λειτουργίες που είναι πλήρως αναγκαίες για να ολοκληρωθεί μια συγκεκριμένη εργασία. (Tomczak, Reinecke, & Muhlmeier, August 2007)

Για παράδειγμα, στο σενάριο της ζήτησης ισχύος κατά την πρόσδεση του πλοίου (Maneuvering Mode), οι συντελεστές των φορτίων θα καθοριστούν αναλόγως, και τα φορτία που θα είναι αναγκαία για την πρόσδεση όπως τα βίντσια θα έχουν πολύ μεγαλύτερους συντελεστές.



Εικόνα 14. Διάγραμμα ροής κατηγοριοποίησης και δημιουργίας μοντέλου.

Οι περιπτώσεις που θα μελετηθούν είναι τρεις και θα αναλυθούν:

- Ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια της πλεύσης
- Ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια της διαδικασίας πρόσδεσης/απόπλου του σκάφους
- Ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια παραμονής του σκάφους στην μαρίνα

Στην πρώτη περίπτωση, θα μελετηθεί η ζήτηση ισχύος ενώ το σκάφος αναψυχής είναι σε διαδικασία πλεύσης από έναν προορισμό σε έναν άλλον. Πολύ σημαντικό είναι να σημειωθεί



πως θα υπάρξουν δυο διαφορετικοί υπολογισμοί, καθώς το σκάφος αναψυχής ταξιδεύει χωρίς επιβάτες αλλά μόνο με το προσωπικό. Σε αυτή την περίπτωση, προφανώς η απαιτούμενη ισχύς είναι μικρότερης κλίμακας, καθώς πολλές από τις μεγάλες καταναλώσεις όπως π.χ. ο κλιματισμός δεν δουλεύουν ελλείψει επιβατών.

Στην δεύτερη περίπτωση, θα μελετηθεί η ζήτηση ισχύος καθώς το σκάφος βρίσκεται σε διαδικασία πρόσδεσης (ελλιμενισμός) ή κατά τον απόπλου από μια μαρίνα. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, οι ηλεκτρογεννήτριες σε λειτουργία κατά αυτή την συνθήκη θα πρέπει να είναι έχουν εγκατεστημένη ισχύ αρκετή ώστε να τροφοδοτηθούν όλα τα φορτία που αφορούν την πρόωση του πλοίου. Στο σκάφος που μελετούμε, η ζήτηση ισχύος του έλικα πηδαλιουχίας κατά την διαδικασία πρόσδεσης, σε συνδυασμό με βοηθητικά μηχανήματα όπως αντλίες και ανεμιστήρες, καθιστούν απαραίτητο τον παραλληλισμό των δύο ηλεκτρογεννητριών ώστε η παροχή ισχύος να είναι η μέγιστη. (DNV GL SE, Ιανουάριος 2018)

Στην τελευταία περίπτωση, θα μελετηθεί η ζήτηση ισχύος όταν το σκάφος αναψυχής βρίσκεται εντός της μαρίνας και τα μόνα φορτία που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν είναι φορτία που εξυπηρετούν την διαβίωση εντός του σκάφους όπως π.χ. κουζίνα, ψυγεία, κλιματιστικό κ.α.

Για να γίνει μια εκτενής ανάλυση των φορτίων που θα υπάρξουν σε κάθε περίπτωση θα χρησιμοποιηθούν τρεις διαφορετικοί συντελεστές που θα χαρακτηρίζουν το κάθε φορτίο:

1. $K_n \rightarrow$ Συντελεστής κύκλου λειτουργίας (duty factor)

Ο συντελεστής κύκλου λειτουργίας ορίζεται από την περιοδικότητα χρησιμοποίησης ενός φορτίου. Απλούστερα, μέσω αυτού του συντελεστή, ενσωματώνεται στην τελική αποτύπωση της ζήτησης φορτίου η πραγματική ζήτηση ισχύος σε συνάρτηση με τον χρόνο. Για την διευκόλυνση της μελέτης, για τον συγκεκριμένο συντελεστή θα χρησιμοποιηθούν τρεις περιπτώσεις. Οι περιπτώσεις θα είναι 0%, 50% και 100%.

2. $K_r \rightarrow$ Συντελεστής φορτίου (load factor)

Ο συντελεστής φορτίου ορίζεται από το ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του κάθε φορτίου που πραγματικά απαιτείται για την ολοκλήρωση κάποιων εφαρμογών. Π.χ. ορισμένοι κινητήρες από κατασκευής είναι υπερδιαστασιοποιημένοι ώστε να εξυπηρετηθούν οι υπό δύσκολες συνθήκες ανάγκες του σκάφους, αλλά στην πραγματικότητα δεν απαιτείται η λειτουργία σε πλήρες φορτίο για την περάτωση των εργασιών.

3. $K_s \rightarrow$ Συντελεστής χρόνου (time factor)

Ο συντελεστής χρόνου ορίζεται από τον χρόνο για τον οποίο το φορτίο απαιτεί ισχύ, διότι το φορτίο δεν απαιτεί ισχύ συνεχόμενα, καθώς και υπάρχουν φορτία τα οποία λειτουργούν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



3.5.1 Ζήτηση ισχύος κατά την πλεύση

3.5.1.1 Καλοκαιρινή περίοδος

Κατά την καλοκαιρινή περίοδο, οι καταναλώσεις του σκάφους αναψυχής θα διαμορφωθούν σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες, αφού οι θεωρητικοί συντελεστές έχουν προστεθεί στους υπολογισμούς.

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Αντλία Όμβριων	25	0,5	0,6	0,8	6
Αντλία Πυρόσβεσης	30	1	0,8	0,1	2,4
Βίντσι Άγκυρας	58	1	0	0	0
Σύστημα Πυρόσβεσης	90	1	0,5	0,1	4,5
Ανεμιστήρας Εξαερισμού Μηχανοστασίου	2	1	0,5	0,5	0,5
Αντλία Λυμάτων Μηχανοστασίου	3	0,7	0,7	0,7	1,03
Μονάδα Καθαρισμού Καυσίμου	1,8	1	0,9	1	1,62
Αντλία Προλίπανσης Κύριας Μηχανής	4,4	1	0,7	1	3,08
Αντλία Απορροφήσεως Απολήξεων Κυρίας Μηχανής	2,2	0,7	0,7	1	0,55
Ανεμιστήρας Παροχής Αέρα Μηχανοστασίου	11	0,1	0,1	0,5	0,1
Αεροσυμπιεστής	12	0,5	0,5	0,5	1,5
Αντλία Μεταφοράς Καυσίμου	8	0,5	0,6	0,3	0,72



Διαχωριστής Νερού από Καύσιμα	5	1	0,8	0,7	2,8
Μονάδα Ξήρανσης Αέρα	11	1	0,5	0,3	1,65
Παροχή Αυτοματισμού Ηλεκτρογεννητριών	3	1	0,9	1	2,7
Παροχή Αυτοματισμού Συστήματος Διαχείρισης Ισχύος	1,5	1	0,9	1	1,35
Αντλία Μεταφοράς Έρματος	6	0,5	0,5	0,2	0,3
Φωτισμός Μηχανοστασίου	4	1	1	0,8	3,2

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Συσκευών Γέφυρας Ελέγχου	9	1	0,8	1	7,2
Παροχή Συστήματος Επιτήρησης Σημάτων	1,5	1	1	1	1,5
Παροχή Συστημάτων Ναυσιπλοΐας	0,8	1	1	1	0,8
Παροχή Συστήματος GMDSS	0,8	1	0,8	1	0,6
Παροχή Συστήματος Ενδοεπικοινωνίας	0,4	1	0,8	1	0,3
Παροχή Τηλεφωνικού Κέντρου	0,3	1	0,8	1	0,2



Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Κυρίως Μονάδα Κλιματισμού	163	1	0,7	0,9	103
Μονάδα Κλιματισμού Μηχανοστασίου	9	1	0,9	0,9	7,3
Κυρίως Εναλλάκτες	33	1	0,9	0,7	21
Εναλλάκτες Μηχανοστασίου	6	1	1	0,9	5,4

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Πτερύγιο Πηδαλιουχίας	300	1	0,8	1	240
Εργάτης Άγκυρας	44	1	0,6	1	26,4
Υδραυλικό Σύστημα Χειρισμού Πόρτας Γκαράζ	22	1	0,1	1	2,2
Σύστημα Πηδαλίου	10	1	0,9	1	9
Σύστημα Καθοδικής Προστασίας Πλοίου	7	1	0,8	1	5,6
Γερανός Σωσίβιας Λέμβου	15	1	0,8	0,1	1,2
Σύστημα Σταθεροποίησης Σκάφους	170	1	1	0,8	136
Βοηθητική Αντλία Ψύξεως Συστήματος Σταθεροποίησης Σκάφους	1,5	1	1	0,8	1,2



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Βιομηχανικής

Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
& ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών

Σχεδίασης και Παραγωγής



Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Ανελκυστήρας	24	1	0,7	0,2	3,4
Υδρομασάζ	52	1	0,8	0,2	8,3
Ψυγείο Τροφοδοσίας	18	1	1	0,8	14
Αντλίας Πισίνας	2	1	1	0,7	1,4
Αντλίας Καθαρισμού Κυρίως Καταστρώματος	1,1	1	1	0,2	0,2
Θερμοσίφωνα	72,5	1	1	0,3	22
Εξοπλισμός Εστίασης	70	1	1	0,8	56
Μετασηματιστής Φωτισμού	100	1	1	0,8	80
Παροχή Πλυντηρίων	53,6	1	0,9	0,5	24
Παροχή Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	45	1	0,8	0,8	29
Παροχή Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	45	1	0,8	0,8	29
Φωτισμός Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Εξωτερικών Χώρων Σκάφους	10	1	1	0,5	5



Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Διάφορων Συσκευών	30	1	0,8	0,8	19
Φορτιστής Μπαταριών Κύριας Μηχανής	7	1	1	1	7
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννητριών	6	1	1	1	6
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννήτριας Ανάγκης	1	1	1	1	1
Σταθεροποιητής 24Vdc	6	1	1	1	6
Σύστημα Ελέγχου Παραβίασης Θυρών Σκάφους	0,6	1	1	1	0,6
Σύστημα Πυρανίχνευσης	0,5	1	1	1	0,5



Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα παρακάτω αποτελέσματα:

Περιγραφή Φορτίων	Συνολική Ισχύς	Μέσος Όρος Kn	Μέσος Όρος Kr	Μέσος Όρος Ks	Τελική Ισχύς	Ποσοστό Εγκατεστημένης
Μηχανοστάσιο	277,90	0,86	0,71	0,66	112	40%
Συστήματα Ελέγχου	12,80	1,00	0,87	1,00	11,1	86%
Θέρμανση, Κλιματισμός και Εξαερισμός	211,00	1,00	0,88	0,85	157,8	75%
Γάστρας	569,50	0,75	0,65	0,84	233,2	41%
Φιλοξενούμενων	517,20	1,00	0,93	0,59	283,8	55%
Διάφορα	51,10	1,00	0,97	0,97	48,1	94%

3.5.1.2 Χειμερινή περίοδος

Κατά την πλεύση του σκάφους σε χειμερινή περίοδο, τα κυκλώματα που είναι αναγκαίο να είναι σε λειτουργία διαφέρουν σε σχέση με την καλοκαιρινή περίοδο και για αυτό απαιτείται εκ νέου αναθεώρηση των συντελεστών ώστε να υπάρχει μια ρεαλιστική τιμή για την συνολική ισχύ του σκάφους.

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Αντλία Όμβριων	25	0,5	0,6	0,8	6
Αντλία Πυρόσβεσης	30	1	0,8	0,1	2,4
Βίντσι Άγκυρας	58	1	0	0	0
Σύστημα Πυρόσβεσης	90	1	0,5	0,1	4,5



Ανεμιστήρας Εξαερισμού Μηχανοστασίου	2	0,1	0,1	0,1	0,01
Αντλία Λυμάτων Μηχανοστασίου	3	0,5	0,5	0,5	0,4
Μονάδα Καθαρισμού Καυσίμου	1,8	1	0,9	1	1,62
Αντλία Προλίπανσης Κύριας Μηχανής	4,4	1	0,7	1	3,08
Αντλία Απορροφήσεως Απολήξεων Κυρίας Μηχανής	2,2	0,5	0,5	1	0,55
Ανεμιστήρας Παροχής Αέρα Μηχανοστασίου	11	1	0,9	1	9,9
Αεροσυμπιεστής	12	1	1	0,75	9
Αντλία Μεταφοράς Καυσίμου	8	0,5	0,6	0,3	0,72
Διαχωριστής Νερού από Καύσιμα	5	1	0,8	0,7	2,8
Μονάδα Ξήρανης Αέρα	11	1	0,8	0,7	6,16
Παροχή Αυτοματισμού Ηλεκτρογεννητριών	3	1	0,9	1	2,7
Παροχή Αυτοματισμού Συστήματος Διαχείρισης Ισχύος	1,5	1	0,9	1	1,35
Αντλία Μεταφοράς Έρματος	6	0,5	0,5	0,2	0,3
Φωτισμός Μηχανοστασίου	4	1	1	0,8	3,2



Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Συσκευών Γέφυρας Ελέγχου	9	1	0,8	1	7,2
Παροχή Συστήματος Επιτήρησης Σημάτων	1,5	1	1	1	1,5
Παροχή Συστημάτων Ναυσιπλοΐας	0,8	1	1	1	0,8
Παροχή Συστήματος GMDSS	0,8	1	0,8	1	0,6
Παροχή Συστήματος Ενδοεπικοινωνίας	0,4	1	0,8	1	0,3
Παροχή Τηλεφωνικού Κέντρου	0,3	1	0,8	1	0,2

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Κυρίως Μονάδα Κλιματισμού	163	1	0,5	0,4	32,6
Μονάδα Κλιματισμού Μηχανοστασίου	9	1	0,5	0,4	1,8
Κυρίως Εναλλάκτες	33	1	0,8	0,8	6,6
Εναλλάκτες Μηχανοστασίου	6	1	0,5	0,4	1,2

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Πτερύγιο Πηδαλιουχίας	300	1	0,7	1	42
Εργάτης Άγκυρας	44	0	0	1	0
Υδραυλικό Σύστημα Χειρισμού Πόρτας Γκαράζ	22	0	0	1	0



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Βιομηχανικής

Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
& ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών

Σχεδίασης και Παραγωγής



Σύστημα Πηδαλίου	10	1	0,9	1	9
Σύστημα Καθοδικής Προστασίας Πλοίου	7	1	0,8	1	7
Γερανός Σωσίβιας Λέμβου	15	1	0,8	0,1	0,3
Σύστημα Σταθεροποίησης Σκάφους	170	1	1	0,8	136
Βοηθητική Αντλία Ψύξεως Συστήματος Σταθεροποίησης Σκάφους	1,5	0,2	0,2	0,2	0,01

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Ανελκυστήρας	24	1	0,7	0,2	3,4
Υδρομασάζ	52	1	0,8	0,2	8,3
Ψυγείο Τροφοδοσίας	18	0,2	0,2	0,2	2,6
Αντλίας Πισίνας	2	1	1	0,7	1,4
Αντλίας Καθαρισμού Κυρίως Καταστρώματος	1,1	1	1	0,2	0,2
Θερμοσίφονας	72,5	1	1	0,5	36,25
Εξοπλισμός Εστίασης	70	1	1	0,8	56
Μετασχηματιστής Φωτισμού	100	1	1	0,8	80
Παροχή Πλυντηρίων	53,6	1	0,9	0,5	24
Παροχή Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	45	1	0,8	0,8	29



Παροχή Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	45	1	0,8	0,8	29
Φωτισμός Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Εξωτερικών Χώρων Σκάφους	10	1	1	0,5	5

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Διάφορων Συσκευών	30	1	0,8	0,8	19
Φορτιστής Μπαταριών Κύριας Μηχανής	7	1	1	1	7
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννητριών	6	1	1	1	6
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννήτριας Ανάγκης	1	1	1	1	1
Σταθεροποιητής 24Vdc	6	1	1	1	6
Σύστημα Ελέγχου Παραβίασης Θυρών Σκάφους	0,6	1	1	1	0,6
Σύστημα Πυρανίχνευσης	0,5	1	1	1	0,5



Τα αποτελέσματα της μελέτης των φορτίων που λειτουργούν κατά την χειμερινή περίοδο συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Περιγραφή Φορτίων	Συνολική Ισχύς	Μέσος Όρος Kn	Μέσος Όρος Kr	Μέσος Όρος Ks	Τελική Ισχύς	Ποσοστό Εγκατεστημένης
Μηχανοστάσιο	277,90	0,81	0,66	0,61	90,62	33%
Συστήματα Ελέγχου	12,80	1,00	0,87	1,00	11,1	86%
Θέρμανση, Κλιματισμός και Εξαερισμός	211,00	1,00	0,58	0,5	61,9	29%
Γάστρας	569,50	0,65	0,55	0,76	154,7	27%
Φιλοξενούμενων	517,20	0,94	0,87	0,56	236,8	46%
Διάφορα	51,10	1,00	0,97	0,97	48,1	94%

3.5.2 Ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια της διαδικασίας πρόσδεσης/απόπλου του σκάφους

Κατά την διαδικασία της πρόσδεσης ή του απόπλου του σκάφους, σύμφωνα και με τους κανονισμούς που ισχύουν, πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι και οι δυο ηλεκτρογεννήτριες πρέπει να παρέχουν ισχύ στους κυρίως ζυγούς ώστε να αποφευχθεί η απώλεια ισχύος σε περιπτώσεις όπου λόγω των αναγκών απαιτείται η λειτουργία φορτίων σε υψηλότερη από την ονομαστική ισχύ. (DNV GL SE, Οκτώβριος 2015)

Αναλυτικότερα:

- Επαρκής φωτισμός ανάγκης σε όλους τους χώρους ώστε να μπορεί να υπάρξει ανθρώπινη πρόσβαση εύκολα
- Αυτόματη σύνδεση των εφεδρικών μετασχηματιστών
- Αυτόματη εκκίνηση της ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης



Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες που περιέχουν τις ανάγκες ισχύος ανά ομάδες φορτίων.

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Αντλία Όμβριων	25	0,5	0,6	0,8	6,00
Αντλία Πυρόσβεσης	30	1	0,8	0,1	2,40
Βίντσι Αγκυρας	58	1	0,6	0,6	20,88
Σύστημα Πυρόσβεσης	90	1	0,5	0,1	4,50
Ανεμιστήρας Εξαερισμού Μηχανοστασίου	2	1	0,5	0,5	0,50
Αντλία Λυμάτων Μηχανοστασίου	3	0,7	0,7	0,7	1,03
Μονάδα Καθαρισμού Καυσίμου	1,8	1	0,9	1	1,62
Αντλία Προλίπανσης Κύριας Μηχανής	4,4	1	0,8	1	3,52
Αντλία Απορροφήσεως Απολήξεων Κυρίας Μηχανής	2,2	0,7	0,7	1	1,08
Ανεμιστήρας Παροχής Αέρα Μηχανοστασίου	11	0,5	0,5	0,5	1,38
Αεροσυμπιεστής	12	0,8	0,8	0,8	6,14
Αντλία Μεταφοράς Καυσίμου	8	0,5	0,6	0,3	0,72
Διαχωριστής Νερού από Καύσιμα	5	1	0,8	0,7	2,80
Μονάδα Ξήρανσης Αέρα	11	1	0,5	0,5	2,75



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Βιομηχανικής

Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
& ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών

Σχεδίασης και Παραγωγής



Παροχή Αυτοματισμού Ηλεκτρογεννητριών	3	1	0,9	1	2,70
Παροχή Αυτοματισμού Συστήματος Διαχείρισης Ισχύος	1,5	1	0,9	1	1,35
Αντλία Μεταφοράς Έρματος	6	0,5	0,5	0,2	0,30
Φωτισμός Μηχανοστασίου	4	1	1	0,8	3,20

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Συσκευών Γέφυρας Ελέγχου	9	1	0,8	1	7,2
Παροχή Συστήματος Επιτήρησης Σημάτων	1,5	1	1	1	1,5
Παροχή Συστημάτων Ναυσιπλοΐας	0,8	1	1	1	0,8
Παροχή Συστήματος GMDSS	0,8	1	0,8	1	0,6
Παροχή Συστήματος Ενδοεπικοινωνίας	0,4	1	0,8	1	0,3
Παροχή Τηλεφωνικού Κέντρου	0,3	1	0,8	1	0,2

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Κυρίως Μονάδα Κλιματισμού	163	1	0,7	0,9	103
Μονάδα Κλιματισμού Μηχανοστασίου	9	1	0,9	0,9	7,3



Κυρίως Εναλλάκτες	33	1	0,9	0,7	21
Εναλλάκτες Μηχανοστασίου	6	1	1	0,9	5,4

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Πτερύγιο Πηδαλιουχίας	300	1	0,7	1	42
Εργάτης Άγκυρας	44	0	0	1	0
Υδραυλικό Σύστημα Χειρισμού Πόρτας Γκαράζ	22	0	0	1	0
Σύστημα Πηδαλίου	10	1	0,9	1	9
Σύστημα Καθοδικής Προστασίας Πλοίου	7	1	0,8	1	7
Γερανός Σωσίβιας Λέμβου	15	1	0,8	0,1	0,3
Σύστημα Σταθεροποίησης Σκάφους	170	1	1	0,8	136
Βοηθητική Αντλία Ψύξεως Συστήματος Σταθεροποίησης Σκάφους	1,5	1	1	0,8	1,2

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Ανελκυστήρας	24	1	0,7	0,2	3,4
Υδρομασάζ	52	1	0,8	0,2	8,3
Ψυγείο Τροφοδοσίας	18	1	1	0,8	14
Αντλίας Πισίνας	2	1	1	0,7	1,4



Αντλίας Καθαρισμού Κυρίως Καταστρώματος	1,1	1	1	0,2	0,2
Θερμοσίφονας	72,5	1	1	0,3	22
Εξοπλισμός Εστίασης	70	1	1	0,8	56
Μετασηματιστής Φωτισμού	100	1	1	0,8	80
Παροχή Πλυντηρίων	53,6	1	0,9	0,5	24
Παροχή Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	45	1	0,8	0,8	29
Παροχή Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	45	1	0,8	0,8	29
Φωτισμός Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Εξωτερικών Χώρων Σκάφους	10	1	1	0,5	5

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Διάφορων Συσκευών	30	1	0,8	0,8	19
Φορτιστής Μπαταριών Κύριας Μηχανής	7	1	1	1	7



Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννητριών	6	1	1	1	6
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννήτριας Ανάγκης	1	1	1	1	1
Σταθεροποιητής 24Vdc	6	1	1	1	6
Σύστημα Ελέγχου Παραβίασης Θυρών Σκάφους	0,6	1	1	1	0,6
Σύστημα Πυρανίχνευσης	0,5	1	1	1	0,5

Από την ανάλυση της ζήτησης κατά την πρόσδεση ή τον απόπλου του σκάφους προκύπτουν τα παρακάτω συγκεντρωτικά στοιχεία:

Περιγραφή Φορτίων	Συνολική Ισχύς	Μέσος Όρος Kn	Μέσος Όρος Kr	Μέσος Όρος Ks	Τελική Ισχύς	Ποσοστό Εγκατεστημένης
Μηχανοστάσιο	277,9	0,85	0,7	0,64	105,8	38%
Συστήματα Ελέγχου	12,8	1,00	0,87	1,00	11,1	87%
Θέρμανση, Κλιματισμός και Εξαερισμός	211	1,00	0,88	0,85	157,8	75%
Γάστρας	569,5	0,75	0,65	0,84	233,2	41%
Φιλοξενούμενων	517,2	1,00	0,93	0,59	250,1	48%
Διάφορα	51,1	1,00	0,97	0,97	48,1	94%



3.5.3 Ζήτηση ισχύος κατά την διάρκεια της παραμονής του σκάφους στην μαρίνα

Κατά την διάρκεια της παραμονής του σκάφους στην μαρίνα, μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος, όλα τα φορτία που αφορούν την πρόωση, καθώς και γενικές λειτουργίες του σκάφους είτε υπολειπόμενες είτε γίνεται πλήρης παύση της λειτουργίας τους. Αναλυτικότερα, θα παρουσιαστεί η ζήτηση ισχύος, σε αυτή την περίπτωση, μέσα από τους παρακάτω πίνακες:

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Αντλία Όμβριων	0,5	0,6	0,8	6,00	0,5
Αντλία Πυρόσβεσης	1	0,8	0,1	2,40	1
Βίντσι Άγκυρας	1	0,6	0,2	6,96	1
Σύστημα Πυρόσβεσης	1	0,5	0,1	4,50	1
Ανεμιστήρας Εξαερισμού Μηχανοστασίου	1	0,5	0,2	0,20	1
Αντλία Λυμάτων Μηχανοστασίου	0,7	0,7	0,2	0,29	0,7
Μονάδα Καθαρισμού Καυσίμου	1	0,9	0,2	0,32	1
Αντλία Προλίπανσης Κύριας Μηχανής	1	0,8	0,2	0,70	1
Αντλία Απορροφήσεως Απολήξεων Κυρίας Μηχανής	0,7	0,7	0,2	0,22	0,7
Ανεμιστήρας Παροχής Αέρα Μηχανοστασίου	0,5	0,5	0,2	0,55	0,5
Αεροσυμπιεστής	0,8	0,5	0,5	2,40	0,8



Αντλία Μεταφοράς Καυσίμου	0,5	0,6	0,3	0,72	0,5
Διαχωριστής Νερού από Καύσιμα	1	0,5	0,5	1,25	1
Μονάδα Ξήρανσης Αέρα	1	0,5	0,5	2,75	1
Παροχή Αυτοματισμού Ηλεκτρογεννητριών	1	0,9	1	2,70	1
Παροχή Αυτοματισμού Συστήματος Διαχείρισης Ισχύος	1	0,9	1	1,35	1
Αντλία Μεταφοράς Έρματος	0,5	0,5	0,2	0,30	0,5
Φωτισμός Μηχανοστασίου	1	1	0,8	3,20	1

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Συσκευών Γέφυρας Ελέγχου	9	1	0,8	1	7,2
Παροχή Συστήματος Επιτήρησης Σημάτων	1,5	1	1	1	1,5
Παροχή Συστημάτων Ναυσιπλοΐας	0,8	1	1	1	0,8
Παροχή Συστήματος GMDSS	0,8	1	0,8	1	0,6
Παροχή Συστήματος Ενδοεπικοινωνίας	0,4	1	0,8	1	0,3
Παροχή Τηλεφωνικού Κέντρου	0,3	1	0,8	1	0,2



Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Κυρίως Μονάδα Κλιματισμού	163	1	0,5	0,5	40,75
Μονάδα Κλιματισμού Μηχανοστασίου	9	1	0,7	0,7	4,41
Κυρίως Εναλλάκτες	33	1	0,9	0,7	20,79
Εναλλάκτες Μηχανοστασίου	6	1	1	0,9	5,4

Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Πτερύγιο Πηδαλιουχίας	300	1	0	0	0
Εργάτης Άγκυρας	44	0	0	1	0
Υδραυλικό Σύστημα Χειρισμού Πόρτας Γκαράζ	22	0	0	1	0
Σύστημα Πηδαλίου	10	1	0,2	0,2	0,4
Σύστημα Καθοδικής Προστασίας Πλοίου	7	1	0,8	1	5,6
Γερανός Σωσίβιας Λέμβου	15	1	0,8	0,1	1,2
Σύστημα Σταθεροποίησης Σκάφους	170	1	0,2	0,2	6,8
Βοηθητική Αντλία Ψύξεως Συστήματος Σταθεροποίησης Σκάφους	1,5	1	0,2	0,2	0,06



Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Ανελκυστήρας	24	1	0,7	0,2	3,4
Υδρομασάζ	52	1	0,8	0,2	8,3
Ψυγείο Τροφοδοσίας	18	1	1	0,8	14
Αντλίας Πισίνας	2	1	1	0,7	1,4
Αντλίας Καθαρισμού Κυρίως Καταστρώματος	1,1	1	1	0,2	0,2
Θερμοσίφωνα	72,5	1	1	0,3	22
Εξοπλισμός Εστίασης	70	1	1	0,8	56
Μετασηματιστής Φωτισμού	100	1	1	0,8	80
Παροχή Πλυντηρίων	53,6	1	0,9	0,5	24
Παροχή Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	45	1	0,8	0,8	29
Παροχή Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	45	1	0,8	0,8	29
Φωτισμός Κυρίως και Κάτω Καταστρώματος	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Άνω Καταστρώματος και Καταστρώματος Γέφυρας Ελέγχου	12	1	1	0,8	9,6
Φωτισμός Εξωτερικών Χώρων Σκάφους	10	1	1	0,5	5



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Βιομηχανικής

Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
& ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών

Σχεδίασης και Παραγωγής



Όνομα Φορτίου	Ισχύς Φορτίων (kW)	Kn	Kr	Ks	Τελική Ισχύς (Kw)
Παροχή Διάφορων Συσκευών	30	1	0,8	0,8	19
Φορτιστής Μπαταριών Κύριας Μηχανής	7	1	1	1	7
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννητριών	6	1	1	1	6
Φορτιστής Μπαταριών Ηλεκτρογεννήτριας Ανάγκης	1	1	1	1	1
Σταθεροποιητής 24Vdc	6	1	1	1	6
Σύστημα Ελέγχου Παραβίασης Θυρών Σκάφους	0,6	1	1	1	0,6
Σύστημα Πυρανίχνευσης	0,5	1	1	1	0,5



Οι υπολογισμοί που έγιναν για την ζήτηση ισχύος του μελετούμενου σκάφους, προκύψαν τα παρακάτω συγκεντρωτικά στοιχεία:

Περιγραφή Φορτίων	Συνολική Ισχύς	Μέσος Όρος Kn	Μέσος Όρος Kr	Μέσος Όρος Ks	Τελική Ισχύς	Ποσοστό Εγκατεστημένης
Μηχανοστάσιο	277,9	0,85	0,66	0,4	62,4	22%
Συστήματα Ελέγχου	12,8	1,00	0,87	1,00	11,1	87%
Θέρμανση, Κλιματισμός και Εξαερισμός	211	1,00	0,65	0,6	82,3	39%
Γάστρας	569,5	0,75	0,28	0,46	55	9%
Φιλοξενούμενων	517,2	1,00	0,82	0,55	233,3	45%
Διάφορα	51,1	1,00	0,97	0,97	48,1	94%

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, μπορούν να ληφθούν αρκετά συμπεράσματα.

- Παρατηρείται ότι μετά την εφαρμογή των συντελεστών, υπάρχει μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση για τις πραγματικές καταναλώσεις, συνθήκη που αν συνδυαστεί με τον σωστό έλεγχο των ηλεκτρογεννητριών του σκάφους τότε μπορεί να οδηγήσει στην εξοικονόμηση καυσίμων.
- Χωρίζονται οι περιπτώσεις κατά τις οποίες διαφορετικά φορτία έχουν αυξημένη ζήτηση και μπορούν να προβλεφθούν περιπτώσεις υψηλών αυξομειώσεων ζήτησης ισχύος.



4. Ανάλυση δεδομένων με χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου

4.1 Εισαγωγή στη μηχανική μάθηση

Μηχανική μάθηση είναι η διαδικασία δημιουργίας προτύπων (μοντέλων) από ένα σύστημα με βάση κάποιο σύνολο δεδομένων. Ανά καιρούς διαφορετικοί ορισμοί έχουν δοθεί στην ευρύτερη έννοια της μηχανικής μάθησης. Ορισμένες από αυτές είναι:

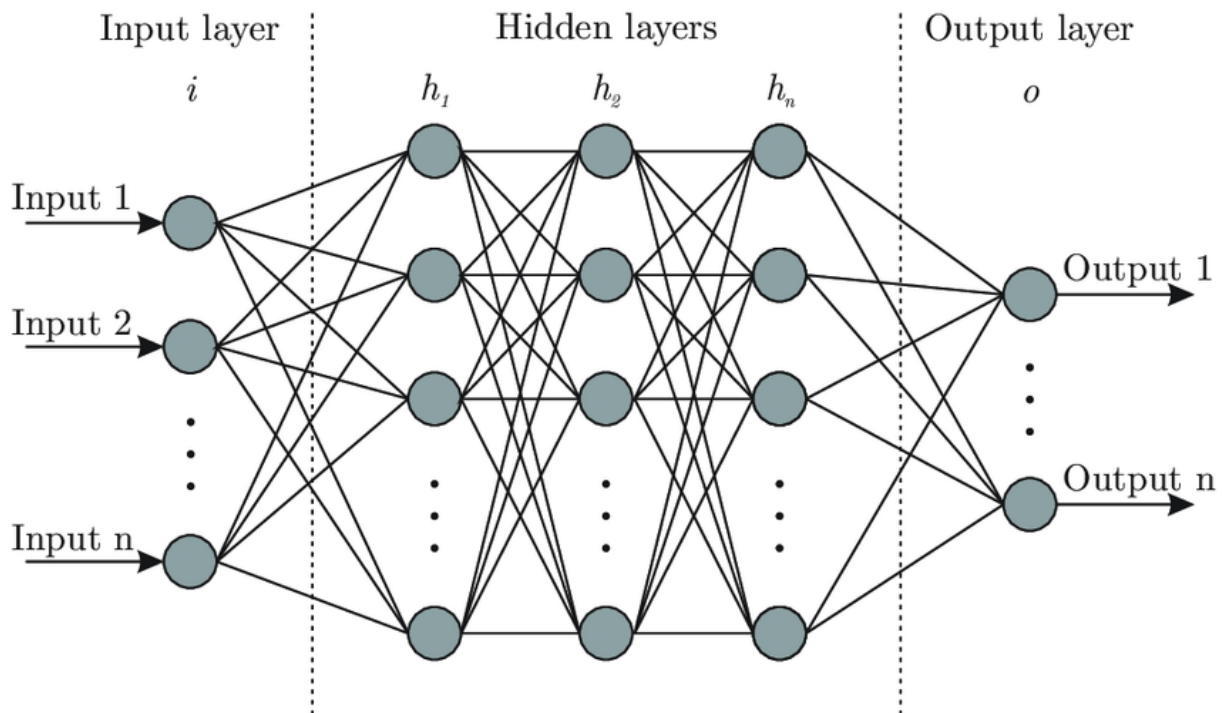
- "Μηχανική μάθηση ορίζεται η μελέτη υπολογιστικών μεθόδων για την απόκτηση νέας γνώσης, νέων δεξιοτήτων και νέων τρόπων οργάνωσης της υπάρχουσας γνώσης" (Michalski, Carbonell, & Mitchell, 1983)
- "Ένα πρόγραμμα υπολογιστή θεωρείται ότι μαθαίνει από την εμπειρία E σε σχέση με μια κατηγορία εργασιών T και μια μετρική απόδοσης P , αν η απόδοση του σε εργασίες της T , όπως μετριοούνται από την P , βελτιώνονται με την εμπειρία E " (Mitchell, 1997)
- "Κάτι μαθαίνει όταν αλλάζει τη συμπεριφορά του κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδει καλύτερα στο μέλλον" (Hall, Witten, Frank, & Pal, 2016)

Τα βασικά χαρακτηριστικά των μοντέλων μηχανικής μάθησης, η ευφυής προσέγγιση του συστήματος και η δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης του συστήματος χωρίς να χρειάζεται επιπλέον παραμετροποίηση είναι τα στοιχεία αυτά που τους δίνουν πλέον την δυνατότητα να χρησιμοποιούνται κατά κόρον για τον σχεδιασμό και την πρόβλεψη σε συστήματα διαχείρισης ενέργειας. (Simon, 2013)

4.2 Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

4.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά τεχνητών νευρωνικών δικτύων

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, τα οποία είναι και ιδιαίτερος δημοφιλή πλέον, αποτελούνται από πολλά μικρά στοιχεία, τους νευρώνες, οι οποίοι συνδέονται με σχέσεις που φέρουν συγκεκριμένο συναπτικό βάρος και αποτελούν μέρη μεγαλύτερων και πιο σύνθετων δικτύων, με κύριο χαρακτηριστικό την υψηλή υπολογιστική απόδοση. (Kubat, 2017)



Εικόνα 15. Τυπική διάταξη τεχνητού νευρωνικού δικτύου

Πιο συγκεκριμένα, ένα ΤΝΔ δύναται να εκτελέσει υπολογιστικές συναρτήσεις και, μέσω της διαδικασίας της αποθήκευσης της πληροφορίας, να επαναπροσδιορίσει τα αποτελέσματα. Για να επιτευχθεί αυτό, η δομή του δικτύου καθορίζεται από τα δεδομένα της κάθε εφαρμογής και το τελικό ζητούμενο. Γενικότερα, αξίζει να σημειωθεί, πως τα ΤΝΔ χρειάζονται μια διαδικασία μάθησης ώστε να αποκτηθεί η γνώση, καθώς και το ότι τα συναπτικά βάρη, οι σύνδεσμοι μεταξύ των μονάδων, αντικατοπτρίζουν την γνώση που αποκτήθηκε.

Τα συναπτικά βάρη που προαναφερθήκαν αποτελούν τις συνδέσεις μεταξύ των τεχνητών μονάδων ενός ΤΝΔ και ορίζονται από τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης της σύνδεσης. Οι τιμές των συναπτικών βαρών μπορεί να διαφοροποιηθούν καθώς ένα ΤΝΔ εκπαιδεύεται και αλληλοεπιδρά, δύναται είτε να αυξηθούν είτε να μειωθούν. Ως γενικός ορισμός, όλη η διαδικασία της μηχανικής μάθησης αντικατοπτρίζεται στις τιμές που λαμβάνουν τα συναπτικά βάρη.

Κατά την δημιουργία ενός ΤΝΔ, τα παρακάτω στοιχεία πρέπει να καθοριστούν:

- Τύπος τροφοδότησης
- Εσωτερική δομή
- Τρόπος εκπαίδευσης
- Διαδικασία Ανάκλησης

Τα ΤΝΔ χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένες οι μονάδες:



- Συστήματα πρόσθιας τροφοδότησης
- Συστήματα οπίσθιας τροφοδότησης

Ως σύστημα πρόσθιας τροφοδότησης χαρακτηρίζεται το δίκτυο στο οποίο οι πληροφορίες κινούνται μόνο σε μια κατεύθυνση, από τις μονάδες εισόδου στις μονάδες εξόδου, περνώντας από το κρυφό επίπεδο, όπου αυτό υφίσταται. Σε αυτού του είδους τα δίκτυα, δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της ανατροφοδότησης κάποιων μονάδων.

Αντιθέτως στα συστήματα οπίσθιας μετάδοσης, τα οποία στην βιβλιογραφία ονομάζονται και ανατροφοδοτούμενα, είναι επιτρεπτή η τροφοδότηση μονάδων ενός επιπέδου από μονάδες οι οποίες ανήκουν σε προηγούμενο επίπεδο ή ακόμα και στο ίδιο επίπεδο. Οι ανατροφοδοτήσεις που αφορούν μονάδες που ανήκουν σε προηγούμενο επίπεδο ονομάζονται και ετεροσυσχετιζόμενες μνήμες, ενώ εκείνες που αφορούν το ίδιο επίπεδο ονομάζονται αυτοσυσχετιζόμενες μνήμες.

Η εσωτερική δομή ενός ΤΝΔ χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ή μη πολλών επιπέδων, διαχωρίζοντας τα σε στοιχειώδη και πολυεπίπεδα. Ως στοιχειώδη ΤΝΔ χαρακτηρίζονται τα δίκτυα που δεν διαθέτουν κρυφά επίπεδα και, γενικά, είναι ικανά να επιλύσουν οποιαδήποτε γραμμική συνάρτηση. Τα πολυεπίπεδα ΤΝΔ μπορεί να είναι απλά, δηλαδή να διαθέτουν μόνο ένα κρυφό επίπεδο είτε πολλαπλά κρυφά επίπεδα ώστε να επιλύσουν πιο σύνθετα προβλήματα. Οι μονάδες μπορεί να είναι μερικώς συνδεδεμένες με τις μονάδες του επόμενου επιπέδου είτε πλήρως συνδεδεμένοι.

Όσον αφορά την εκπαίδευση ενός ΤΝΔ διακρίνονται τα παρακάτω είδη:

- Εκπαίδευση με επίβλεψη
- Εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη

Εάν επιλεγθεί το ΤΝΔ να εκπαιδευτεί με επίβλεψη, το δίκτυο, κατά την αρχή της εκπαίδευσης, τροφοδοτείται από μια σειρά πρότυπων αλληλουχιών μετρήσεων με σκοπό οι παράμετροι του δικτύου να προσαρμοστούν και να καταφέρει πλέον το δίκτυο να αποφέρει σωστά αποτελέσματα σε άγνωστα δείγματα. Οι συνηθέστερες εφαρμογές για αυτά τα ΤΝΔ είναι εφαρμογές ταξινόμησης, παλινδρόμησης κ.α.

Τα βήματα με τα οποία εκπαιδεύεται ένα δίκτυο με επίβλεψη είναι τα παρακάτω:

- Καθορίζονται οι αλληλουχίες μετρήσεων εκπαίδευσης.
- Οριστικοποιούνται τα τελικά δεδομένα εκπαίδευσης τα οποία έχουν προκύψει από το φιλτράρισμα των πρωτογενών δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν και τα πρώτα δεδομένα που τροφοδοτούνται στις εισόδους του δικτύου.
- Διαμορφώνεται ένας ικανοποιητικός αριθμός από αλληλουχίες μετρήσεων και επιλέγονται οι επιθυμητές τιμές εξόδου.
- Γίνεται επιλογή του αλγόριθμου εκπαίδευσης. Στο ΤΝΔ που θα μελετηθεί παρακάτω, ο αλγόριθμος εκπαίδευσης θα είναι ο αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης λάθους.
- Ο επιλεγμένος αλγόριθμος εκπαίδευσης τροφοδοτείται με τις αλληλουχίες μετρήσεων που έχουν επιλεγθεί ώστε να αποτελούν τα δεδομένα εκπαίδευσης. Εφόσον η



διαδικασία της εκπαίδευσης είναι επιτυχής, αναμένεται το ΤΝΔ να αποδώσει τιμές διάφορων παραμέτρων όπως π.χ. τιμή κατωφλίου, συναπτικά βάρη κ.α. σε τιμές που είναι αποδεκτές από τον σχεδιαστή του δικτύου.

- Το τελευταίο στάδιο είναι η ανάκληση. Κατά την διαδικασία της ανάκλησης το δίκτυο τροφοδοτείται με πρότυπες αλληλουχίες μετρήσεων ώστε να επικυρωθεί η ικανότητα γενίκευσης του δικτύου. Σημειώνεται πως αυτές οι πρότυπες αλληλουχίες μετρήσεων αποφεύγεται να βρίσκονται στα δεδομένα εκπαίδευσης, ειδάλλως αναιρείται η διαδικασία επικύρωσης.

Κατά την εκπαίδευση ενός ΤΝΔ χωρίς επίβλεψη, το δίκτυο, εκκινώντας την εκπαίδευση, τροφοδοτείται από μια σειρά πρότυπων αλληλουχιών μετρήσεων, οι οποίες και ομαδοποιούνται ανάλογα τα κοντινά χαρακτηριστικά τους. ΤΝΔ εκπαιδευμένα χωρίς επίβλεψη συνηθίζεται να έχουν εφαρμογή σε περιπτώσεις συσταδοποίησης, μείωσης διαστάσεων κ.α. Τυπικό χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι η έλλειψη στόχων και, ουσιαστικά, ο αλγόριθμος εκπαίδευσης καλείται να αναπτύξει και να βελτιώσει το δίκτυο θέτοντας σε σύγκριση αλληλουχίες μετρήσεων από διαφορετικά πρότυπα κατασκευασμένα για εκπαίδευση

Στην παρούσα εργασία θα γίνει ανάλυση δεδομένων ώστε να επιτραπεί η παραγωγή αξιόπιστων αποφάσεων και αποτελεσμάτων και να θεμελιωθούν αλληλοσυσχετίσεις, λαμβάνοντας υπόψιν την επανάληψη ενός φαινομένου καθώς και την αλληλουχία συγκεκριμένων τιμών δεδομένων.

Για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ισχύος, δημιουργήθηκε ένα ΤΝΔ τύπου Perceptron με πολλαπλά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, το συγκεκριμένο πρόσθιας τροφοδότησης ΤΝΔ αποτελείται από τρία μέρη:

- Επίπεδο Εισόδου
- Κρυφό Επίπεδο
- Επίπεδο Εξόδου

Η επιλογή της χρήσης ενός μόνο κρυφού επιπέδου έγινε για να εξασφαλιστεί η ικανοποιητική υπολογιστική ισχύς του ΤΝΔ λόγω της ύπαρξης αρκετών μονάδων εισόδου και συνδέσεων στο κρυφό επίπεδο.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το πρώτο βήμα για την ολοκλήρωση του ΤΝΔ είναι η εκπαίδευση. Για την εκπαίδευση του ΤΝΔ, χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης λάθους (ΑΟΛ) ώστε το μοντέλο να εκπαιδευτεί με επίβλεψη.

Ο ΑΟΛ αποτελείται από δυο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι η πρόσθια σύνδεση όλων των μονάδων εισόδων με όλες τις μονάδες του κρυφού επιπέδου και τελικά με τις μονάδες εξόδου. Η πρώτη φάση τελειώνει με τον υπολογισμό μιας τιμής σφάλματος που είναι αποδεκτή σε συνάρτηση με την επιθυμητή τιμή. Κατά την δεύτερη φάση, την οπισθοδιάδοση, το σφάλμα αναθεωρείται προς την οπίσθια κατεύθυνση, πιο συγκεκριμένα από τις μονάδες εξόδου προς τις μονάδες εισόδου μέσω του κρυφού επιπέδου. Αυτή η κατάσταση της οπισθοδιάδοσης γίνονται διορθώσεις στα συναπτικά βάρη ώστε να ελαχιστοποιηθεί το



σφάλμα. Το δεύτερο σκέλος του ΑΟΛ είναι και αυτό που ορίζει την ίδια την ονομασία του αλγορίθμου. (Aggarwal, 2018)

4.3 ΤΝΔ πρόβλεψης κατανάλωσης ισχύος

Η δυνατότητα των συστημάτων διαχείρισης ισχύος να έχουν μεγάλη εξόρυξη δεδομένων από διάφορες διεργασίες και καταστάσεις έχει ως αποτέλεσμα την συσσώρευση μεγάλου όγκου από πληροφορίες. Μια τέτοιου είδους πρόσβαση σε δεδομένα μπορεί, υπό συνθήκες, να οδηγήσει σε λήψη αποφάσεων με σκοπό την βελτιστοποίηση του συστήματος.

4.3.1 Ανάλυση Δεδομένων Εισόδου

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα, οι αποθηκευμένες καταγραφές του συστήματος διαχείρισης πλοίου, καθώς και καταγραφές από διάφορες άλλες διατάξεις εγκαταστημένες στο σκάφος όπως για παράδειγμα ο υπολογιστής ταξιδιού.

Λόγω της αναγκαιότητας ποικιλομορφίας των αλληλουχιών μετρήσεων η περίοδος δειγματοληψίας περιελάμβανε την μετάβαση από καλοκαιρινή περίοδο σε χειμερινή. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη μιας κλιματιστικής μονάδας μεγάλης ισχύος, όπως έχει παρουσιαστεί νωρίτερα, μπορεί να προκαλέσει ανομοιομορφία (overshoot) στις αλληλοσυσχετίσεις μονάδων εισόδου και εξόδου.

Τα αρχικά δεδομένα που είχαν ληφθεί από το σύστημα διαχείρισης ισχύος είναι τα παρακάτω:

- ΗΜΕΡΑ

Για το χαρακτηριστικό «ΗΜΕΡΑ», οι καταγραφές έχουν την μορφή ημερομηνίας. Πρακτικά, το δεδομένο ημέρα δεν συνεισφέρει στον υπολογισμό της τιμής εξόδου. Η αρχική τιμή που παίρνει το συγκεκριμένο δεδομένο είναι 15/8/2019 και η τελική 15/11/2019.

- ΩΡΑ

Για το χαρακτηριστικό «ΩΡΑ», οι καταγραφές που έχουν ληφθεί είναι ωριαίες και παίρνουν τιμές από το 1 έως το 24, αντικατοπτρίζοντας τις 24 ώρες που έχει η ημέρα.

- ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Για το χαρακτηριστικό «ΠΕΡΙΟΔΟΣ», οι καταγραφές αντικατοπτρίζουν την περίοδο κατά την οποία έχει ληφθεί η κάθε μέτρηση. Οι επιστρεφόμενες τιμές είναι το 1 για δεδομένα κατά την καλοκαιρινή περίοδο και το 2 για δεδομένα τα οποία έχουν ληφθεί κατά την χειμερινή περίοδο.



- ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Για το χαρακτηριστικό «ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ», οι καταγραφές αφορούν την κατάσταση που βρίσκεται την συγκεκριμένη στιγμή το σκάφος. Πιο αναλυτικά και όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα, το σκάφος μπορεί να βρίσκεται σε διάφορες καταστάσεις και αναλόγως την κατάσταση η απαιτούμενη ισχύς διαφοροποιείται. Οι καταστάσεις αυτές είναι οι παρακάτω:

1. Εν πλω, με επιστρεφόμενη τιμή το 1
2. Προσδεμένο, με επιστρεφόμενη τιμή το 2
3. Ελλιμενισμός, με επιστρεφόμενη τιμή το 3

- ΑΤΟΜΑ

Για το χαρακτηριστικό «ΑΤΟΜΑ», οι καταγραφές αφορούν τα άτομα που έχουν επιβιβαστεί στο σκάφος. Όπως έχει αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο, ο μέγιστος αριθμός πληρώματος είναι 26 και ο μέγιστος αριθμός επισκεπτών είναι 12. Όπως συνεπάγεται, οι τιμές που μπορεί να πάρει το χαρακτηριστικό είναι από 0 έως 36. Αξίζει να σημειωθεί πως στις αλληλουχίες μετρήσεων δεν εμφανίζονται τιμές από 0 έως και 5 λόγω των βαρδιών που υπάρχουν στο σκάφος, ακόμα και τον καιρό που δεν είναι ναυλωμένο. Τέλος, η επιστρεφόμενη τιμή για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό υπολογίζεται ανά 24 ώρες λόγω της αναγκαιότητας για χειροκίνητη εισαγωγή από κάποιον αξιωματικό του σκάφους.

- ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΛΟΙΟΥ

Για το χαρακτηριστικό «ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΛΟΙΟΥ», οι καταγραφές παίρνουν τιμές από 0 έως και 18 και εκφράζουν τους κόμβους με τους οποίους κινείται το σκάφος. Οι συγκεκριμένες καταγραφές μπορούν να έχουν ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου.

- ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Για το χαρακτηριστικό «ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ», οι καταγραφές παίρνουν τιμές από 0 έως 100 και εκφράζουν την εξωτερική θερμοκρασία κατά την στιγμή της μέτρησης. Όπως είναι κατανοητό το εύρος των δυνατών μετρήσεων είναι προκαθορισμένο από τον αισθητήρα που χρησιμοποιείται για να γίνει η μέτρηση θερμοκρασίας.

- ΥΓΡΑΣΙΑ

Για το χαρακτηριστικό «ΥΓΡΑΣΙΑ», οι καταγραφές παίρνουν τιμές από 0 έως 100 και εκφράζουν την τιμή της υγρασίας κατά την στιγμή της μέτρησης.



- ΤΙΜΗ ΙΣΧΥΟΣ

Για το χαρακτηριστικό «ΤΙΜΗ ΙΣΧΥΟΣ», τα δεδομένα που έχουν ληφθεί έχουν τιμές από 0 έως 720 και είναι έκφραση της ενεργού ισχύος την στιγμή της μέτρησης. Οι τιμές δειγματοληψίας για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό έχουν ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου.

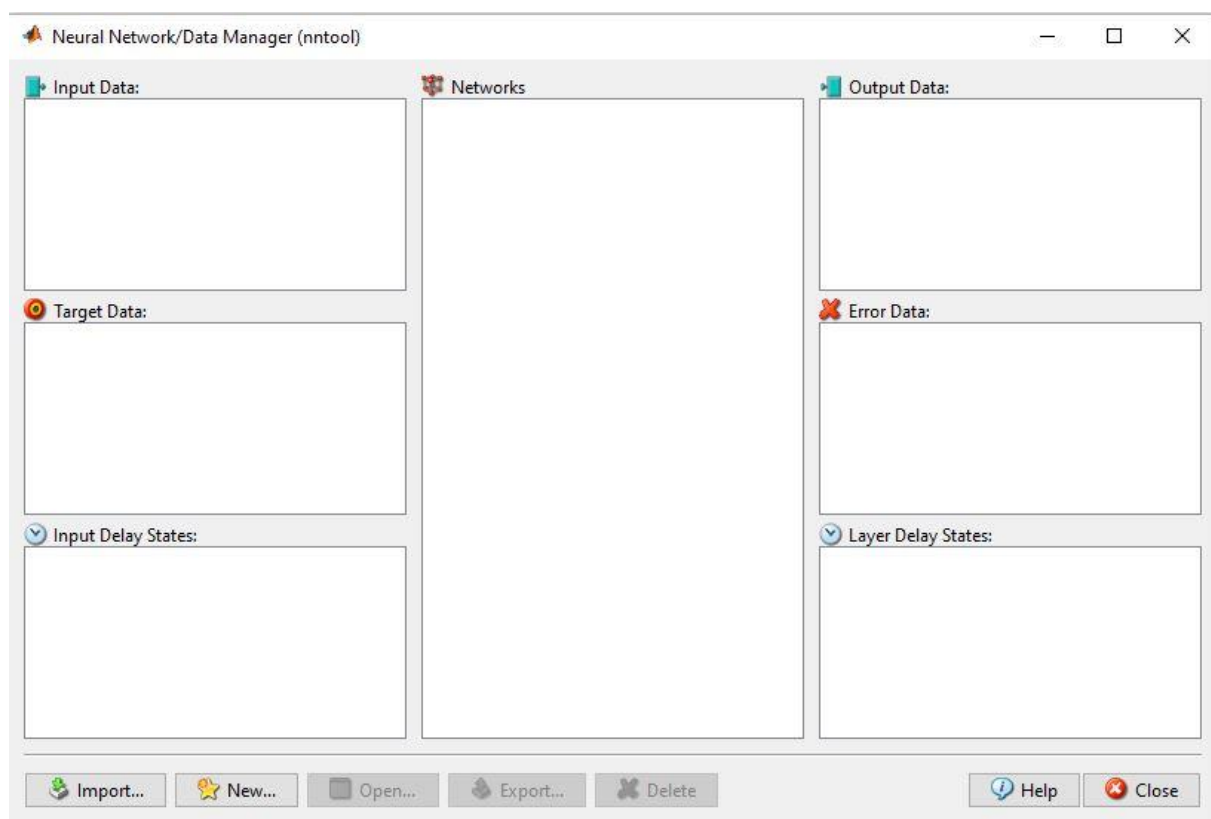
Για την εκπαίδευση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί διάφορα σετ παραμέτρων όπως π.χ. η κατανάλωση την επόμενη μέρα, η κατανάλωση της εβδομάδας κ.α.

Το δεδομένο «ΙΣΧΥΣ» θα είναι και αυτό το οποίο θα κληθεί το ΤΝΔ να υπολογίσει.

4.3.2 Εισαγωγή δεδομένων στο MATLAB

Για την παρούσα εργασία, θα χρησιμοποιηθεί το Neural Network toolbox, ένα λογισμικό σχεδίασης και ανάπτυξης νευρωνικών δικτύων που έχει απήχηση. Η ευκολία στην χρήση κάνει το toolbox αρκετά διαδεδομένο ως προσιτό εργαλείο.

Το Neural Network toolbox ενεργοποιείται πληκτρολογώντας την εντολή nntool στο Command Window της MATLAB.



Εικόνα 16. Αρχική σελίδα nntool



Προκειμένου να δημιουργήσουμε και στη συνέχεια να εκπαιδύσουμε ένα νευρωνικό δίκτυο πρέπει να ορίσουμε τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου καθώς επίσης και τα δεδομένα που περιέχουν.

Το συγκεκριμένο toolbox επιτρέπει την είσοδο δεδομένων απευθείας από το τρέχον workspace είτε από άλλο ανεξάρτητο αρχείο.

Στο επόμενο βήμα γίνεται καθορισμός των δομικών στοιχείων ενός ΤΝΔ. Τα δομικά στοιχεία που πρέπει να οριστούν είναι:

- Είσοδος
- Έξοδος
- Αριθμός Νευρώνων (ανά επίπεδο)
- Συνάρτηση Ενεργοποίησης (ανά νευρώνα)
- Αλγόριθμος Εκπαίδευσης
- Συνάρτηση σφάλματος

Για ευκολία, οι τιμές εισόδου έχουν λάβει την μορφή matrix, ονομασία «reaccesstestinput» και έχουν εισαχθεί στο Workspace του Matlab. Παρομοίως, η επιθυμητή τιμή εξόδου έχει λάβει την μορφή matrix, ονομασία «reaccesstestoutput» και έχει εισαχθεί στο Workspace του Matlab. Οι προαναφερθείσες μετρήσεις θα χρησιμοποιηθούν ώστε δεδομένα εκπαίδευσης του ΤΝΔ.

Παράλληλα, το εκπαιδευμένο ΤΝΔ θα δοκιμαστεί με τις αλληλουχίες δεδομένων «finalinput» και «finaloutput» αντίστοιχα.

Συνεχίζοντας την ρύθμιση του nntool, στην επόμενη σελίδα, πρέπει να γίνει παραμετροποίηση του ΤΝΔ. Οι παράμετροι είναι οι παρακάτω:

- Network Type

Για την παράμετρο network type υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:

1. Cascade Forward-Backprop
2. Competitive
3. Elman Backprop
4. Feed-Forward Backprop
5. Feed-Forward Distributed Time Delay
6. Feed-Forward Time-Delay
7. Generalized Regression
8. Hopfield
9. Layer Recurrent
10. Linear Layer (Design)
11. Linear Layer (Train)
12. LVQ
13. NARX
14. NARX Series-Parallel



15. Perceptron
16. Probabilistic
17. Radial Basis (Exact Fit)
18. Radial Basis (Fewer Neurons)
19. Self-Organizing Map

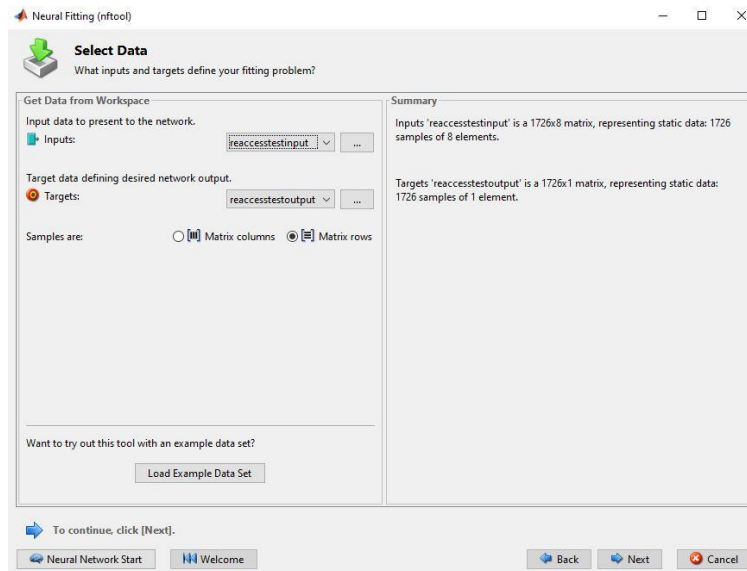
Για την εφαρμογή που έχει αναλυθεί, θα επιλεγεί η επιλογή Feed-Forward Backprop.

- Input Data
- Target Data
- Training Function

Για την εκπαίδευση του ΤΝΔ μέσω του nntool υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:

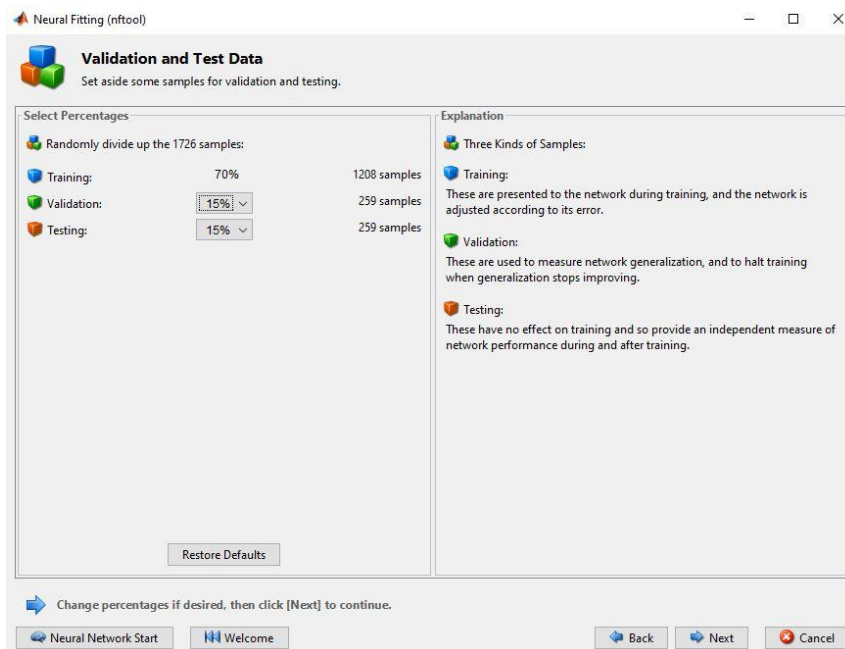
1. Trainlm (Levenberg-Marquards)
 2. Trainbfg (BFGS Quasi-Newton)
 3. Trainrp (Resilient Backpropagation)
 4. Trainscg (Scaled Conjugate Gradient)
 5. Traincgb (Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts)
 6. Traincgm (Fletcher-Powell Conjugate Gradient)
 7. Traincgp (Polak-Ribiere Conjugate Gradient)
 8. Trainoss (One Step Secant)
 9. Traingdx (Variable Learning Rate Backpropagation)
- Adaption Learning Function
 - 1. Learngd
 - 2. Learnadm
- Performance Function
 - 1. MSE (Mean squared error performance function)
 - 2. MSEREG (Mean squared error w/reg performance function)
 - 3. SSE (Sum squared error performance function)
- Number of layers
 - Number of neurons
 - Transfer Function
 - 1. LOGSIG
 - 2. PURELIN
 - 3. TANSIG

Στην εφαρμογή της διατριβής, το ΤΝΔ είναι εμπρόσθιας τροφοδότησης (feed-forward) δύο επιπέδων με νευρώνες που χρησιμοποιούν σιγμοειδείς συναρτήσεις ενεργοποίησης στο κρυφό επίπεδο και γραμμικές στο επίπεδο εξόδου. Το δίκτυο θα εκπαιδευτεί βάσει του αλγορίθμου backpropagation των Levenberg-Marquardt. Η συνάρτηση που έχει επιλεγεί είναι η tansig διότι εμφανίζει μικρότερες τιμές μέσου σφάλματος από τις υπόλοιπες συναρτήσεις που δοκιμάστηκαν.



Εικόνα 17. Εισαγωγή Δεδομένων Εισόδου-Εξόδου

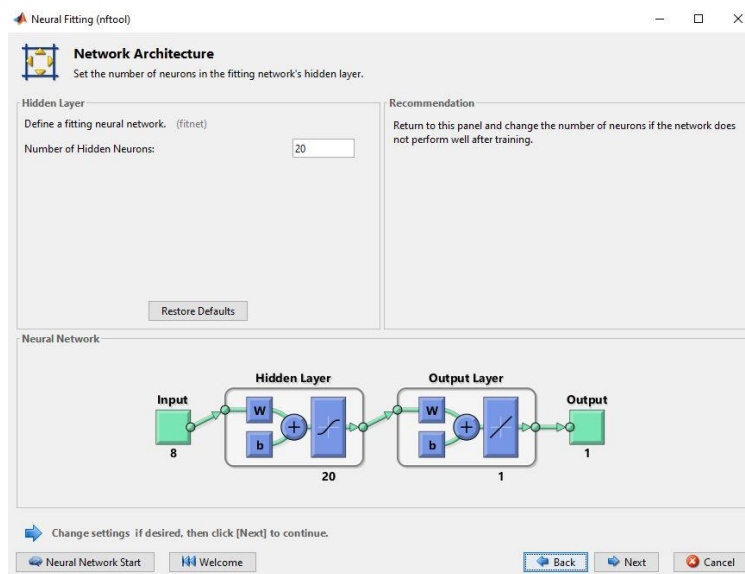
Στο επομενό βήμα, ορίζονται οι παράμετροι και τα ποσοστά training, validation και testing των. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, το ποσοστό training έχει οριστεί στο 70%, το ποσοστό validation στο 15% και το ποσοστό testing 15%.



Εικόνα 18. Παράμετροι ΤΝΔ



Έπειτα, ορίζεται ο αριθμός των κρυφών νευρώνων όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Για την δοκιμή του ΤΝΔ της παρούσας διατριβής έχει επιλεγθεί ο αριθμός των κρυφών νευρώνων να είναι 20. Στο συγκεκριμένο βήμα, υπάρχει πλέον εικόνα της συνολικής αρχιτεκτονικής του δικτύου, όπως και αποτυπώνεται στην εικόνα 20.



Εικόνα 19. Αρχιτεκτονική δικτύου και αριθμός κρυφών νευρώνων

Στο τελικό στάδιο, γίνεται η εκπαίδευση του ΤΝΔ και λαμβάνονται τιμές για το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error) και την παλινδρόμηση (Regression). Για την καλύτερη απόδοση του συστήματος, έγιναν πολλαπλές εκπαίδευσης (train) του συστήματος και παρουσιάζονται οι τιμές που απέδωσε η καλύτερη εκπαίδευση. Αξίζει να σημειωθεί πως όλες οι προσπάθειες είχαν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά που παρουσιάζονται.

Πιο αναλυτικά, για τις τιμές που αναλύθηκαν είχαμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ 20 ΚΡΥΦΟΥΣ ΝΕΥΡΩΝΕΣ			
	Training 70%	Validation 15%	Testing 15%
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
MSE	2255,8	3367,52	2832,70
R(metric)	0,952	0,9329	0,9515



Train Network
Train the network to fit the inputs and targets.

Train Network
Choose a training algorithm:
Levenberg-Marquardt

This algorithm typically requires more memory but less time. Training automatically stops when generalization stops improving, as indicated by an increase in the mean square error of the validation samples.

Train using Levenberg-Marquardt: (trainIn)
Retrain

Results

	Samples	MSE	R
Training:	1562	2255.80783e-0	9.52610e-1
Validation:	335	3367.52398e-0	9.32895e-1
Testing:	335	2832.70832e-0	9.51534e-1

Plot Fit Plot Error Histogram Plot Regression

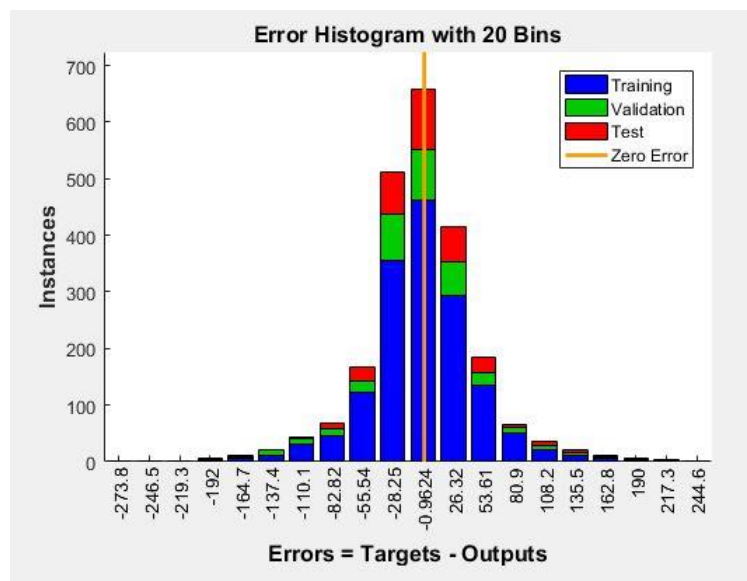
Notes

Training multiple times will generate different results due to different initial conditions and sampling.

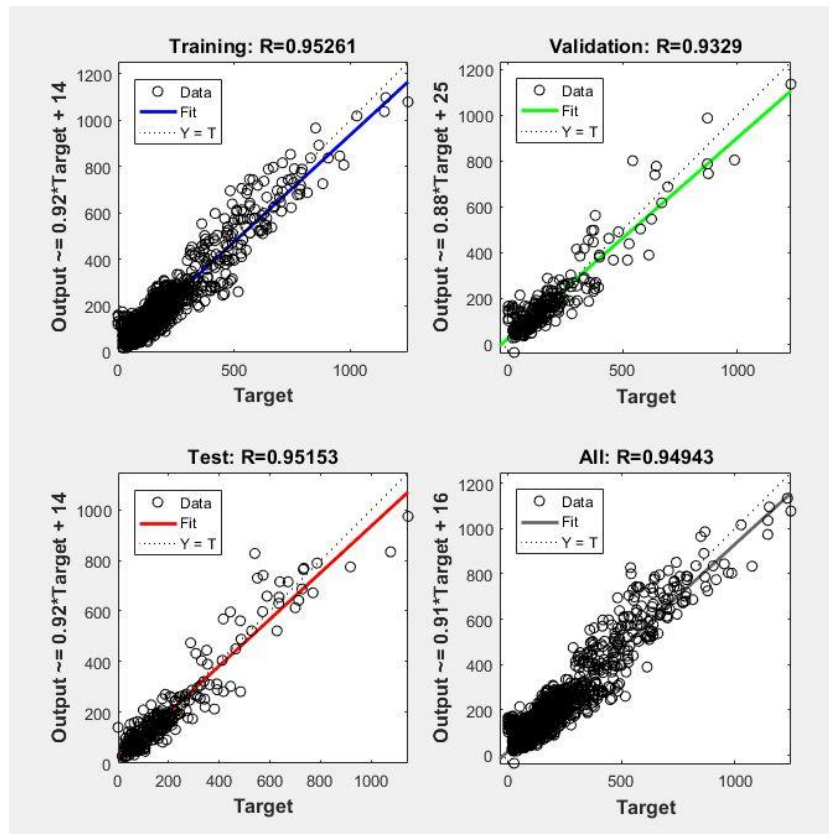
Mean Squared Error is the average squared difference between outputs and targets. Lower values are better. Zero means no error.

Regression R Values measure the correlation between outputs and targets. An R value of 1 means a close relationship, 0 a random relationship.

Εικόνα 20. Αποτελέσματα δοκιμής



Εικόνα 21. Γραφικές Παραστάσεις Error Histogram Δοκιμής



Εικόνα 22. Γραφική Παράσταση Regression

Ο ολοκληρωμένος αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στο matlab είναι ο παρακάτω:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction, 11-May-2020
18:27:53.
%
% [Y] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = Qx8 matrix, input #1 at timestep ts.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = Qx1 matrix, output #1 at timestep ts.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>
```




```
% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====
```

```
% Input 1
```

```
x1_step1.xoffset = [1;1;12;1;0;17.1;44;1];  
x1_step1.gain =  
[0.0869565217391304;2;0.125;1;0.128205128205128;0.143884892086331;0.0487804  
878048781;0.0714285714285714];  
x1_step1.ymin = -1;
```

```
% Layer 1
```

```
b1 = [-4.275131042031493;6.5051606007144409;-0.50486531166103576;-  
2.1710262681363539;2.6538119090827488;1.0931368926955052;-  
0.32795349070723073;5.1634012016959554;-  
1.8596319704501869;0.40429919359828198;3.20018905877295;0.6543082518981157;  
0.79363231620266839;5.9794610212711969;-  
2.6226648189927237;0.85542233845149129;-  
7.4857173485424093;3.0941499732088165;-1.2246621124505312;-  
2.4805488942717844];  
IW1_1 = [-0.014287031430037584 -3.6710317703950648 0.36306082837271025  
2.2807406504875933 0.54101601988897574 0.058551966727320881  
0.049566884636064602 2.4386392079898678;-0.90424747518896342  
2.9907400954236003 0.44334662945385478 3.7236847677439453  
2.0032026358145099 -0.22265074119191669 2.229330393259092  
0.59333375541415589;-0.015617392156418223 -0.10257889701223763  
0.47490513288253305 0.17062392548081334 0.73096986456420965  
0.17667822925131071 0.15337042832114262 1.2415862252400867;-  
1.192295186924085 -0.94791373069155183 -0.52952945661206829 -  
7.3799724750737834 -2.7110352122732979 1.5769083484317143  
2.7516186424644076 -1.689544083199306;0.0084769060309500682  
0.62490238709395918 -0.023712693480773813 0.82875094489685053 -  
0.24227780882179414 0.12324879282865724 0.072445635730563118  
1.6814842674931934;2.9961974694624858 2.8581172464822728 -3.101651748431915  
-0.54229688976349744 0.42731247061184335 3.8439417947328889  
2.86206995690427 3.6286683759032039;-0.029062838858987118 -  
1.7028317472844612 -0.0060574615019783739 3.3041915563819075  
1.3997583311890738 0.24904392585031651 0.2801415472847511 -  
2.3397911358878876;0.42175572287711244 0.63525424425059818  
1.4272386813298377 4.9709290167139439 -0.52090960521719243  
0.33639941655371636 0.039580419021379924 1.4051300103662012;-  
0.012538260799211793 1.8511823077923653 0.93173747124335149 -  
4.4625366366259636 -2.1925354324751507 0.31049043137033439  
0.23965622216464733 1.3762457750880621;1.6688775785225403 -  
0.70965563208195459 0.16448351392189073 1.1365361657712054  
0.21658365734253615 -0.068197947983711274 0.41915677518409555 -  
0.8921412636072017;0.0066033106912739255 1.454399595650999 -  
0.21895553853394362 3.9281988655900086 2.0160775902180057 -  
0.26120175521495853 -0.12457300105064523 -2.8941586746733199;-  
0.37051320482890626 0.70687173676087189 -2.5218794095797294  
1.3010578902978576 -0.82916844946087409 2.2490609050415253  
1.3768593221586747 2.4115316507544193;0.39975553937811797 -
```



```
0.90243115012616548 2.8907245190267501 3.0423077567846839 2.521492182565515
-2.3444945140864335 -1.5445652440724964 -
3.12768477343861;4.2577435042058092 -0.97978864767387208 -3.157511476203025
2.9596592979321867 -0.8382033367176851 0.35035543418898585 -
9.3901819999587417 -0.32046596877605721;4.5212020875309271 -
1.5186696474168522 2.8365484545429078 -3.7086190036842752 3.765834272401221
-0.082910711093116873 -1.1373931068666738 -2.7613878332685577;-
0.0075264884321029971 0.63777836178045166 0.43421921188183171 -
3.8817881824485445 0.45787329018079703 -0.24110029509357259 -
0.13243588452523911 0.83804271047877066;0.0051025859836413149
1.8325812605439027 -0.80061625720517349 -0.2240874667078466 -
3.4454351556398901 -0.313169201703482 -0.19596873402459875 -
1.6484906794167802;0.81458221840338751 4.059836762746861 -
1.3385185435863227 0.61001277555265387 5.5119862599052079 -
0.16032256396415068 10.991750983337877 2.0094190150677922;-
0.018892878141627913 -0.68983567842975557 0.30770438716023096 -
0.0075737127236363763 0.27705164364171986 0.041787479811597729
0.064657845419768559 1.237520378193242;0.0078147497615443269
0.62667133007346021 0.12317721645508115 -7.1529362554537528 -
1.6041764723887397 0.10414873378533937 0.075766591868452415 -
0.12215417897985231];
```

```
% Layer 2
```

```
b2 = -1.3410494012869036;
LW2_1 = [0.24702450401220996 0.0083536080334653245 1.6348196708746288
0.00037398626583383138 0.663951287335804 -0.00077109277233855988
0.16738663105432108 0.48877541334966157 -0.36498618358391238 -
0.0046158926569306643 -0.2315623783750666 0.023450897867531722
0.020039268408092493 0.00089770924051915852 -0.00036420751551044815
0.26454398977311766 -0.27432062643460242 0.00060560100949246757 -
1.7173095420202864 0.85029660633831716];
```

```
% Output 1
```

```
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 0.00292400209061314;
y1_step1.xoffset = 9.603410101;
```

```
% ===== SIMULATION =====
```

```
% Format Input Arguments
```

```
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
```

```
% Dimensions
```

```
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},1); % samples/series
else
    Q = 0;
end
```



```
% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Input 1
    X{1,ts} = X{1,ts}';
    Xp1 = mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1);

    % Layer 1
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*Xp1);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} = mapminmax_reverse(a2,y1_step1);
    Y{1,ts} = Y{1,ts}';
end

% Final Delay States
Xf = cell(1,0);
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y = mapminmax_apply(x,settings)
y = bsxfun(@minus,x,settings.xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings.gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings.ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x = mapminmax_reverse(y,settings)
x = bsxfun(@minus,y,settings.ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings.gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings.xoffset);
end
```



5. Συμπεράσματα

Καθώς, με την βοήθεια του nntool του Matlab, δημιουργήθηκε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο για την επεξεργασία και αξιοποίηση των δεδομένων που καταγράφονται από το σύστημα διαχείρισης ισχύος του μελετούμενου σκάφους, παρατηρήθηκε ότι με μεγάλη ακρίβεια μπορεί να προβλεφθεί η κατανάλωση ισχύος του σκάφους, βασίζοντας την εκτίμηση σε μερικά γενικά χαρακτηριστικά όπως η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου κ.α.

Κατά την εκτέλεση των δοκιμών διαπιστώθηκε ότι αφαιρώντας κάποιο χαρακτηριστικό, το ΤΝΔ φθίνει σε αξιοπιστία στην τελική εκτίμηση και θα πρέπει να αποφευχθεί η παράληψη κάποιου από τα δεδομένα εισόδου.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του ΤΝΔ με την κλασσική θεωρητική προσέγγιση της κατανάλωσης ισχύος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το αναπτυγμένο μοντέλο προσφέρει μια επιπλέον πληροφορία στον χειριστή, βελτιώνοντας και απλοποιώντας την λειτουργία του ευρύτερου ηλεκτρικού δικτύου του σκάφους.

Μέσω της ανάπτυξης του μοντέλου, και με διαρκή επαναξιολόγηση της διαδικασίας με την εισαγωγή νέων δεδομένων, δίνεται η ευκαιρία της μερικής εξοικονόμησης, μέσω της δυναμικής πληροφόρησης για την ζήτηση ισχύος.

Τελικά, ο κώδικας που έχει προκύψει από όλη την επεξεργασία δεδομένων και την χρήση διαφορετικών τεχνικών στην παραμετροποίηση των ΤΝΔ μπορεί μελλοντικά να προσαρμοστεί και να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου η εκτίμηση κατανάλωσης ισχύος μπορεί να λύσει είτε διαχειριστικά προβλήματα όπως ο έγκαιρος εφοδιασμός του πλοίου με καύσιμα είτε ζητήματα πρόβλεψης επισκευής κάποιας ηλεκτρογεννήτριας κ.α.



6. Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1. Πλαϊνή όψη ηλεκτρογεννήτριας C18	- 13 -
Εικόνα 2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά C18	- 13 -
Εικόνα 3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά C18	- 14 -
Εικόνα 4. Τεχνικά Χαρακτηριστικά C18	- 14 -
Εικόνα 5. Γραφική Παράσταση Καταναλώσεων – Ισχύος Κυρίων Ηλεκτρογεννητριών ..	- 15 -
Εικόνα 6. Πλαϊνή όψη ηλεκτρογεννήτριας C7.1 ACERT	- 16 -
Εικόνα 7. Γραφική Παράσταση Καταναλώσεων - Ισχύος Ηλεκτρογεννήτριας Ανάγκης..	- 17 -
Εικόνα 8. Ο μηχανισμός ενός MCCB σε τομή	- 23 -
Εικόνα 9. Μονάδα C6200	- 30 -
Εικόνα 10. Μονάδα 6ES7510-1DJ01-0AB0.....	- 31 -
Εικόνα 11. Μετασχηματιστής Τάσης.....	- 32 -
Εικόνα 12. Μετασχηματιστής Έντασης.....	- 33 -
Εικόνα 13. Κύρια Οθόνη Software (Overview) κατά την εκκίνηση του software	- 33 -
Εικόνα 14. Διάγραμμα ροής κατηγοριοποίησης και δημιουργίας μοντέλου.	- 36 -
Εικόνα 15. Τυπική διάταξη τεχνητού νευρωνικού δικτύου	- 61 -
Εικόνα 16. Αρχική σελίδα nntool.....	- 66 -
Εικόνα 17. Εισαγωγή Δεδομένων Εισόδου-Εξόδου	- 69 -
Εικόνα 18. Παράμετροι TNΔ.....	- 69 -
Εικόνα 19. Αρχιτεκτονική δικτύου και αριθμός κρυφών νευρώνων	- 70 -
Εικόνα 20. Αποτελέσματα δοκιμής.....	- 71 -
Εικόνα 21. Γραφικές Παραστάσεις Error Histogram Δοκιμής	- 71 -
Εικόνα 22. Γραφική Παράσταση Regression.....	- 72 -



7. Βιβλιογραφία

- Aggarwal, C. C. (2018). *Neural Networks and Deep Learning*.
- Caterpillar. (2011). *Manual for Cat C7.1 ACERT Industrial Engine*.
- Caterpillar. (2017). *Manual for Cat C18 ACERT Marine Generator Set*.
- Champan, S. J. (2012). *Electrical Machinery Fundamentals*. McGraw- Hill.
- Cummins Engine. (2017). *Basics of Paralleling*.
- DNV GL SE. (Ιανουάριος 2018). Rules for Classification. Στο *Part 4 Systems and Components, Chapter 8 Electrical Installations* (Τόμ. Ship Technology).
- DNV GL SE. (Οκτώβριος 2015). Rules for Classification. Στο *Part 6 Additional class notations, Chapter 2 Propulsion, Power generation and auxiliary systems*.
- Elkor Technologies Inc. (2006). *Introduction to Current Transformers*.
- Hall, M., Witten, I. H., Frank, E., & Pal, C. J. (2016). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*.
- Hekkenberg, R. G. (2014). *A building cost estimation method for inland ships*. Delft, Netherlands.
- Henneberger, G. (2001). *Electrical Machines 1 Basics Design Function Operation*.
- International Electrotechnical Commission. (1998). Procedures for calculating short-circuit currents. Στο *IEC 61363-1 Electrical installations of ships and mobile*.
- International Electrotechnical Commission. (2013). Part 2: Circuit-breakers. Στο *IEC 60947-2 Low-voltage switchgear and controlgear*.
- International Maritime Organization. (2012). *On-Shore Power Supply*. Στο *MEPC.1/Circ.794*.
- Kubat, M. (2017). *An Introduction to Machine* (2η εκδ.). Springer.
- Καμπουρλάζος, Β. Γ., & Παπακώστας, Γ. Α. (2015). *Εισαγωγή στην ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ*.
- Littelfuse. (Revision 2013). *C6200 FlexGen Generator Controller Installation Manual*.
- M. A. Laughton, D. J. (2003). *Electrical Engineer Reference Book*. Reed Elsevier.
- Malta Transport Centre. (2010). *Commercial Yacht Code*. Malta.
- Marine Air Systems. (2013). *Guidelines for Selecting Air Condition for Your Boat*.
- May, J., & Foss, H. (2000). *Power Management System for the "Deepwater Horizon"*. Houston.
- Megdiche, M., Radu, D., & Jeannot, R. (2013). 22nd International Conference on Electricity Distribution. *Protection Plan and Safety Issues in the Shore Connection Applications*.



- Michalski, R. S., Carbonell, J. G., & Mitchell, T. M. (1983). *Machine Learning- An artificial intelligence approach*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- Mobarak, Y. (2015). *Effects of the Droop Speed Governor and Automatic*.
- Naval Sea System Command, D. o. (2012). *Electrical Power Load Analysis (EPLA) for surface ships*. Washington, DC.
- Radan, D. (2008). *Integrated Control of Marine Electrical Power Systems*.
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Congition*.
- Siemens. (Revision 2018). *6ES7510-1DJ01-0AB0 Datasheet*.
- Simon, P. (2013). *Too Big to Ignore: The Business Case for Big Data*.
- Taylor, D. A. (1996). *Introduction to Marine Engineering* (2nd εκδ.).
- Terasaki Electric. (2017). *How to Select and Set Circuit Breakers for Generators*.
- Thompson, M. J. (2011). *Fundamentals and Advancements in Generator Synchronizing Systems*.
- Tomczak, T., Reinecke, S., & Muhlmeier, S. (August 2007). *A Contribution to Marketing Theory Concerning the Development of the Resource-Based View*. St. Gallen.
- Valkeejärvi, K. (2006). *The ship's electrical network, engine control and automation*.