



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Διπλωματική Εργασία**

**Ηλεκτρολογικές Μελέτες Για Εγκατάσταση Συστημάτων  
Περιορισμού Αέριων Ρύπων Μηχανών Πλοίου**

Γιώργος Στεφασαδούρος

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Προυσαλίδης

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ηλεκτρολογική μελέτη ενός πλοίου με προσθήκη πλυντρίδας δέσμευσης οξειδίων του θείου (scrubber).

Αφορμή για την εργασία αποτέλεσαν οι πρόσφατες μειώσεις στα όρια εκπομπής αέριων ρύπων από τον IMO και ως αποτέλεσμα αυτών η αύξηση των ενεργειακών αναγκών στα πλοία λόγω των νέων εγκαταστάσεων όπως τα scrubbers.

Αρχικά αναφέρονται κάποια στοιχεία για τα αίτια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της θαλάσσιας κυκλοφορίας, εστιάζοντας στις εκπομπές των οξειδίων του θείου (SOx). Έπειτα περιγράφονται οι τρόποι περιορισμού των αέριων ρύπων όπως επιβάλλονται από διεθνείς κανονισμούς. Στη συνέχεια αναλύονται οι τρόποι λειτουργίας και οι τύποι των scrubber.

Στα πλαίσια της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί η περίπτωση του υπό μελέτης πλοίου του θέματος μελέτης πλοίου της σχολής για τους υπολογισμούς. Συγκεκριμένα θα γίνει ηλεκτρικός ισολογισμός, μελέτη βραχυκυκλώματος και μελέτη κίνδυνου ηλεκτρικού τόξου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Τέλος θα επιλεγεί εξοπλισμός προσωπικής προστασίας για αντιμετώπιση του υπολογισμένου κινδύνου.

## Περιεχόμενα

<b>Ναυτιλιακοί ρύποι .....</b>	<b>5</b>
Ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω αέριων ρύπων.....	5
Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.....	7
Κανονισμοί αντιμετώπισης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη ναυτιλία.....	9
Μέθοδοι συμμόρφωσης στους ισχύοντες κανονισμούς.....	12
<b>Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου.....</b>	<b>15</b>
Συστήματα ανοιχτού βρόχου.....	20
Συστήματα κλειστού βρόχου.....	21
Υβριδικά συστήματα.....	23
Επιλογή scrubber.....	25
<b>Ηλεκτρικός ισολογισμός.....</b>	<b>28</b>
Αναλυτικός ηλεκτρικός ισολογισμός.....	28
Επιλογή κύριων γεννητριών και γεννήτριας έκτακτης ανάγκης.....	47
Επιλογή καλωδίων παροχής.....	50
Υπολογισμός άεργου ισχύος.....	58
Διατομές ζυγών και καλωδίων που τροφοδοτούν ομάδα καταναλωτών.....	79
<b>Μελέτη Βραχυκυκλωμάτων.....</b>	<b>83</b>
Μελέτη βραχυκυκλωμάτων στο υπό μελέτη πλοίο.....	86
<b>Υπολογισμός κίνδυνου ηλεκτρικού τόξου.....</b>	<b>92</b>
Εύρος εφαρμογής μοντέλου.....	97
Εφαρμογή του μοντέλου.....	98
Υπολογισμός έντασης τόξου.....	98

Υπολογισμός ενέργειας συμβάντος.....	102
Υπολογισμός συνόρου του ηλεκτρικού τόξου.....	103
Παρατηρήσεις.....	105
Τύποι διάταξης των περιφράξεων των ηλεκτροδίων.....	105
Διάρκεια ηλεκτρικού τόξου.....	105
<b>Εξοπλισμός Προσωπικής Προστασίας.....</b>	<b>108</b>
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>114</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>115</b>
<b>Παράρτημα Α - Αποτελέσματα arc-flash study για διαφορετικούς τύπους διάταξης των περιφράξεων των ηλεκτροδίων.....</b>	<b>117</b>
<b>Παράρτημα Β - Arc-flash calculation υπαρκτού πλοίου 91.800 DWT bulk carrier.....</b>	<b>121</b>

## Ναυτιλιακοί ρύποι

Οι θαλάσσιες μεταφορές έχουν αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία 40 χρόνια σε συνολική μεταφορική ικανότητα και σε αριθμό πλοίων. Σχεδόν το 90% του παγκόσμιου εμπορίου μεταφέρεται δια θαλάσσης. Αυτή η ανάπτυξη οφείλεται στην αύξηση της ζήτησης για τη μεταφορά αγαθών λόγω της παγκοσμιοποίησης της οικονομίας. Το 2019 ο στόλος απαρτιζόταν από 95,402 πλοία με συνολική μεταφορική ικανότητα 1.97 δισεκατομμύρια τόνους (DWT). Ο συνολικός μεταφερόμενος όγκος έφτασε τα 11 δισεκατομμύρια τόνους και συγκριτικά με το έτος 2018, παρατηρείται αύξηση της τάξεως του 2.7%. Ο συνολικός μεταφερόμενος όγκος εκτιμάται να φτάσει το ύψος των 17 δισεκατομμυρίων τόνων μέχρι τις αρχές του 2030.

Οι τάσεις υποδηλώνουν συνεχή αύξηση τόσο του θαλάσσιου εμπορίου όσο και του μεγέθους του παγκόσμιου στόλου. Αυτή η αύξηση της ζήτησης επηρεάζει την κατανάλωση, τη διαθεσιμότητα και την τιμή των καυσίμων των πλοίων. Έως και το 50% του κόστους ενός ταξιδιού αντιστοιχεί στο κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Η κατανάλωση καυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία σχετίζεται στενά, όπως και σε άλλους τομείς, με τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα. Στις επόμενες ενότητες αναλύονται οι διεργασίες παραγωγής των ρύπων και οι επιπτώσεις τους στη ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Τέλος, παρατίθεται η διαμόρφωση των κανονισμών για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανση από την ναυτιλία.

### Ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω αέριων ρύπων

Τα ναυτιλιακά καύσιμα, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άνθρακα και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου) με τα ποσοστά του άνθρακα να κυμαίνονται μεταξύ 84,9% και 87,4%. Άλλες προσμίξεις που συνήθως συναντώνται είναι αυτές του θείου, η περιεκτικότητα του οποίου αλλάζει ανάλογα με το είδος του καυσίμου.

Η απαιτούμενη καύση του καυσίμου πραγματοποιείται μέσω της προσθήκης οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το αποτέλεσμα της χημικής αυτής αντίδρασης είναι η έκλυση καυσαερίων τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άζωτο (N<sub>2</sub>), οξυγόνο (O<sub>2</sub>), υδρατμούς (H<sub>2</sub>O) και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Σε πολύ μικρότερο ποσοστό περιέχουν οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οξειδία του θείου (SO<sub>x</sub>), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM).

Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας των σημαντικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων των ναυτιλιακών καυσίμων.

#### SO<sub>x</sub>

Τα περισσότερα ναυτιλιακά καύσιμα είναι υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Κατά την καύση τους, το θείο οξειδώνεται από το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας οξείδια του θείου, γνωστά και ως SO<sub>x</sub>. Τα συνηθέστερης μορφής οξείδια του θείου, είναι τα SO<sub>2</sub> και SO<sub>3</sub> σε τυπική αναλογία (SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub>) ίση με 15/1.

Το SO<sub>3</sub> αντιδρά με την υγρασία (H<sub>2</sub>O) και δημιουργεί σωματίδια θειικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) μικροσκοπικού μεγέθους, που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα (αερολύματα). Οι εκπομπές SO<sub>x</sub> από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν 5-8% του συνόλου των εκπομπών SO<sub>x</sub> παγκοσμίως.

#### NO<sub>x</sub>

Το άζωτο (N<sub>2</sub>) του ατμοσφαιρικού αέρα είναι χημικά αδρανές υπό κανονικές θερμοκρασίες και δεν αντιδρά με το οξυγόνο (O<sub>2</sub>). Μέσα όμως στις μηχανές εσωτερικής καύσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, ενεργοποιείται, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και οξειδώνεται σε οξείδια του αζώτου, γνωστά ως NO<sub>x</sub>.

Τα κυριότερα οξείδια του αζώτου που παράγονται κατά την καύση είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία καύσης (π.χ. υψηλή πίεση, υψηλή αναλογία συμπίεσης, υψηλό ποσοστό παροχής καυσίμου, κ.λπ.) και η διάρκεια της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγόμενη ποσότητα NO<sub>x</sub>.

Έχει μάλιστα παρατηρηθεί πως οι αργόστροφοι κινητήρες παράγουν περισσότερα NO<sub>x</sub> από ότι οι ταχύστροφοι. Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν περίπου το 15% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών NO<sub>x</sub>.

#### CO<sub>x</sub>

Η ναυτιλία αποτελεί το ευγενέστερο μέσο μεταφοράς φορτίου από άποψη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) σε γραμμάρια που εκπέμπονται ανά τόνο φορτίου και ανά χιλιόμετρο μεταφοράς, σε σχέση με τις αερομεταφορές και τις χερσαίες μεταφορές.

Ωστόσο, αποτελεί σημαντικό μέρος των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> παγκοσμίως, με ποσοστό που ανέρχεται στο 2.2% για το έτος 2012.

Όταν πραγματοποιείται τέλεια καύση καυσίμου, όλος ο άνθρακας οξειδώνεται δημιουργώντας CO<sub>2</sub>. Το υδρογόνο, ενώνεται με το οξυγόνο του αέρα δημιουργώντας υδρατμούς (H<sub>2</sub>O). Καθώς όμως στους ναυτικούς κινητήρες δεν επικρατούν πάντα συνθήκες τέλει καύσης, προκύπτουν καυσαέρια όπως σωματίδια άνθρακα (αιθάλη), μονοξείδιο του άνθρακα CO, άκαυστοι υδρογονάνθρακες ή μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες.

## PM

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αποτελούν ένα σύνθετο μείγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών. Περιλαμβάνουν ατομικό άνθρακα, αιθάλη, στάχτη, πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκε ή κάηκε ατελώς, άκαυστο λιπαντικό έλαιο, θειικά και υγρασία. Ειδικά στις εξατμίσεις των πλοίων, παράγονται κυρίως σωματίδια θειικών και καπνιάς.

## Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον

Ουσίες όπως τα SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> και τα αιωρούμενα σωματίδια είναι εξαιρετικά επιβλαβή. Στην παρούσα ενότητα, αναπτύσσονται οι επιπτώσεις των παραπάνω ουσιών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και κατά συνέπεια την κλιματική αλλαγή.

### Ενώσεις SO<sub>x</sub>

Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) είναι από τους κυριότερους ρύπους που εκλύεται από την καύση των πετρελαιομηχανών. Είναι ένα αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειικό οξύ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Το θειικό οξύ, προκαλεί μείωση του pH της βροχής δημιουργώντας έτσι όξινη βροχή. Η όξινη βροχή, ανάλογα με το pH και τον χρόνο έκθεσης, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα φυτά (π.χ. κάψιμο των φύλλων), στο δέρμα και στο χαρτί, να διαβρώσει μέταλλα και να επιδράσει στα δομικά υλικά. Το τριοξείδιο του θείου γνωστό (ανυδρίτης του θειικού οξέος) είναι μία ανόργανη χημική ένωση με μοριακό τύπο SO<sub>3</sub>. Αιωρούμενο στη ατμόσφαιρα, το τριοξείδιο του θείου αποτελεί σημαντικό ατμοσφαιρικό ρύπο και είναι το κυριότερο αίτιο για την όξινη βροχή. Τα SO<sub>x</sub> είναι επιβλαβή και για την ανθρώπινη υγεία. Ενδεικτικά, μακροχρόνια έκθεση σε αυτά, μπορεί να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιοαγγειακές παθήσεις όπως και να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα.

### Ενώσεις NO<sub>x</sub>

Το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) είναι αέριο με καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Το χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου είναι ότι συνεισφέρουν στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους στην ατμόσφαιρα των πόλεων. Το φωτοχημικό νέφος δημιουργείται όταν τα NO<sub>x</sub> και άκαυστοι υδρογονάνθρακες, με μία σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων παρουσία φωτός καταλήγουν στη δημιουργία όζοντος (O<sub>3</sub>) και μίας μεγάλης ποικιλίας άλλων οργανικών ουσιών. Το φωτοχημικό νέφος έχει ως αποτέλεσμα ερεθισμό στα μάτια και τους πνεύμονες, καταστροφή των φύλλων στα φυτά κλπ. Τα NO<sub>x</sub> συνεισφέρουν μαζί με τα SO<sub>x</sub> στον σχηματισμό της όξινης βροχής. Τέλος τα NO<sub>x</sub> σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε ευπαθείς ομάδες.

#### Ενώσεις CO<sub>x</sub>

Το διοξείδιο του άνθρακα εισπνεόμενο (CO<sub>2</sub>) στις συγκεντρώσεις που απαντώνται στην ατμόσφαιρα, ενώ δεν εν έχει άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αποτελεί όμως τη βασική αιτία για το σημαντικότερο περιβαλλοντικό ζήτημα της εποχής μας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι άχρωμο, άφλεκτο και άοσμο αέριο. Εισπνεόμενο σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ταχεία αναπνοή, αναισθησία έως και θάνατο. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο, ελαφρύτερο από τον αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Λόγω διάφορων διεργασιών, μπορεί να προκαλέσει ανωμαλίες στο κυκλοφορικό σύστημα μειώνοντας την οξυγόνωση στους ιστούς με αποτέλεσμα συμπτώματα ανοξίας. Επίσης μπορεί να επηρεάσει το κεντρικό νευρικό σύστημα, το αναπνευστικό σύστημα και να προκαλέσει ανωμαλίες στην όραση, απώλεια προσανατολισμού και σε ακραίες περιπτώσεις απώλεια αισθήσεων και πνευματικής διαυγείας.

#### Σωματίδια PM

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm παγιδεύονται στη μύτη ή τον φάρυγγα και στην συνέχεια απομακρύνονται ή καταπίνονται χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα. Τα μικρότερα όμως σωματίδια, και ιδιαίτερα εκείνα με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm, εισέρχονται στους πνεύμονες, όπου και παραμένουν, και είναι δύσκολη η απομάκρυνσή τους, με αποτέλεσμα την πρόκληση πνευμονικών προβλημάτων. Σύμφωνα με μελέτη, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) από τη ναυτιλία ευθύνονται για περίπου 60.000 πρόωρους θανάτους ετησίως σε όλο τον πλανήτη από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και καρκίνο του πνεύμονα, με τους



περισσότερους να λαμβάνουν χώρα κοντά στις ακτές της Ευρώπης, της Ανατολικής Ασίας και της Νότιας Ασίας.

### Κανονισμοί αντιμετώπισης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη ναυτιλία

Όπως παρατηρήθηκε και από τα προηγούμενα, οι εκπομπές ρύπων όπως τα SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και PM από τη ναυτιλία, έχουν τεράστιο κοινωνικό κόστος για την ανθρώπινη υγεία καθώς και για το περιβάλλον, τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Μελέτες σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή της ναυτιλιακής κίνησης έδειξαν ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών λαμβάνει χώρα στο βόρειο ημισφαίριο, εντός ενός καλά προσδιορισμένου συστήματος διεθνών θαλάσσιων οδών.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι μία υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών (UN) που ευθύνεται για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τους ναυτικούς ρύπους μέσω κανονισμών στους οποίους πρέπει να συμμορφώνονται όλα τα πλοία των κρατών μελών του. Συγκεκριμένα, η έκδοση του, MARPOL (Annex VI) που αφορά στη προστασία από τη ρύπανση στη θάλασσα, τέθηκε σε ισχύ το 2005 και έθετε τα όρια στις εκπομπές των κύριων ρύπων στα καυσαέρια των πλοίων, δηλαδή στα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) και τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>).

Αμέσως μετά την θέση σε ισχύ του Παραρτήματος VI της MARPOL το 2005, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), συμφώνησε να αναθεωρήσει το παράρτημα VI της MARPOL με στόχο τη σημαντική αύξηση των ορίων εκπομπών υπό το πρίσμα των τεχνολογικών εξελίξεων και της ως τότε εμπειρίας. Ως αποτέλεσμα τριετούς μελέτης η MEPC εξέδωσε το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL και τον σχετικό Τεχνικό Κώδικα NO<sub>x</sub> του 2008 που τέθηκε σε ισχύ από 1/7/2010.

Οι σημαντικότερες αλλαγές αφορούσαν την προοδευτική μείωση των εκπομπών SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, (και έμμεσα των PM) και τη δημιουργία Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (Emission Control Areas- ECAs) όπου οι εκπομπές καυσαερίων θα πρέπει να είναι ακόμα μικρότερες. Οι περιοχές ECA σύμφωνα με την MARPOL απαρτίζονται από τη Βαλτική, τη Βόρεια Θάλασσα, τις ακτές της Βόρειας Αμερικής και τέλος τις περιοχές των ΗΠΑ στην Καραϊβική, δηλαδή τα θαλάσσια ύδατα κοντά στις ακτές του Πουέρτο Ρίκο και των Παρθένων Νήσων.

## SOx

Το παράρτημα VI της MARPOL αρχικά υποχρέωνε τα πλοία να χρησιμοποιούν παγκοσμίως καύσιμο με ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, 4,5% κ.β. Το όριο αυτό μειώθηκε στο 3.5% το 2012 και τέλος στο 0.5% από 1/1/2020 (πίνακας 1.3). Για τις ζώνες SECAs το όριο περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων αρχικά δεν έπρεπε να ξεπερνάει το 1,5% κ.β. Ωστόσο, η οδηγία άλλαξε πάλι το 2010 όπου ορίστηκε μέγιστη τιμή περιεκτικότητας 1%, και το 2015 μειώθηκε ακόμα περισσότερο φτάνοντας το 0.1%. Η χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο δεν είναι υποχρεωτική (ABS, 2018). Τα πλοία μπορούν εναλλακτικά να καταναλώνουν καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο εφαρμόζοντας παράλληλα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων ή οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία μειώνει τις εκπομπές SO<sub>2</sub> στα επιτρεπτά όρια.

<b>Εκτός SECA</b>	<b>Εντός SECA</b>
4,50% (κ.β.) πριν την 1η Ιανουαρίου 2012	1,50% (κ.β.) πριν την 1η Ιουλίου 2010
3,50% (κ.β.) από την 1η Ιανουαρίου 2012	1,00% (κ.β.) από την 1η Ιουλίου 2010
0,50% (κ.β.) από την 1η Ιανουαρίου 2020	0,10% (κ.β.) από την 1η Ιουλίου 2015

Εκτός από τις περιοχές ECA κατά IMO διάφορες χώρες έχουν δημιουργήσει δικές τους περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων (Emission Control Areas – ECA/SECA) όπου ισχύουν αυστηρότερα μέτρα. Τέτοιες περιοχές είναι για παράδειγμα η Ευρώπη, η Αμερική και η Κίνα όπου οι ισχύοντες κανονισμοί παρουσιάζονται παρακάτω. Στην Ευρώπη από την 1/1/2010, τα πλοία που βρίσκονται σε λιμάνι για πάνω από 2 ώρες υποχρεούνται στην κατανάλωση καυσίμου με ποσοστό θείου μέχρι 0.1%κ.β. Ο κανονισμός αυτός προέκυψε από την οδηγία 2005/33/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου η οποία ήταν τροποποίηση της αρχικής οδηγίας 1999/32/ΕΚ, (ΕΥ, 2005) . Στην πολιτεία της Καλιφόρνιας από 1/8/2012 όλα τα πλοία που πλέουν σε απόσταση 24 ναυτικών μιλίων από την στεριά θα πρέπει να ακολουθούν το “OceanGoing Vessel (OGV) Fuel regulation” το οποίο υποχρεώνει την κατανάλωση καυσίμου με ποσοστό θείου μέχρι 0.1%κ.β. σύμφωνα με τον αρμόδιο οργανισμό CARB. Επίσης υπάρχει απαγόρευση της χρήσης scrubber, εκτός αν χορηγηθεί ειδική άδεια για ερευνητικούς σκοπούς πριν το πλοίο εισέλθει στα χωρικά ύδατα της παραπάνω περιοχής (ABS, 2018). Στο τέλος του 2015 η κινέζικη κυβέρνηση ανακοίνωσε ένα τριετές πρόγραμμα με σκοπό την μείωση των εκπομπών SO<sub>x</sub> με εφαρμογή από 1/1/2016. Αυτό περιλάμβανε τρεις περιοχές ECAs που ονομάστηκαν China Domestic ECA 2015. Το πρόγραμμα αυτό αναθεωρήθηκε τον Νοέμβριο του 2018 και πλέον καλύπτει όλα τα παράκτια κινέζικα χωρικά ύδατα σε απόσταση 12 ναυτικών

μιλίων από την ακτή με εξαίρεση των χωρικών υδάτων του Χονγκ Κονγκ, Μακάο και Ταϊβάν.

Συγκεκριμένα ισχύουν τα κάτωθι (CCS, 2018):

- Από 1/1/2019 τα πλοία που εισέρχονται στις κινέζικες ECA θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο περιεκτικότητας έως 0.5% σε θείο
- Από 1/1/2020 τα πλοία που εισέρχονται στα εσωτερικά ύδατα των κινέζικων ECA θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο περιεκτικότητας έως 0.1% σε θείο
- Από 1/1/2022 τα πλοία που εισέρχονται στα ύδατα της νήσου Χαϊνάν θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο περιεκτικότητας έως 0.1% σε θείο

NOx

Ο Κανονισμός 13 του παραρτήματος VI της MARPOL καθορίζει τις ποσότητες των NOx τις οποίες επιτρέπεται ένα πλοίο να εκπέμπει ανά kWh σύμφωνα με την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (n). Τα επιβληθέντα όρια χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες-επίπεδα, τα Tier I-III, με βάση το έτος κατασκευής του πλοίου. Έτσι λοιπόν, για πλοία κατασκευασμένα την ή μετά την 1/1/2000, αντιστοιχούν τα όρια του Tier I, για πλοία κατασκευασμένα την ή μετά την 1/1/2011, αντιστοιχούν τα όρια του Tier II και αντίστοιχα, για πλοία κατασκευασμένα την ή μετά την 1/1/2016, αντιστοιχούν τα όρια του Tier III. Συγκεκριμένα, τα όρια του Tier III είναι τα αυστηρότερα και θα ισχύσουν μόνο στις ειδικές περιοχές για τα NOx (NOx Emission Control Areas – NECAs) και είναι κατά 80% αυστηρότερα σε σύγκριση με τα όρια του Tier I. Οι NECAs αυτή τη στιγμή είναι θαλάσσιες περιοχές στη Β. Αμερική και την Καραϊβική, ενώ η Βόρεια Θάλασσα και η Βαλτική θα θεωρηθούν περιοχές NECA με όρια Tier III για πλοία που κατασκευάστηκαν την ή μετά την 1/1/2021.

Tier	Ημερομηνία κατασκευής πλοίου	Όρια εκπομπών NOx (g/kWh)		
		n < 130 rpm	n = 130-1999 rpm	n ≥ 2000 rpm
I	1/1/2000	17,0	$45n^{-0,2}$	9,8
II	1/1/2011	14,4	$44n^{-0,23}$	7,7
III	1/1/2016 (NECA North America & USA Caribbean)	3,4	$9n^{-0,2}$	2,0
III	1/1/2021 (NECA EU)	3,4	$9n^{-0,2}$	2,0

## Μέθοδοι συμμόρφωσης στους ισχύοντες κανονισμούς

Τα πλοία υποχρεούνται να συμμορφώνονται στους κανονισμούς για τη μείωση των εκπομπών SO<sub>x</sub> και NO<sub>x</sub> όπως αυτοί έχουν περιγραφεί παραπάνω. Για τη συμμόρφωση στα επιτρεπτά όρια των εκπομπών SO<sub>x</sub>, τρεις είναι οι επικρατέστερες επιλογές.

- Χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο,
- Εγκατάσταση συστήματος για καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)
- Εγκατάσταση συστήματος scrubber (EGCS-wet scrubber)

Κάθε μία από τις προαναφερθείσες επιλογές έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αφορούν στην πολυπλοκότητα της εγκατάστασης του εκάστοτε συστήματος, το αρχικό κόστος εγκατάστασης, τα λειτουργικά έξοδα και τέλος τον πλου του πλοίου.

### Καύσιμα LSFO-MGO

Η απλούστερη και δημοφιλέστερη επιλογή για συμμόρφωση στους κανονισμούς της MARPOL είναι η χρήση καυσίμου Low Sulphur Fuel Oil (LSFO) περιεκτικότητας σε θείο 0.5% κ.β. παγκοσμίως όπως και η χρήση καυσίμου Marine Gas Oil (MGO) περιεκτικότητας σε θείο 0.1% κ.β. σε περιοχές ECA. Με ελάχιστες αλλαγές στις ρυθμίσεις του κινητήρα και των δεξαμενών και μικρό αρχικό κεφάλαιο, η μετάβαση από Heavy Fuel Oil (HFO) σε LSFO πραγματοποιείται ομαλά και χωρίς μεγάλες δυσκολίες. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης για χρήση καλύτερης ποιότητας καυσίμων είναι χαμηλό, όμως τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου επιβαρύνονται σημαντικά μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα (Panasiuk & Turkina, 2015). Αυτό γιατί, επηρεάζονται από τη μεγάλη διαφορά στην τιμή μεταξύ καυσίμων χαμηλής και υψηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Βέβαια, υπάρχει ανησυχία γύρω από τη χρήση τέτοιων καυσίμων καθώς η ποιότητα τους δεν είναι σταθερή. Συγκεκριμένα, τα επίπεδα ιξώδους και πυκνότητας τους καθώς και η περιεκτικότητά τους σε νερό και θείο, δεν συμβαδίζουν πάντα με τους κανονισμούς. Τέλος, έχει παρατηρηθεί η δημιουργία ιζήματος κατά την χρήση τέτοιων καυσίμων με αποτέλεσμα το φράξιμο φίλτρων και αντλιών στα συστήματα καυσίμου των πλοίων. Η λύση αυτή όμως είναι προτιμητέα καθώς το δίκτυο ανεφοδιασμού των δύο αυτών καυσίμων είναι πλήρως αναπτυγμένο παγκοσμίως. Εκτιμάται ότι μία αλλαγή από καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο 3.5% κ.β σε καύσιμο 0,5% μειώνει τις εκπομπές SO<sub>2</sub> κατά 80%, ενώ με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και μείωση των PM κατά 20%.

## LNG

Η χρήση καυσίμου LNG μειώνει ταυτόχρονα τους αέριους ρύπους SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και CO<sub>2</sub>. Οι μηχανές αυτές μπορεί να καταναλώνουν αποκλειστικά LNG ή να είναι διπλού καυσίμου, δηλαδή να καταναλώνουν και συμβατικό καύσιμο. Η επιλογή εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι τόσο διαδεδομένη διότι το αρχικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης είναι υψηλό και το δίκτυο ανεφοδιασμού σε λιμάνια ελλιπές. Ακόμη οι δεξαμενές LNG απαιτούν περισσότερο χώρο από τις παραδοσιακές δεξαμενές καυσίμων, επειδή το LNG έχει μικρότερη πυκνότητα από ότι τα στερεά καύσιμα. Ωστόσο η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του είναι περίπου 20% μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών καυσίμων και το κόστος του είναι αισθητά χαμηλότερο τόσο από το MGO όσο και από το HFO. Το LNG δεν περιέχει θείο και γι' αυτό οι εκπομπές SO<sub>2</sub> είναι μειωμένες κατά 90-99 %, ενώ υπάρχει και πολύ μεγάλη μείωση και στις εκπομπές PM (περίπου 70%), NO<sub>x</sub> (περίπου 60%) και CO<sub>2</sub> (περίπου 25%).

## Scrubber

Τα συστήματα scrubber μειώνουν τις εκπομπές SO<sub>x</sub> και PM κατά 90-99% και 60-85% αντίστοιχα. Υπάρχουν δύο τύποι scrubber, ο ξηρός και ο υγρός τύπος. Στα scrubber ξηρού τύπου η απορρόφηση του SO<sub>2</sub> γίνεται μέσω της επαφής των καυσαερίων με την επιφάνεια μιας στερεάς ουσίας σε μορφή πολύ μικρών κόκκων. Η στερεά ουσία δρα είτε ως καταλύτης για την οξειδωση του SO<sub>2</sub> στην περίπτωση του άνθρακα, ορισμένων μετάλλων (βανάδιο) και ορυκτών (ζεόλιθος) και του διοξειδίου του πυριτίου, είτε ως αντιδρών στην περίπτωση ξηρού ασβέστη. Τα scrubber ξηρού τύπου απαιτούν υψηλότερο επενδυτικό κεφάλαιο και ταυτόχρονα μεγαλύτερο χώρο εγκατάστασης από ότι εκείνα του υγρού τύπου. Για το λόγο αυτό, στη ναυτιλία έχει επικρατήσει η χρήση υγρών τύπων scrubber.

Σε αυτή διπλωματική εργασία, γίνεται ανάλυση των scrubber υγρού τύπου τα οποία διακρίνονται σε ανοιχτού βρόχου, κλειστού βρόχου και υβριδικού συστήματος λειτουργίας. Η λειτουργία ανοιχτού βρόχου (open loop) χρησιμοποιεί ως μέσο καθαρισμού των καυσαερίων θαλασσινό νερό το οποίο διέρχεται μέσα από το σύστημα, αντιδρά με τα SO<sub>x</sub> παράγοντας θειικά και θειώδη άλατα του νατρίου και του ασβεστίου και στη συνέχεια αποβάλλεται στη θάλασσα. Η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος είναι σχετικά απλή και οικονομικότερη από τους άλλους δύο τύπους. Όμως, η χρήση του είναι περιορισμένη διότι δεν μπορεί να λειτουργεί σε περιοχές όπου απαγορεύεται ή είναι περιορισμένη η απόρριψη νερού πλύσης. Οι περιοχές αυτές θα ονομαστούν ECA alike και περιλαμβάνουν χώρες όπως η Αργεντινή, Κίνα, Βραζιλία και Σιγκαπούρη μεταξύ

άλλων. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος θεωρείται κατάλληλη όταν το πλοίο πλέει αποκλειστικά ή επί το πλείστον σε ανοιχτή θάλασσα.

Η λειτουργία κλειστού βρόχου (closed loop) χρησιμοποιεί ως μέσο καθαρισμού των καυσαερίων γλυκό νερό αναμειγμένο με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) γνωστό ως καυστική σόδα, το οποίο ανακυκλώνεται στο σύστημα. Το NaOH εξουδετερώνει το SO<sub>2</sub> σχηματίζοντας θειικό νάτριο (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Στα συστήματα κλειστού βρόχου μικρές ποσότητες των εκπλυμάτων απορρίπτονται και αντικαθίσταται αντίστοιχη ποσότητα γλυκού νερού με σκοπό την αραιώση των συγκεντρώσεων του θειικού νατρίου. Με την προσθήκη μίας δεξαμενής αποθήκευσης των εκπλυμάτων, τα συστήματα κλειστού βρόχου μπορεί να λειτουργήσουν με μηδενικές απορρίψεις για κάποια χρονική περίοδο, η διάρκεια της οποίας εξαρτάται από το μέγεθος της δεξαμενής. Η εγκατάσταση ενός συστήματος κλειστού βρόχου είναι πιο περίπλοκη από αυτή του ανοιχτού και το κόστος εγκατάστασης είναι αντίστοιχα υψηλότερο περίπου κατά 18%. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος είναι κατάλληλη όταν το πλοίο πλέει αποκλειστικά ή στο μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας ζωής του σε περιοχές ECA.

Το υβριδικό σύστημα λειτουργεί ως scrubber ανοιχτού ή κλειστού βρόχου ανάλογα με την περιοχή πλεύσης του πλοίου. Η αλλαγή από λειτουργία ανοιχτού βρόχου σε κλειστού και αντίστροφα διαρκεί 10-20 δευτερόλεπτα σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα όπου η αλλαγή από LSFO σε MGO διαρκεί περίπου 2 ώρες. Η εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος είναι η πιο περιπλοκή από τις τρεις επιλογές, παρόλα αυτά το κόστος εγκατάστασης είναι μόλις 6.7% υψηλότερο από αυτό του ανοικτού βρόχου. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος είναι κατάλληλη για πλοία που πλέουν σε περιοχές ECA αλλά και σε ανοιχτή θάλασσα.

Εν κατακλείδι παρατηρείται πληθώρα επιλογών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται συμμόρφωση στους κανονισμούς για τη μείωση των εκπομπών θείου από τα καυσαέρια. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προκύπτει αναλύοντας τα χαρακτηριστικά και την πορεία του πλοίου.

## Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

Οι ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου (συστήματα scrubber) τοποθετούνται μετά την κύρια μηχανή ή τον λέβητα, με σκοπό την επεξεργασία των καυσαερίων χρησιμοποιώντας θαλασσινό νερό, χημικά επεξεργασμένο γλυκό νερό ή άλλα ξηρού τύπου στοιχεία τα οποία παγιδεύουν τα οξείδια του θείου και μειώνουν τις ποσότητες των PM. Σε κάθε περίπτωση, δημιουργούνται απόβλητα τα οποία περιέχουν τις ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον καθαρισμό των καυσαερίων σε συνδυασμό με τα σωματίδια SOx και PM που αφαιρέθηκαν από αυτά.

Ένα σύστημα scrubber το οποίο μειώνει τα ποσοστά των SO<sub>2</sub> στα καυσαέρια των πλοίων, αναγνωρίζεται από τον IMO βάσει της MEPC 184(59). Σύμφωνα με αυτή, το ποσοστό περιεκτικότητας σε θείο ενός καυσίμου, υπολογίζεται μέσω του λόγου εκπεμπόμενων διοξειδίων του θείου προς τις εκπομπές διοξειδίων του άνθρακα.

Κάθε τιμή του παραπάνω λόγου αντιστοιχεί σε μία τιμή περιεκτικότητας σε θείο, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Έτσι, μέσω της συνεχούς μέτρησης των συγκεκριμένων εκπομπών στην έξοδο του scrubber, μπορεί να επιβεβαιωθεί η συμμόρφωση με τους κανονισμούς του IMO. Αν η διαδικασία καθαρισμού των καυσαερίων επηρεάζει την ποσότητα των CO<sub>2</sub>, η συγκέντρωσή τους πρέπει να υπολογίζεται στην είσοδο της πλυντρίδας και η συγκέντρωση των SO<sub>2</sub> στην έξοδό της, ώστε ο λόγος να έχει σωστή τιμή. Όλα τα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα εγγυώνται τη δυνατότητα επεξεργασίας των καυσαερίων ώστε να ικανοποιούνται και οι δύο απαιτήσεις περιεκτικότητας σε θείο (0.5% m/m, 0.1% m/m) ανάλογα με την περιοχή πλεύσης του πλοίου.

Fuel Oil Sulfur Content (% m/m)	SO <sub>2</sub> (ppm)/CO <sub>2</sub> (%v/v)
4.5	195.0
3.5	151.7
1.5	65.0
1.0	43.3
0.5	21.7
0.1	4.3

Το σύστημα scrubber είναι ένας εναλλάκτης συναλλαγής μάζας, ορμής και θερμότητας μεταξύ του ρεύματος των καυσαερίων και του νερού πλύσης. Συγκεκριμένα, τα καυσαέρια μετά την κύρια μηχανή περνάνε στην είσοδο του scrubber, όπου

αναμειγνύονται με νερό πλύσης με σκοπό τη χημική αντίδραση των σωματιδίων SO<sub>x</sub> με τα αντίστοιχα σωματίδια νερού και τη δημιουργία θειικού οξέος (SO<sub>2</sub>→H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Λόγω της αλκαλικότητας του νερού, το θειικό οξύ εξουδετερώνεται, τα καυσαέρια απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ενώ το νερό πλύσης μαζί με τους ρύπους, επεξεργάζεται και κατόπιν είτε αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές του πλοίου είτε απορρίπτεται στην θάλασσα. Σημειώνεται πως με τον όρο αλκαλικότητα δεν εννοείται μόνο το pH του διαλύματος αλλά και η ικανότητα του να αντιστέκεται σε αλλαγές του pH.

Σύμφωνα με την ΜΕΡC.259(68), (2015), απόρριψη νερού μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές του κόσμου, όταν τα χαρακτηριστικά αυτού πληρούν τα παρακάτω κριτήρια:

1. pH: Το pH του διαλύματος καθαρισμού που αποβάλλεται πρέπει να έχει τιμή τουλάχιστον ίση με 6.5, εκτός των καταστάσεων λειτουργίας ελιγμών και κανονικής πορείας, όπου επιτρέπεται μέγιστη διαφορά στο pH του νερού πλύσης ίση με 2 μεταξύ των σημείων εισαγωγής και εξαγωγής. Το επιθυμητό pH μπορεί να επιτευχθεί αν το νερό πλύσης αραιωθεί ή ρυθμίζοντας κατάλληλα την ποσότητα που εισέρχεται στην πλυντρίδα. Η επιβεβαίωση συμμόρφωσης με τους κανονισμούς γίνεται μετρώντας το pH σε συγκεκριμένο βάθος και σε ακτίνα 4m από το σημείο εκροής, ενώ το πλοίο είναι σε ακινησία με της μηχανές του σε λειτουργία και την προπέλα σε κίνηση.

2. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH): Η μέγιστη συγκέντρωση πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στο προς απόρριψη νερό πλύσης, δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντίστοιχη τιμή της συγκέντρωσης της εισαγωγής, προσαυξημένη κατά 50μg/L PAH<sub>phe</sub> (ισοδύναμο φαινανθρενίου). Η παραπάνω τιμή αφορά scrubbers με παροχή νερού πλύσης στη μέγιστη ισχύ λειτουργίας (ή στο 80% αυτής), ίση με 45t/MWh. Αν η παροχή διαφέρει από την παραπάνω, η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση των PAH μεταβάλλεται σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.



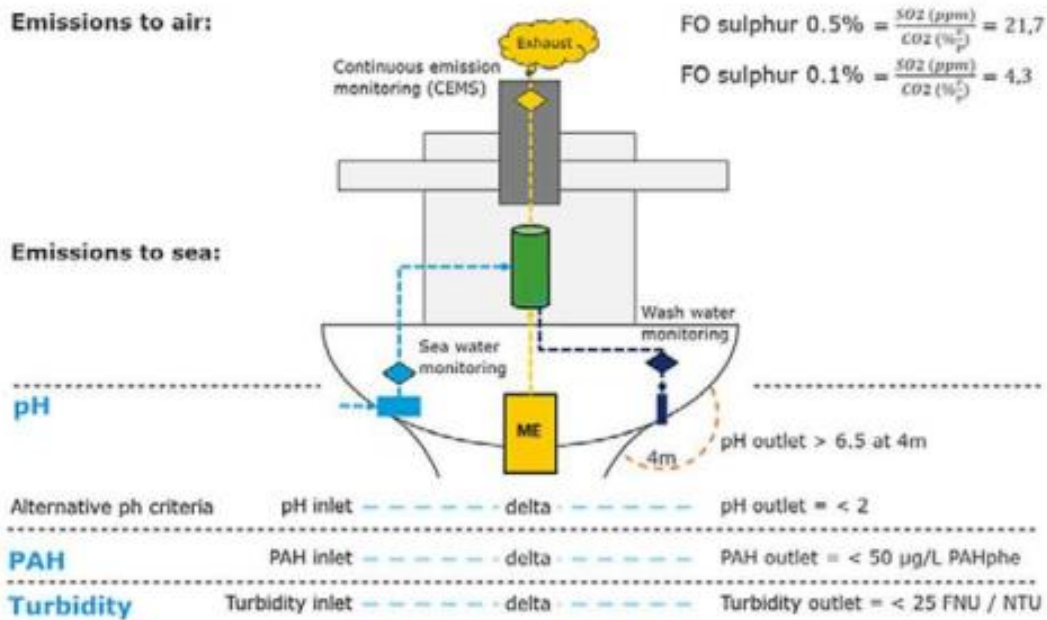
Flow Rate (t/MWh)	Discharge Concentration limit (µg/L PAH <sub>phe</sub> equivalents)	Measurement Technology
0 - 1	2,250	Ultraviolet Light
2.5	900	Ultraviolet Light
5	450	Fluorescence*
11.25	200	Fluorescence
22.5	100	Fluorescence
45	50	Fluorescence
90	25	Fluorescence

\* For any flow rate greater than 2.5 t/MWh fluorescence technology should be used.

3. Turbidity/Suspended Particle Matter: Η θολότητα αποτελεί ένα μέτρο της ποσότητας των αδιάλυτων συστατικών στο νερό πλύσης. Τυχόν φυσαλίδες αέρα στο διάλυμα είναι πιθανό να επηρεάσουν τις μετρήσεις θολότητας. Η τιμή της θολότητας του νερού στην έξοδο της πλυντρίδας δεν πρέπει να διαφέρει από αυτή στην είσοδο προσαυξημένη κατά 25 FNU (formazin nephelometric units) ή 25 NTU (nephelometric turbidity units), ώστε οι μετρήσεις στα δύο σημεία να είναι αξιόπιστες.

4. Nitrates: Το σύστημα καθαρισμού του νερού πλύσης πρέπει να εμποδίζει την εκροή νιτρικών αλάτων όταν οι συγκεντρώσεις του υπερβαίνουν τα 60mg/l, για παροχή νερού πλύσης ίση με 45t/MWh ή σε περίπτωση δέσμευσης των NO<sub>x</sub> σε ποσοστό μεγαλύτερο από 12%.

Όλα τα παραπάνω είθισται να μετρούνται πριν την απόρριψη του νερού στη θάλασσα. Συγκεντρωτικά, οι περιορισμοί παρουσιάζονται στην εικόνα.



Το scrubber αποτελείται από τη μονάδα πλύσης των καυσαερίων (ή αλλιώς πύργος απορρόφησης), η οποία είναι τοποθετημένη στην εξαγωγή των καυσαερίων και το σύστημα για την παροχή, την κυκλοφορία, τον καθαρισμό και την αποβολή του διαλύματος καθαρισμού. Η δέσμευση των σωματιδίων των ρύπων πραγματοποιείται μέσω της σύγκρουσης τους με τα σωματίδια του νερού, ενώ ο ρυθμός δέσμευσης αυτών εξαρτάται από την παροχή του διαλύματος καθαρισμού, τον κορεσμό του σε SO<sub>2</sub> και τη θερμοκρασία των καυσαερίων. Για τη διαδικασία αυτή διακρίνονται δύο τύποι πύργων απορρόφησης, ο τύπος U και ο τύπος I (Inline).

Οι πύργοι τύπου U είναι συστήματα με προ-επεξεργασία των καυσαερίων. Καθώς για τη δέσμευση των σωματιδιακών ρύπων μέσω σύγκρουσης απαιτούνται υψηλές σχετικές ταχύτητες των ρευμάτων καυσαερίων και νερού πλύσης, στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ακροφύσια για την αύξηση της ταχύτητάς τους και για τη δημιουργία σταγονιδίων του νερού πλύσης. Στα συστήματα προ-επεξεργασίας χρησιμοποιείται συνήθως το 20% της παροχής νερού πλύσης εξασφαλίζοντας την απομάκρυνση του 60% των SO<sub>x</sub> και ενός μέρους των PM, ενώ παράλληλα μειώνεται η θερμοκρασία των καυσαερίων στους 60°C. Η πτώση της θερμοκρασίας των καυσαερίων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου τους και συνεπώς τη μείωση των διαστάσεων του scrubber. Το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας των καυσαερίων επιτυγχάνει απομάκρυνση

του 98% των SOx. Η ανάμειξη εδώ πραγματοποιείται μέσω της δημιουργίας τυρβώδους ροής σε εναλλάκτη ομορροής, αντιρροής ή διασταυρούμενης ροής.

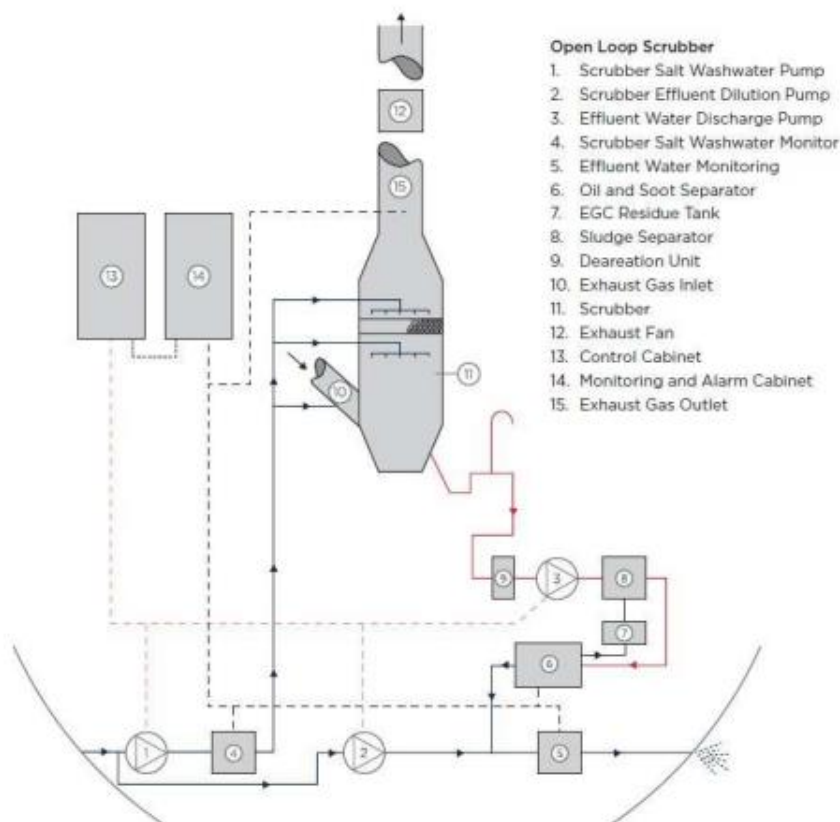
Οι πύργοι τύπου I (Inline type scrubbers) έχουν σημαντικά ευκολότερη εγκατάσταση καθώς έχουν μεγαλύτερο ύψος και μικρότερη διάμετρο από τους αντίστοιχους τύπους U. Επομένως, ενδείκνυνται για πλοία με περιορισμένο χώρο. Τα καυσαέρια εισέρχονται από τη βάση του πύργου του συστήματος, όπου αναμειγνύονται με το νερό πλύσης μέσω ψεκασμού με τη βοήθεια στρωμάτων ακροφυσίων. Δεν χρειάζονται ανεμιστήρες δεδομένου ότι έχουν περιορισμένη πτώση πίεσης λόγω της έλλειψης συστήματος προεπεξεργασίας. Το μειονέκτημά τους είναι η σχετικά μειωμένη απόδοση δέσμευσης των SOX συγκριτικά με τους τύπους U, με αποτέλεσμα κάποιες εταιρίες να ορίζουν μικρότερα ποσοστά θείου στο καύσιμο για την αποδοτική λειτουργία τους. Για παράδειγμα, η εταιρία Wärtsilä ορίζει μέγιστο ποσοστό θείου για τα συστήματα I, 2.5% και για τα συστήματα U, 3.5%.



Τα συστήματα υγρής λειτουργίας περιλαμβάνουν τρεις υποκατηγορίες: τα συστήματα ανοικτού βρόχου (open loop), τα συστήματα κλειστού βρόχου (closed loop) και τα υβριδικά συστήματα (hybrid) που λειτουργούν είτε ως συστήματα κλειστού είτε ως συστήματα ανοικτού βρόχου. Σε κάθε περίπτωση, το νερό πλύσης θα πρέπει να περιέχει την απαραίτητη αλκαλικότητα για την εξουδετέρωση των θεικών οξειδίων. Για το λόγο αυτό, πολύ σημαντικό παράγοντα στη μελέτη αποτελεί η περιοχή πλύσης του πλοίου. Άντληση νερού από περιοχές με νερά χαμηλής αλκαλικότητας (δηλαδή χαμηλό pH νερού), μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία συμμόρφωσης στους κανονισμούς καθώς το scrubber σε αυτές τις περιπτώσεις δε λειτουργεί αποτελεσματικά.

### Συστήματα ανοικτού βρόχου

Στη λειτουργία ανοικτού βρόχου το μέσο καθαρισμού των καυσαερίων είναι νερό το οποίο αντλείται από τη θάλασσα. Είναι σημαντικό αυτό να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο για τη δημιουργία θεικού και θειώδους νατρίου και ασβεστίου. Έτσι, σε συστήματα ανοικτού βρόχου, η παροχή νερού είναι μεγαλύτερη από αυτή του κλειστού βρόχου, καθώς η αλκαλικότητα του νερού δεν μπορεί να ελεγχθεί πριν αυτό περάσει στο σύστημα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του scrubber. Κατά τη διεργασία όπου τα αλκαλικά ρυθμιστικά άλατα δεσμεύονται, το pH στο νερό πλύσης μειώνεται. Επίσης, μειώνεται η θερμοκρασία των καυσαερίων και πραγματοποιείται παράλληλη συμπύκνωση άκαυστων υδρογονανθράκων, οι οποίοι σχηματίζουν σωματίδια που ενώνονται μεταξύ τους, απομακρύνονται από τα καυσαέρια και συγκεντρώνονται στα υγρά απόβλητα της πλυντρίδας. Το υδάτινο μείγμα που δημιουργείται κατά τη διαδικασία καθαρισμού συλλέγεται σε μία δεξαμενή στη βάση του συστήματος, απομακρύνεται από αυτή με τη βοήθεια της βαρύτητας ή κατάλληλης αντλίας και στη συνέχεια διέρχεται από διαχωριστή σταγονιδίων και στερεών υπολειμμάτων. Αφού εξασφαλιστεί πως η ποιότητά του είναι αποδεκτή, απορρίπτεται πίσω στη θάλασσα. Τα υπολείμματα των καυσαερίων τα οποία περιέχουν PM, στάχτη, βαριά μέταλλα και λάσπη αποθηκεύονται σε δεξαμενή στο πλοίο και απορρίπτονται σε ειδικές εγκαταστάσεις στα λιμάνια. Σημειώνεται πως σύμφωνα με το παράρτημα VI της MARPOL (κανονισμός 16), απαγορεύεται η καύση τέτοιων υπολειμμάτων. Η διάταξη του παραπάνω συστήματος scrubber απεικονίζεται στην εικόνα.



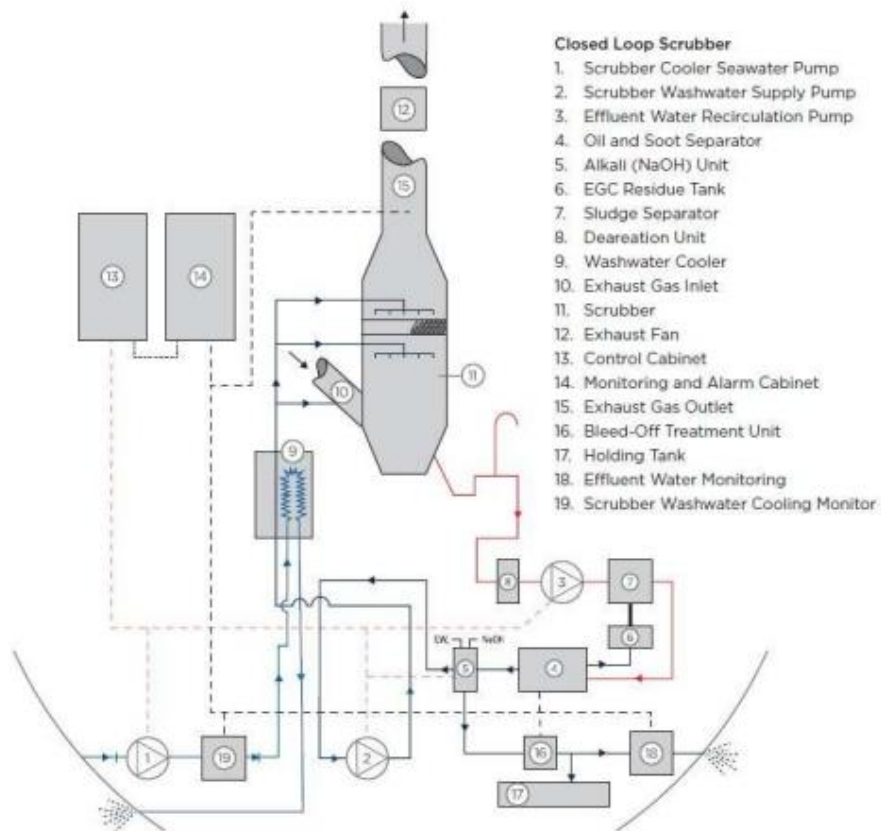
### Συστήματα κλειστού βρόχου

Τα συστήματα κλειστού βρόχου χρησιμοποιούν κατά βάση γλυκό νερό ως μέσο καθαρισμού με εξαίρεση λίγα συστήματα που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό. Στην περίπτωση αυτή το νερό ανακυκλώνεται στο εγκαταστημένο σύστημα, καθιστώντας τη διαδικασία καθαρισμού ανεξάρτητη από τη χημική σύσταση του νερού της περιοχής πλεύσης του πλοίου.

Μετά από κάθε πέρασμα από τον πύργο του scrubber στο νερό πλύσης συμπληρώνονται χημικές ουσίες (συνήθως καυστική σόδα, NaOH) με σκοπό τη διατήρηση της επιθυμητής τιμής αλκαλικότητας του. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, όσο υψηλότερη είναι η ισχύς της κύριας μηχανής, τόσο υψηλότερη η απαιτούμενη κατανάλωση καυστικής σόδας και τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός δέσμευσης του θείου από τα καυσαέρια. Περιοδικά από το μείγμα του νερού πλύσης αφαιρούνται κάποια απόβλητα και προστίθεται γλυκό νερό (ή

θαλασσινό σε κάποια συστήματα), για τη διατήρηση της σωστής χημικής σύνθεσης και την απόσπαση του παραγόμενου θειικού νατρίου.

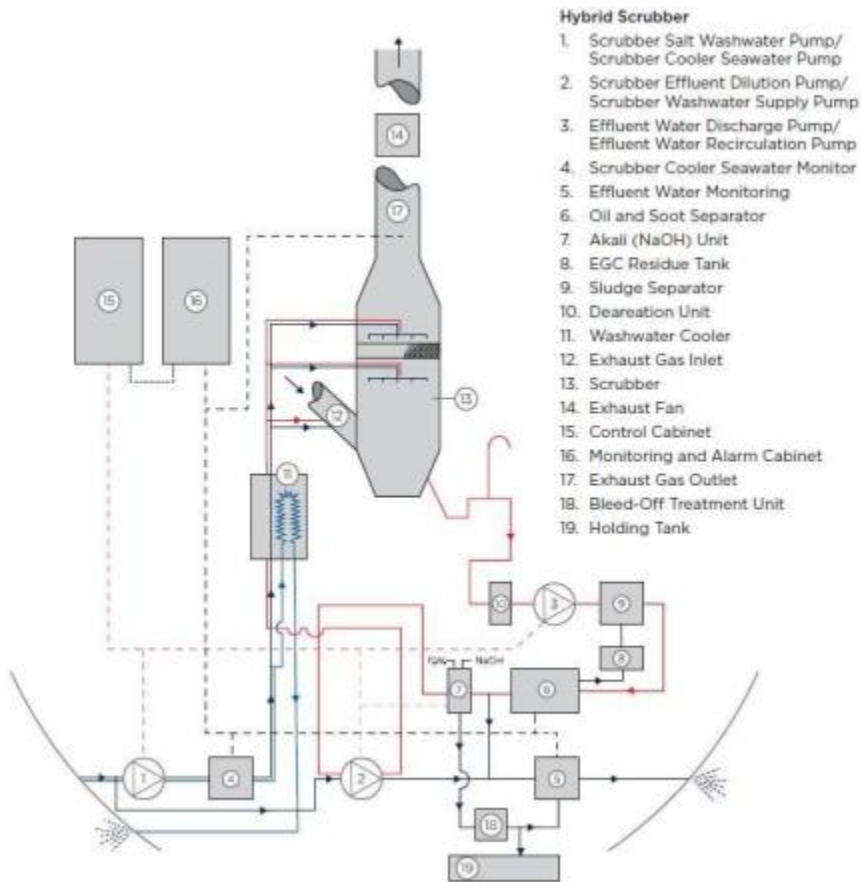
Σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου η διαδικασία αφαίρεσης των  $SO_x$  είναι παρόμοια με αυτή του συστήματος ανοιχτού βρόχου. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο, είναι πως αντί το νερό πλύσης να απορρίπτεται στην θάλασσα, διοχετεύεται ξανά στο σύστημα και η διαδικασία καθαρισμού επαναλαμβάνεται. Συγκεκριμένα, σε κάθε κύκλο μικρό μέρος του νερού πλύσης αποβάλλεται από τον πυθμένα της δεξαμενής όπου έχουν συγκεντρωθεί τα υπολείμματα και στη συνέχεια μεταφέρεται σε διαχωριστή. Έτσι, η μικρή ποσότητα αποβαλλόμενου νερού περιορίζει την ανάγκη επεξεργασίας του σε περίπτωση απόρριψής του στη θάλασσα σε περιοχές όπου μία τέτοια ενέργεια είναι αποδεκτή. Τα υπολείμματα συγκεντρώνονται σε δεξαμενή και μεταφέρονται σε ειδικές εγκαταστάσεις στη στεριά. Η ποσότητα του νερού που χάνεται λόγω απόρριψης και εξάτμισης στον πύργο του scrubber αντικαθίσταται και ελέγχεται η χημική του σύσταση. Εάν χρειαστεί συμπληρώνονται και οι απαραίτητες ουσίες για τη ρύθμιση της αλκαλικότητας του μείγματος. Το τελικό μείγμα διοχετεύεται μέσω αντλίας σε ψυκτήρα και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Η διάταξη του παραπάνω συστήματος scrubber απεικονίζεται στην εικόνα.



### Υβριδικά συστήματα

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, το σύστημα ανοιχτού βρόχου δεν απαιτεί την προσθήκη καυστικής σόδας για τη ρύθμιση της αλκαλικότητας του νερού, καθώς λειτουργεί με θαλασσινό νερό. Από την άλλη, ένα σύστημα κλειστού βρόχου λειτουργεί με την ίδια υψηλή απόδοση ανεξαρτήτως της αλκαλικότητας του νερού της περιοχής πλεύσης και ταυτόχρονα δεν απορρίπτει νερό στο θαλάσσιο περιβάλλον. Για τον συνδυασμό των πλεονεκτημάτων των δύο αυτών μεθόδων, δημιουργήθηκαν τα συστήματα hybrid. Τα συστήματα αυτά, λειτουργούν ως συστήματα ανοιχτού βρόχου όταν το πλοίο βρίσκεται σε ανοιχτή θάλασσα και ως κλειστού βρόχου όταν το πλοίο βρίσκεται σε περιοχή με αυστηρούς κανονισμούς ή ύδατα χαμηλής αλκαλικότητας. Η αλλαγή από τη μία λειτουργία στην άλλη πραγματοποιείται αλλάζοντας την αναρρόφηση της αντλίας κυκλοφορίας νερού από θαλασσινό νερό σε νερό που

βρίσκεται ήδη αποθηκευμένο στο πλοίο και αλλάζοντας την απόρριψη νερού από τη θάλασσα σε ειδική δεξαμενή για την κυκλοφορία του νερού. Η διάταξη του παραπάνω συστήματος scrubber απεικονίζεται στην εικόνα.





### Επιλογή scrubber

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου και του παρακάτω πίνακα επιλέγουμε δύο πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου κλειστού βρόχου ηλεκτρικού φορτίου 190 kW η καθεμία λόγω του ότι είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον σε σχέση με τις ανοιχτού βρόχου και έχοντας δύο έχουμε μεγαλύτερη ασφάλεια λειτουργίας τους.

<b>Κύριες διαστάσεις</b>	
<b>Μήκος L (m)</b>	<b>296</b>
<b>Πλάτος B (m)</b>	<b>48,5</b>
<b>Κοίλο D (m)</b>	<b>24,9</b>
<b>Βύθισμα T (m)</b>	<b>17,9</b>
<b>DWT (tons)</b>	<b>200.000</b>
<b>Ταχύτητα υπηρεσίας Vs (kn)</b>	<b>14.7</b>

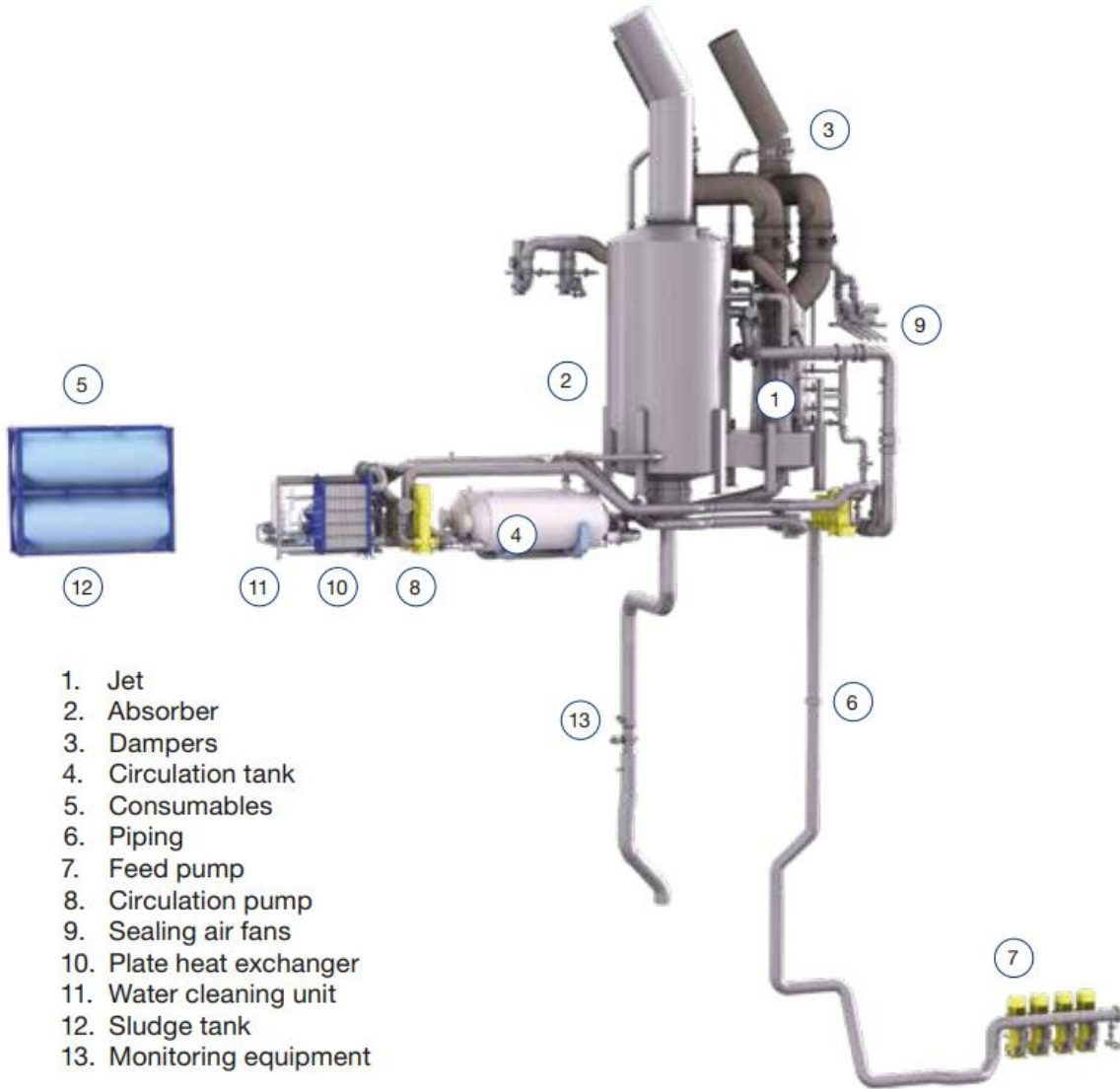
<b>Main Engine</b>	
<b>Maker</b>	<b>MAN B&amp;W</b>
<b>Model</b>	<b>7S65ME-C8.2</b>
<b>Power at MCR (kW)</b>	<b>20090</b>
<b>SFOC (100%) (g/kWh)</b>	<b>169</b>
<b>SFOC (75%) (g/kWh)</b>	<b>165</b>

Engine	Diameter	Length	Height	Dry Weight	Operational Weight
MW	m	m	m	tonnes	tonnes
4	1.7	3.4	7.1	3.3	4.0
8	2.4	4.4	8.1	5.9	7.4
12	2.9	5.2	8.7	8.1	10.4
16	3.4	5.9	9.0	10.6	14.1
20	3.8	6.4	9.5	12.8	17.2
24	4.2	7.0	10.1	16.5	21.7
32	4.8	7.9	11.0	21.2	28.2
55	6.2	10.0	13.0	41.4	53.7

Engine Size	5 MW		20 MW		40 MW	
Equipment	Open loop	Closed loop	Open loop	Closed loop (2)	Open loop	Closed loop (3)
Scrubbing water flow (m <sup>3</sup> /hr)	225	225	900	675	1,800	1350
Cooling water flow	NA	150	NA	240	NA	450
Electric load (kW) (4)	65	85	205	190	395	350
Electrical load Open Loop Water Treatment System (kW)(5)	15	NA	65	NA	125	NA
Bleed-off water (m <sup>3</sup> /hr)	NA	0.875	NA	3.5	NA	7
Sludge generation (liter/hr)(6)	0.5	15	2	25	4	45
NaOH usage (50% solution) (liter/hr)(7)	NA	95	NA	155	NA	290

**Notes**

1. The Table is based on Wärtsilä's data for scrubbing emission from 3.5% S to 0.1% S fuel equivalency
2. The closed loop is sized for 8 MW.
3. The closed loop is sized for 15 MW
4. Assuming scrubber installed 20 meters above least draft of ship during scrubber operation
5. This is optional, consist of a residue tank, wash water pump, hydrocyclone and settling tank
6. For open loop operation, sludge is only generated if the water treatment system is chosen
7. Caustic soda usage rates and storage requirements can vary significantly depending on the engine load and scrubber operation. Indicated values are of the expected requirements.



## Ηλεκτρικός ισολογισμός

Ηλεκτρικός ισολογισμός είναι ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής ισχύος του συνόλου των καταναλωτών σε ένα πλοίο στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του κι έτσι συνοψίζει το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου.

Μια αρχική εκτίμηση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να βγει από τον εξής εμπειρικό τύπο.

$$PG = 110 + 0,6 \cdot P^{0,7} = 726,93 \text{ kW}$$

Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός προκειμένου να γίνει η επιλογή των ηλεκτρογεννητριών του πλοίου, των καλωδίων, των διατάξεων προστασίας του δικτύου.

### Αναλυτικός ηλεκτρικός ισολογισμός

Η κατάσταση του ισολογισμού περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός πίνακα με όλα τα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου, χωρισμένα σε ομάδες π.χ. βοηθητικά πρόωσης, πίνακες φωτισμού κλπ. Ο πίνακας περιλαμβάνει όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου π.χ. κατάσταση κανονικής πορείας, κατάσταση χειρισμών, εν όρμω, φόρτωσης κλπ, καθώς και μια στήλη με το πλήθος των όμοιων φορτίων (N), μια στήλη με το βαθμό απόδοσης κάθε καταναλωτή ( $\eta$ ), μια στήλη με την αποδιδόμενη ισχύ, μια με την απορροφόμενη ισχύ και μια με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ κάθε καταναλωτή. Επιπλέον, η κάθε κατάσταση λειτουργίας αποτελείται από μια στήλη με το συντελεστή λειτουργίας κάθε καταναλωτή ( $f_s$ ), μια με το πλήθος των όμοιων φορτίων που είναι σε λειτουργία ( $N'$ ) και μία με την ισχύ λειτουργίας.

$$P_{\text{ον.απορροφ.}} [\text{kW}] = P_{\text{ον.αποδ.}} [\text{kW}] / \eta$$

$$P_{\text{εγκατ.}} [\text{kW}] = P_{\text{ον.απορροφ.}} [\text{kW}] \cdot N$$

$$f_s = \frac{\text{Μέσο φορτίο 24-ώρου}}{\text{Ονομαστικό φορτίο}} = \frac{\sum_i P_i \cdot t_i}{24 \cdot P_{\text{ον.αποδ.}}}$$

όπου  $P_i$  είναι η ισχύς λειτουργίας κατά τη χρονική περίοδο  $i$  του 24-ώρου και  $t_i$  οι ώρες λειτουργίας με ισχύ κατά τη διάρκεια ενός 24-ώρου.

Ρλειτ. [kW] = Ρον.απορροφ. [KW]\* N´\* fs

Το άθροισμα των τιμών της στήλης με την ισχύ λειτουργίας δίνει την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ σε κάθε κατάσταση κινήσεως του πλοίου.

Τα επίπεδα των τάσεων που εμφανίζονται στα φορτία του πλοίου είναι της τάξεως των 440 V και των 220 V, και επομένως μιλάμε για φορτία χαμηλής τάσης, και η συχνότητα του δικτύου είναι 60 Hz. Προκειμένου να έχουμε τάση των 220 V (πολική τάση) υπάρχουν δύο μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσεως σε συνδεσμολογία Dd (τριγώνου – τριγώνου), ο ένας για τις κύριες γεννήτριες και ο άλλος για τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης. Το δίκτυο του πλοίου είναι τριφασικό (440V) με τον ουδέτερο αγείωτο (insulated neutral system) (3 αγωγοί) και μονοφασικό (220V-2 αγωγοί).

Οι ιδιαιτερότητες στις ηλεκτρικές απαιτήσεις ενός πλοίου μεταφοράς φορτίου χύδην όπως το υπό μελέτη πλοίο αφορούν κυρίως τους ανιχνευτές στάθμης νερού και τα αντίστοιχα οπτικά ή ακουστικά συστήματα συναγερμού, τα οποία απαιτούνται από τη διεθνή σύμβαση SOLAS για τέτοιου τύπου πλοία.

Ο αναλυτικός ηλεκτρικός ισολογισμός του πλοίου έχει γίνει για πέντε χαρακτηριστικές καταστάσεις του πλοίου: 1) κατάσταση κανονικής πορείας, 2) κατάσταση χειρισμών, 3) κατάσταση εν όρμω, 4) κατάσταση ερματισμού και 5) κατάσταση χειρισμού φορτίου και φαίνεται στον πίνακα που παρατίθεται πιο κάτω.

Ο δεύτερος πίνακας δείχνει τον αναλυτικό ηλεκτρικό ισολογισμό στην κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Για τα φορτία που είναι σε λειτουργία στην κατάσταση έκτακτης ανάγκης, έχει ληφθεί συντελεστής λειτουργίας fs ίσος με 1 για λόγους ασφαλείας.

	Βοηθητικά Πρόωσης	η	N	Ονομαστική Ισχύς Μονάδας		kW απορ.	Ρεγκατ[kW]	Ισχύς καν.πορείας			Ισχύς χειρισμών			Ισχύς εν όρμω			Ισχύς ερματισμού			Ισχύς χειρισμού φορτίου		
				PS αποδ.	kW αποδ.			N'	fs	Ρλειτ [kw]	N'	fs	Ρλειτ [kw]	N'	fs	Ρλειτ [kw]	N'	fs	Ρλειτ [kw]	N'	fs	Ρλειτ [kw]
1	Κύρια αντλία λαδιού λίπανσης	0.95	2	101.9	74.9473226	78.891919	157.783837	1	0.65	51.279747	1	0.7	51.27974706	0	0	0	1	0.7	51.27975	0	0	0
2	Κύρια αντλία θαλασσινού νερού ψύξης	0.95	2	95.11	69.9532861	73.635038	147.270076	1	0.8	58.90803	1	0.8	58.90803041	1	0.6	44.181023	1	0.6	44.18102	1	0.6	44.181023
3	Αντλία γλυκού νερού ψύξης Κ.Μ.	0.85	2	20.38	14.9894645	17.634664	35.2693283	1	0.8	14.107731	1	0.8	14.10773132	0	0	0	1	0.8	14.10773	0	0	0
4	Αντλία ψύξης νερού χαμηλής θερμ.	0.95	2	122.28	89.9367872	94.670302	189.340605	1	0.8	75.736242	1	0.8	75.73624181	1	0.6	56.802181	1	0.8	75.73624	1	0.6	56.802181
5	Αντλία πετρελαίου χαμηλής πίεσης	0.8	2	4.96	3.6480738	4.5600923	9.1201845	1	0.8	3.6480738	1	0.8	3.6480738	0	0	0	1	0.8	3.648074	0	0	0
6	Αντλία πετρελαίου	0.8	2	2.04	1.50041745	1.8755218	3.75104363	1	0.8	1.5004175	1	0.8	1.50041745	0	0	0	1	0.8	1.500417	0	0	0
7	Αντλία λίπανσης	0.8	2	2.72	2.0005566	2.5006958	5.0013915	1	0.8	2.0005566	1	0.8	2.0005566	0	0	0	1	0.8	2.000557	0	0	0

8	Βοηθητική παροχή αέρα Κ.Μ.	0.95	2	59.78	43.9681153	46.282227	92.5644532	0	0	0	2	0.8	74.05156257	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Στροφέιο Κύριας Μηχανής	0.8	1	4.08	3.0008349	3.7510436	3.75104363	0	0	0	0	0	0	1	0.3	1.1253131	0	0	0	0	0
#	Φίλτρο λαδιού λίπανσης	0.8	1	0.27	0.19858466	0.2482308	0.24823083	1	0.8	0.1985847	1	0.8	0.198584663	0	0	0	1	0.8	0.198585	0	0
#	Ξηραντήρας αέρα	0.8	1	0.61	0.44865424	0.5608178	0.5608178	1	0.3	0.1682453	1	0.3	0.168245339	1	0.3	0.1682453	1	0.3	0.168245	1	0.3
	<b>Σύνολο</b>									<b>207.54763</b>			<b>281.599191</b>			<b>102.27676</b>			<b>192.8206</b>		<b>101.15145</b>
	<b>Βοηθητικά Μηχανοστασίου</b>																				
1	Αντλίες λίπανσης χοάνης ελικ.άξονα	0.8	2	0.54	0.39716933	0.4964617	0.99292331	1	0.8	0.3971693	1	0.8	0.397169325	0	0	0	1	0.8	0.397169	0	0
2	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου	0.85	1	10.19	7.49473226	8.8173321	8.81733207	1	0.6	5.2903992	1	0.6	5.290399244	1	0.6	5.2903992	1	0.6	5.290399	1	0.6
3	Αντλία καταλοίπων πετρελαίου	0.8	1	2.04	1.50041745	1.8755218	1.87552181	1	0.3	0.5626565	1	0.3	0.562656544	1	0.3	0.5626565	1	0.3	0.562657	1	0.3

4	Αντλία μετάγγισης diesel	0.8	1	2.99	2.19914126	2.7489266	2.74892658	0	0	0	1	0.6	1.649355947	1	0.6	1.6493559	1	0.4	1.099571	1	0.4	1.0995706
5	Διαχωριστήρας ακάθαρτου νερού	0.8	1	2.38	1.75048703	2.1881088	2.18810878	1	0.3	0.6564326	0	0	0	0	0	0	1	0.3	0.656433	0	0	0
6	Αντλία μετάγγισης ελαίου λίπανσης	0.8	1	2.99	2.19914126	2.7489266	2.74892658	1	0.6	1.6493559	1	0.6	1.649355947	1	0.6	1.6493559	1	0.6	1.649356	1	0.6	1.6493559
7	Αντλία σεντινών	0.8	1	2.04	1.50041745	1.8755218	1.87552181	1	0.3	0.5626565	0	0	0	1	0.3	0.5626565	1	0.3	0.562657	1	0.3	0.5626565
8	Σύστημα αποτροπής ρύπανσης γάστρας	0.8	1	3.26	2.39772593	2.9971574	2.99715741	1	0.6	1.7982944	1	0.6	1.798294444	1	0.6	1.7982944	1	0.6	1.798294	1	0.6	1.7982944
9	Αντλία πόσιμου νερού	0.8	2	5.03	3.69955871	4.6244484	9.24889678	1	0.6	2.774669	1	0.6	2.774669034	1	0.6	2.774669	1	0.6	2.774669	1	0.6	2.774669
#	Αντλία κυκλοφορίας θερμού νερού	0.8	1	1.02	0.75020873	0.9377609	0.93776091	1	0.6	0.5626565	1	0.6	0.562656544	1	0.6	0.5626565	1	0.6	0.562657	1	0.6	0.5626565
#	Δεξαμενή θέρμανσης νερού	0.9	1	32.61	23.9846142	26.649571	26.6495714	0	0	0	0	0	0	1	0.6	15.989743	0	0	0	0	0	0



#	Αντλία σεντινών & γενικής χρήσης	0.95	2	74.73	54.9638216	57.856654	115.713309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.8	46.285323
#	Αντλία ερματισμού	0.95	2	149.46	109.927643	115.71331	231.426617	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.8	185.1413	1	0.8	92.570647
#	Διαχωριστήρας πετρελαίου	0.85	2	11.68	8.5906254	10.106618	20.2132362	1	0.6	6.0639709	1	0.6	6.063970871	1	0.6	6.0639709	1	0.6	6.063971	1	0.6	6.0639709
#	Διαχωριστήρας ελαίου λίπανσης	0.85	2	8.7	6.39883913	7.528046	15.0560921	1	0.6	4.5168276	1	0.6	4.516827618	1	0.6	4.5168276	1	0.6	4.516828	1	0.6	4.5168276
#	Κύριος αεροσυμπιεστής εκκίνησης	0.9	2	53.26	39.1726634	43.525182	87.0503632	1	0.3	13.057554	1	0.3	13.05755448	1	0.3	13.057554	1	0.3	13.05755	1	0.3	13.057554
#	Βοηθητικός αεροσυμπιεστής	0.9	1	33.97	24.9848925	27.760992	27.7609917	0	0	0	1	0.8	22.20879337	1	0.8	22.208793	0	0	0	0	0	0
#	Αεροσυμπιεστής εκκίνησης ανάγκης	0.85	1	8.56	6.2958693	7.4069051	7.40690506	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα πετρελαίου	0.8	1	1.77	1.30183279	1.627291	1.62729098	1	0.6	0.9763746	1	0.6	0.976374591	1	0.6	0.9763746	1	0.6	0.976375	1	0.6	0.9763746
#	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα λαδιού	0.8	1	1.77	1.30183279	1.627291	1.62729098	1	0.6	0.9763746	1	0.6	0.976374591	1	0.6	0.9763746	1	0.6	0.976375	1	0.6	0.9763746
#	Προθερμαντήρας νερού χιτωνίων	0.85	1	27.17	19.983501	23.510001	23.5100012	0	0	0	0	0	0	1	0.2	4.7020002	0	0	0	0	0	0
#	Αντλία προλίπανσης ηλεκτρογεννητριών	0.8	3	1.26	0.92672843	1.1584105	3.47523159	2	0.8	1.8534569	1	0.8	0.926728425	2	0.8	1.8534569	1	0.8	0.926728	1	0.8	0.9267284
#	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου γεννητριών	0.8	2	0.37	0.27213454	0.3401682	0.68033634	1	0.8	0.2721345	1	0.8	0.272134538	1	0.8	0.2721345	1	0.8	0.272135	1	0.8	0.2721345
#	Αντλία μετάγγισης υψηλής πίεσης γεννητριών	0.8	2	0.86	0.63252893	0.7906612	1.58132231	1	0.8	0.6325289	1	0.8	0.632528925	1	0.8	0.6325289	1	0.8	0.632529	1	0.8	0.6325289

#	Αντλία μετάγγισης diesel γεννητριών	0.8	1	0.23	0.16916471	0.2114559	0.21145589	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#	Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων	0.85	1	8.97	6.59742379	7.761675	7.76167504	1	0.3	2.3285025	1	0.3	2.328502513	1	0.3	2.3285025	1	0.3	2.328503	1	0.3	2.3285025
#	Δεξαμενή επεξεργασίας λυμάτων	0.8	1	5.71	4.19969786	5.2496223	5.24962233	1	0.3	1.5748867	1	0.3	1.574886698	1	0.3	1.5748867	1	0.3	1.574887	1	0.3	1.5748867
#	Μονάδα παραγωγής γλυκού νερού	0.9	1	29.08	21.3883037	23.764782	23.7647818	1	0.6	14.258869	0	0	0	0	0	0	1	0.6	14.25887	0	0	0
#	Αντλία πυρκαγιάς ασφαλείας	0.9	1	33.97	24.9848925	27.760992	27.7609917	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>60.765771</b>			<b>68.21923364</b>			<b>90.003192</b>			<b>246.0799</b>			<b>184.48211</b>
	<b>Αποτεφρωτήρας και Λέβητας</b>																					
1	Αποτεφρωτήρας	0.85	1	20.38	14.9894645	17.634664	17.6346641	1	0.3	5.2903992	0	0	0	0	0	0	1	0.3	5.290399	0	0	0
2	Καυστήρας λέβητα	0.8	1	6.11	4.49389736	5.6173717	5.6173717	0	0	0	1	0.8	4.493897363	1	0.8	4.4938974	0	0	0	1	0.8	4.4938974

3	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου λέβητα	0.45	2	0.61	0.44865424	0.9970094	1.99401883	0	0	0	1	0.8	0.797607533	1	0.8	0.7976075	0	0	0	1	0.8	0.7976075
4	Αντλία τροφοδοσίας νερού λέβητα	0.8	2	2.99	2.19914126	2.7489266	5.49785316	1	0.8	2.1991413	1	0.8	2.199141263	1	0.8	2.1991413	1	0.8	2.199141	1	0.8	2.1991413
5	Προθερμαντήρας λέβητα	0.85	1	9.65	7.09756294	8.350074	8.35007404	0	0	0	1	1	8.350074044	1	1	8.350074	0	0	0	1	1	8.350074
	<b>Σύνολο</b>									<b>7.4895405</b>			<b>15.8407202</b>			<b>15.84072</b>			<b>7.489541</b>			<b>15.84072</b>
	<b>Εργαστήριο Μηχανοστασίου</b>																					
1	Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης	0.85	1	21.74	15.9897428	18.811462	18.8114621	1	0.2	3.7622924	1	0.2	3.762292429	1	0.3	5.6434386	1	0.2	3.762292	1	0.3	5.6434386
2	Δράπανο	0.8	1	0.95	0.69872381	0.8734048	0.87340477	1	0.2	0.174681	1	0.2	0.174680953	1	0.3	0.2620214	1	0.2	0.174681	1	0.3	0.2620214
3	Τόρνος	0.8	1	4.08	3.0008349	3.7510436	3.75104363	1	0.2	0.7502087	1	0.2	0.750208725	1	0.3	1.1253131	1	0.2	0.750209	1	0.3	1.1253131
4	Ηλεκτρικό τρυπάνι	0.8	1	0.27	0.19858466	0.2482308	0.24823083	1	0.2	0.0496462	1	0.2	0.049646166	1	0.3	0.0744692	1	0.2	0.049646	1	0.3	0.0744692
5	Γερανός Μηχανοστασίου	0.85	1	9.92	7.2961476	8.5837031	8.58370306	1	0.2	1.7167406	1	0.2	1.716740612	1	0.3	2.5751109	1	0.2	1.716741	1	0.3	2.5751109
	<b>Σύνολο</b>									<b>6.4535689</b>			<b>6.453568885</b>			<b>9.6803533</b>			<b>6.453569</b>			<b>9.6803533</b>

Συστήματα Ψύξεως																						
1	Ανεμιστήρας μονάδας κλιματισμού	0.85	2	13.59	9.99542801	11.759327	23.5186541	2	0.6	14.111192	2	0.6	14.11119249	2	0.6	14.111192	2	0.6	14.11119	2	0.6	14.111192
2	Συμπιεστής μονάδας κλιματισμού	0.95	1	84.24	61.9584147	65.219384	65.2193839	1	0.6	39.13163	1	0.6	39.13163034	1	0.6	39.13163	1	0.6	39.13163	1	0.6	39.13163
3	Συμπιεστής μονάδας ψύξης	0.85	2	17.66	12.9889079	15.281068	30.5621363	1	0.6	9.1686409	1	0.6	9.168640888	1	0.6	9.1686409	1	0.6	9.168641	1	0.6	9.1686409
4	Ανεμιστήρας χώρου προμηθειών	0.8	1	1.09	0.80169364	1.002117	1.00211705	1	0.6	0.6012702	1	0.6	0.601270228	1	0.6	0.6012702	1	0.6	0.60127	1	0.6	0.6012702
5	Θερμαντήρας χώρου προμηθειών	0.85	1	24.46	17.9902994	21.165058	21.1650581	1	0.1	2.1165058	1	0.1	2.116505815	1	0.1	2.1165058	1	0.1	2.116506	1	0.1	2.1165058
6	Μονάδα κλιματισμού ecr	0.85	1	10.73	7.89190159	9.2845901	9.2845901	1	0.6	5.5707541	1	0.6	5.570754062	1	0.6	5.5707541	1	0.6	5.570754	1	0.6	5.5707541
7	Μονάδα κλιματισμού χώρων κουζίνας	0.85	1	13.59	9.99542801	11.759327	11.7593271	1	0.6	7.0555962	1	0.6	7.055596244	1	0.6	7.0555962	1	0.6	7.055596	1	0.6	7.0555962
<b>Σύνολο</b>										<b>77.75559</b>			<b>77.75559006</b>			<b>77.75559</b>			<b>77.75559</b>			<b>77.75559</b>

	<b>Βοηθητικά Καταστώματος</b>																						
1	Σύστημα πηδαλιουχίας	0.9	2	44.84	32.979764	36.644182	73.2883643	1	0.3	10.993255	2	0.3	21.9865093	0	0	0	1	0.3	10.99325	0	0	0	
2	Αντλία συστήματος πηδαλιουχίας	0.8	2	0.54	0.39716933	0.4964617	0.99292331	1	0.3	0.1489385	2	0.3	0.297876994	0	0	0	1	0.3	0.148938	0	0	0	
3	Αντλία εργάτη άγκυρας	0.95	2	122.28	89.9367872	94.670302	189.340605	0	0	0	2	0.6	113.6043627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	Αντλία εργάτη πρυμνησίων	0.95	2	101.9	74.9473226	78.891919	157.783837	0	0	0	1	0.6	47.33515113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	Γερανός πετρέλευσης	0.8	2	5.43	3.99375821	4.9921978	9.98439553	0	0	0	0	0	0	1	0.3	1.4976593	0	0	0	1	0.3	1.4976593	
6	Γερανός προμηθειών	0.85	1	17.26	12.6947084	14.934951	14.9349511	0	0	0	0	0	0	1	0.3	4.4804853	0	0	0	1	0.3	4.4804853	
7	Βίντσι σωσίβιας λέμβου	0.85	1	11.55	8.49501056	9.9941301	9.99413007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Βίντσι λέμβου διάσωσης	0.85	1	13.99	10.2896275	12.105444	12.1054441	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

9	Σκάλες επιβίβασης πλοίου	0.85	2	8.15	5.99431481	7.0521351	14.1042701	0	0	0	1	0.3	2.115640522	1	0.3	2.1156405	0	0	0	0	0	0
#	Σκάλες επιβίβασης πιλότου	0.8	2	5.43	3.99375821	4.9921978	9.98439553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#	Βοηθητική σκάλα	0.8	2	3.4	2.50069575	3.1258697	6.25173938	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>												<b>11.142193</b>			<b>185.3395407</b>					<b>11.14219</b>	<b>5.9781447</b>
	<b>Εξαερισμός</b>																					
1	Ανεμιστήρες μηχανοστασίου	0.85	4	17.26	12.6947084	14.934951	59.7398044	4	0.8	47.791843	4	0.8	47.79184348	4	0.8	47.791843	4	0.8	47.79184	4	0.8	47.791843
2	Ανεμιστήρες χώρου διαχωριστήρων	0.8	1	5.43	3.99375821	4.9921978	4.99219777	1	0.8	3.9937582	1	0.8	3.993758213	1	0.8	3.9937582	1	0.8	3.993758	1	0.8	3.9937582
3	Ανεμιστήρες χώρου πηδαλιουχίας	0.8	1	2.04	1.50041745	1.8755218	1.87552181	1	0.8	1.5004175	1	0.8	1.50041745	1	0.8	1.5004175	1	0.8	1.500417	1	0.8	1.5004175
4	Ανεμιστήρες χώρου γεννήτριας ασφαλείας	0.8	1	5.43	3.99375821	4.9921978	4.99219777	1	0.8	3.9937582	1	0.8	3.993758213	1	0.8	3.9937582	1	0.8	3.993758	1	0.8	3.9937582

5	Ανεμιστήρες χώρων ενδιαίτησης	0.8	20	0.11	0.08090486	0.1011311	2.02262156	20	0.8	1.6180973	20	0.8	1.61809725	20	0.8	1.6180973	20	0.8	1.618097	20	0.8	1.6180973
	<b>Σύνολο</b>									<b>58.897875</b>			<b>58.89787461</b>			<b>58.897875</b>			<b>58.89787</b>			<b>58.897875</b>
	<b>Συσκευές Μαγειρείου</b>																					
1	Βραστήρας	0.85	1	16.58	12.1945693	14.346552	14.3465521	1	0.3	4.3039656	1	0.3	4.303965626	1	0.3	4.3039656	1	0.3	4.303966	1	0.3	4.3039656
2	Κουζίνα -Εστίες	0.9	1	27.85	20.4836402	22.7596	22.7596002	1	0.3	6.8278801	1	0.3	6.827880063	1	0.3	6.8278801	1	0.3	6.82788	1	0.3	6.8278801
3	Πλυντήριο πιάτων	0.85	1	9.24	6.79600845	7.9953041	7.99530406	1	0.3	2.3985912	1	0.3	2.398591218	1	0.3	2.3985912	1	0.3	2.398591	1	0.3	2.3985912
4	Βραστήρας νερού	0.8	1	4.08	3.0008349	3.7510436	3.75104363	1	0.3	1.1253131	1	0.3	1.125313088	1	0.3	1.1253131	1	0.3	1.125313	1	0.3	1.1253131
5	Φριτέζα	0.85	1	19.02	13.9891862	16.457866	16.4578661	1	0.3	4.9373598	1	0.3	4.937359844	1	0.3	4.9373598	1	0.3	4.93736	1	0.3	4.9373598
6	Πλυντήριο	0.85	1	12.23	8.99514971	10.582529	10.5825291	1	0.3	3.1747587	1	0.3	3.174758722	1	0.3	3.1747587	1	0.3	3.174759	1	0.3	3.1747587
7	Στεγνωτήριο	0.85	1	11.28	8.2964259	9.7605011	9.76050106	1	0.3	2.9281503	1	0.3	2.928150318	1	0.3	2.9281503	1	0.3	2.92815	1	0.3	2.9281503
8	Διάφορα μηχανήματα	0.85	20	1.02	0.75020873	0.8825985	17.65197	20	0.3	5.295591	20	0.3	5.295591	20	0.3	5.295591	20	0.3	5.295591	20	0.3	5.295591
	<b>Σύνολο</b>									<b>30.99161</b>			<b>30.99160988</b>			<b>30.99161</b>			<b>30.99161</b>			<b>30.99161</b>
	<b>Πίνακες Φωτισμού</b>																					
1	Εξωτερικός φωτισμός	0.9	1	28.53	20.9837793	23.31531	23.3153104	0	0	0	1	0.8	18.6522483	1	0.8	18.652248	1	0.8	18.65225	1	0.8	18.652248



2	Φωτισμός μηχανοστασίου	0.85	1	9.51	6.99459311	8.2289331	8.22893307	1	1	8.2289331	1	1	8.228933074	1	1	8.2289331	1	1	8.228933	1	1	8.2289331
3	Φωτισμός ανάγκης	0.85	1	9.51	6.99459311	8.2289331	8.22893307	1	0.6	4.9373598	1	0.6	4.937359844	1	0.6	4.9373598	1	0.6	4.93736	1	0.6	4.9373598
4	Φωτισμός ενδιαιτήσεως	0.85	1	16.3	11.9886296	14.10427	14.1042701	1	0.8	11.283416	1	0.8	11.28341612	1	0.8	11.283416	1	0.8	11.28342	1	0.8	11.283416
5	Φωτισμός ναυσιπλοΐας	0.8	1	3.53	2.59631059	3.2453882	3.24538823	1	0.2	0.6490776	1	0.2	0.649077647	1	0.2	0.6490776	1	0.2	0.649078	1	0.2	0.6490776
6	Φωτισμός χώρων φορτίου	0.8	28	0.41	0.30155449	0.3769431	10.5544071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0.3	3.1663221
	<b>Σύνολο</b>									<b>25.098787</b>			<b>43.75103498</b>			<b>43.751035</b>			<b>43.75103</b>			<b>46.917357</b>
	<b>Διάφορα</b>																					
1	Όργανα ναυσιπλοΐας & επικοινωνίας	0.8	1	3.8	2.79489525	3.4936191	3.49361906	1	0.4	1.3974476	1	0.4	1.397447625	1	0.2	0.6987238	1	0.4	1.397448	1	0.2	0.6987238
2	Φορτιστής μπαταριών	0.8	1	1.22	0.89730848	1.1216356	1.12163559	1	0.5	0.5608178	1	0.5	0.560817797	1	0.5	0.5608178	1	0.5	0.560818	1	0.5	0.5608178
3	Όργανα εσωτερικής επικοινωνίας	0.8	1	4.76	3.50097405	4.3762176	4.37621756	1	0.4	1.750487	1	0.4	1.750487025	1	0.2	0.8752435	1	0.4	1.750487	1	0.3	1.3128653

4	Υδραυλική αντλία χειρισμού βαλβίδας	0.8	2	1.63	1.19886296	1.4985787	2.99715741	0	0	0	1	0.4	0.599431481	1	0.2	0.2997157	1	0.4	0.599431	1	0.3	0.4495736
5	Scrubber	0.85	2	219.579	161.5	190	380	2	0.6	228	2	0.8	304	2	0	0	2	0.6	228	2	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>231.70875</b>			<b>308.3081839</b>			<b>2.4345009</b>			<b>232.3082</b>			<b>3.0219805</b>
	<b>Τελικό Σύνολο</b>									<b>717.85132</b>			<b>1077.156548</b>			<b>439.72542</b>			<b>907.6901</b>			<b>534.71719</b>

	Βοηθητικά Πρόωσης	η	N	Ονομαστική Ισχύς Μονάδας			Ρεγκατ[kW]	Ισχύς έκτακτης ανάγκης		
				PS αποδ.	kW αποδ.	kW απορ.		N'	fs	Ρλειτ [kw]
1	Κύρια αντλία λαδιού λίπανσης	0.95	2	101.9	74.94732263	78.89192	157.7838371	0	0	0
2	Κύρια αντλία θαλασσινού νερού ψύξης	0.95	2	95.11	69.95328611	73.63504	147.270076	0	0	0
3	Αντλία γλυκού νερού ψύξης Κ.Μ.	0.85	2	20.38	14.98946453	17.63466	35.26932829	0	0	0
4	Αντλία ψύξης νερού χαμηλής θερμ.	0.95	2	122.28	89.93678715	94.6703	189.3406045	0	0	0
5	Αντλία πετρελαίου χαμηλής πίεσης	0.8	2	4.96	3.6480738	4.560092	9.1201845	0	0	0
6	Αντλία πετρελαίου	0.8	2	2.04	1.50041745	1.875522	3.751043625	0	0	0
7	Αντλία λίπανσης	0.8	2	2.72	2.0005566	2.500696	5.0013915	0	0	0
8	Βοηθητική παροχή αέρα Κ.Μ.	0.95	2	59.78	43.96811528	46.28223	92.56445321	0	0	0
9	Στροφέιο Κύριας Μηχανής	0.8	1	4.08	3.0008349	3.751044	3.751043625	0	0	0
10	Φίλτρο λαδιού λίπανσης	0.8	1	0.27	0.198584663	0.248231	0.248230828	0	0	0
11	Ξηραντήρας αέρα	0.8	1	0.61	0.448654238	0.560818	0.560817797	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>0</b>
	<b>Βοηθητικά Μηχανοστασίου</b>									
1	Αντλίες λίπανσης χοάνης ελικ. άξονα	0.8	2	0.54	0.397169325	0.496462	0.992923313	0	0	0

2	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου	0.85	1	10.19	7.494732263	8.817332	8.817332074	0	0	0
3	Αντλία καταλοίπων πετρελαίου	0.8	1	2.04	1.50041745	1.875522	1.875521813	0	0	0
4	Αντλία μετάγγισης diesel	0.8	1	2.99	2.199141263	2.748927	2.748926578	0	0	0
5	Διαχωριστήρας ακάθαρτου νερού	0.8	1	2.38	1.750487025	2.188109	2.188108781	0	0	0
6	Αντλία μετάγγισης ελαίου λίπανσης	0.8	1	2.99	2.199141263	2.748927	2.748926578	0	0	0
7	Αντλία σεντινών	0.8	1	2.04	1.50041745	1.875522	1.875521813	0	0	0
8	Σύστημα αποτροπής ρύπανσης γάστρας	0.8	1	3.26	2.397725925	2.997157	2.997157406	0	0	0
9	Αντλία πόσιμου νερού	0.8	2	5.03	3.699558713	4.624448	9.248896781	0	0	0
10	Αντλία κυκλοφορίας θερμού νερού	0.8	1	1.02	0.750208725	0.937761	0.937760906	0	0	0
11	Δεξαμενή θέρμανσης νερού	0.9	1	32.61	23.98461424	26.64957	26.64957138	0	0	0
12	Αντλία σεντινών & γενικής χρήσης	0.95	2	74.73	54.96382159	57.85665	115.7133086	0	0	0
13	Αντλία ερματισμού	0.95	2	149.46	109.9276432	115.7133	231.4266172	0	0	0
14	Διαχωριστήρας πετρελαίου	0.85	2	11.68	8.5906254	10.10662	20.21323624	0	0	0
15	Διαχωριστήρας ελαίου λίπανσης	0.85	2	8.7	6.398839125	7.528046	15.05609206	0	0	0
16	Κύριος αεροσυμπιεστής εκκίνησης	0.9	2	53.26	39.17266343	43.52518	87.05036317	0	0	0
17	Βοηθητικός αεροσυμπιεστής	0.9	1	33.97	24.98489254	27.76099	27.76099171	0	0	0
18	Αεροσυμπιεστής εκκίνησης ανάγκης	0.85	1	8.56	6.2958693	7.406905	7.406905059	0	0	0
19	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα πετρελαίου	0.8	1	1.77	1.301832788	1.627291	1.627290984	0	0	0
20	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα λαδιού	0.8	1	1.77	1.301832788	1.627291	1.627290984	0	0	0
21	Προθερμαντήρας νερού χιτωνίων	0.85	1	27.17	19.98350104	23.51	23.51000122	0	0	0
22	Αντλία προλίπανσης ηλεκτρογεννητριών	0.8	3	1.26	0.926728425	1.158411	3.475231594	0	0	0
23	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου γεννητριών	0.8	2	0.37	0.272134538	0.340168	0.680336344	0	0	0
24	Αντλία μετάγγισης υψηλής πίεσης γεννητριών	0.8	2	0.86	0.632528925	0.790661	1.581322313	0	0	0
25	Αντλία μετάγγισης diesel γεννητριών	0.8	1	0.23	0.169164713	0.211456	0.211455891	0	0	0
26	Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων	0.85	1	8.97	6.597423788	7.761675	7.761675044	0	0	0
27	Δεξαμενή επεξεργασίας λυμάτων	0.8	1	5.71	4.199697863	5.249622	5.249622328	0	0	0

28	Μονάδα παραγωγής γλυκού νερού	0.9	1	29.08	21.38830365	23.76478	23.76478183	0	0	0
29	Αντλία πυρκαγιάς ασφαλείας	0.9	1	33.97	24.98489254	27.76099	27.76099171	1	1	27.76099
	<b>Σύνολο</b>									<b>27.76099</b>
	<b>Αποτεφρωτήρας και Λέβητας</b>									
1	Αποτεφρωτήρας	0.85	1	20.38	14.98946453	17.63466	17.63466415	0	0	0
2	Καυστήρας λέβητα	0.8	1	6.11	4.493897363	5.617372	5.617371703	0	0	0
3	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου λέβητα	0.45	2	0.61	0.448654238	0.997009	1.994018833	0	0	0
4	Αντλία τροφοδοσίας νερού λέβητα	0.8	2	2.99	2.199141263	2.748927	5.497853156	0	0	0
5	Προθερμαντήρας λέβητα	0.85	1	9.65	7.097562938	8.350074	8.350074044	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>0</b>
	<b>Εργαστήριο Μηχανοστασίου</b>									
1	Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης	0.85	1	21.74	15.98974283	18.81146	18.81146215	0	0	0
2	Δράπανο	0.8	1	0.95	0.698723813	0.873405	0.873404766	0	0	0
3	Τόρνος	0.8	1	4.08	3.0008349	3.751044	3.751043625	0	0	0
4	Ηλεκτρικό τρυπάνι	0.8	1	0.27	0.198584663	0.248231	0.248230828	0	0	0
5	Γερανός Μηχανοστασίου	0.85	1	9.92	7.2961476	8.583703	8.583703059	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>0</b>
	<b>Συστήματα Ψύξεως</b>									
1	Ανεμιστήρας μονάδας κλιματισμού	0.85	2	13.59	9.995428013	11.75933	23.51865415	0	0	0
2	Συμπιεστής μονάδας κλιματισμού	0.95	1	84.24	61.9584147	65.21938	65.21938389	0	0	0
3	Συμπιεστής μονάδας ψύξης	0.85	2	17.66	12.98890793	15.28107	30.56213629	0	0	0
4	Ανεμιστήρας χώρου προμηθειών	0.8	1	1.09	0.801693638	1.002117	1.002117047	0	0	0
5	Θερμαντήρας χώρου προμηθειών	0.85	1	24.46	17.99029943	21.16506	21.16505815	0	0	0
6	Μονάδα κλιματισμού ecr	0.85	1	10.73	7.891901588	9.28459	9.284590103	0	0	0

7	Μονάδα κλιματισμού χώρων κουζίνας	0.85	1	13.59	9.995428013	11.75933	11.75932707	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>0</b>
	<b>Βοηθητικά Καταστρώματος</b>									
1	Σύστημα πηδαλιουχίας	0.9	2	44.84	32.97976395	36.64418	73.28836433	1	1	36.64418
2	Αντλία συστήματος πηδαλιουχίας	0.8	2	0.54	0.397169325	0.496462	0.992923313	1	1	0.496462
3	Αντλία εργάτη άγκυρας	0.95	2	122.28	89.93678715	94.6703	189.3406045	0	0	0
4	Αντλία εργάτη πρυμνησίων	0.95	2	101.9	74.94732263	78.89192	157.7838371	0	0	0
5	Γερανός πετρέλευσης	0.8	2	5.43	3.993758213	4.992198	9.984395531	0	0	0
6	Γερανός προμηθειών	0.85	1	17.26	12.69470843	14.93495	14.93495109	0	0	0
7	Βίντσι σωσίβιας λέμβου	0.85	1	11.55	8.495010563	9.99413	9.994130074	0	0	0
8	Βίντσι λέμβου διάσωσης	0.85	1	13.99	10.28962751	12.10544	12.10544413	0	0	0
9	Σκάλες επιβίβασης πλοίου	0.85	2	8.15	5.994314813	7.052135	14.10427015	0	0	0
10	Σκάλες επιβίβασης πιλότου	0.8	2	5.43	3.993758213	4.992198	9.984395531	0	0	0
11	Βοηθητική σκάλα	0.8	2	3.4	2.50069575	3.12587	6.251739375	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>37.14064</b>
	<b>Εξαερισμός</b>									
1	Ανεμιστήρες μηχανοστασίου	0.85	4	17.26	12.69470843	14.93495	59.73980435	0	0	0
2	Ανεμιστήρες χώρου διαχωριστήρων	0.8	1	5.43	3.993758213	4.992198	4.992197766	0	0	0
3	Ανεμιστήρες χώρου πηδαλιουχίας	0.8	1	2.04	1.50041745	1.875522	1.875521813	1	1	1.875522
4	Ανεμιστήρες χώρου γεννήτριας ασφαλείας	0.8	1	5.43	3.993758213	4.992198	4.992197766	1	1	4.992198
5	Ανεμιστήρες χώρων ενδιαίτησης	0.8	20	0.11	0.080904863	0.101131	2.022621563	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>6.86772</b>
	<b>Συσκευές Μαγειρείου</b>									
1	Βραστήρας	0.85	1	16.58	12.19456928	14.34655	14.34655209	0	0	0

2	Κουζίνα -Εστίες	0.9	1	27.85	20.48364019	22.7596	22.75960021	0	0	0
3	Πλυντήριο πιάτων	0.85	1	9.24	6.79600845	7.995304	7.995304059	0	0	0
4	Βραστήρας νερού	0.8	1	4.08	3.0008349	3.751044	3.751043625	0	0	0
5	Φριτέζα	0.85	1	19.02	13.98918623	16.45787	16.45786615	0	0	0
6	Πλυντήριο	0.85	1	12.23	8.995149713	10.58253	10.58252907	0	0	0
7	Στεγνωτήριο	0.85	1	11.28	8.2964259	9.760501	9.760501059	0	0	0
8	Διάφορα μηχανήματα	0.85	20	1.02	0.750208725	0.882599	17.65197	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>0</b>
	<b>Πίνακες Φωτισμού</b>									
1	Εξωτερικός φωτισμός	0.9	1	28.53	20.98377934	23.31531	23.31531038	0	0	0
2	Φωτισμός μηχανοστασίου	0.85	1	9.51	6.994593113	8.228933	8.228933074	0	0	0
3	Φωτισμός ανάγκης	0.85	1	9.51	6.994593113	8.228933	8.228933074	1	1	8.228933
4	Φωτισμός ενδαιτιήσεως	0.85	1	16.3	11.98862963	14.10427	14.10427015	0	0	0
5	Φωτισμός ναυσιπλοΐας	0.8	1	3.53	2.596310588	3.245388	3.245388234	0	0	0
6	Φωτισμός χώρων φορτίου	0.8	28	0.41	0.301554488	0.376943	10.55440706	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>8.228933</b>
	<b>Διάφορα</b>									
1	Όργανα ναυσιπλοΐας & επικοινωνίας	0.8	1	3.8	2.79489525	3.493619	3.493619063	1	1	3.493619
2	Φορτιστής μπαταριών	0.8	1	1.22	0.897308475	1.121636	1.121635594	1	1	1.121636
3	Όργανα εσωτερικής επικοινωνίας	0.8	1	4.76	3.50097405	4.376218	4.376217563	1	1	4.376218
4	Υδραυλική αντλία χειρισμού βαλβίδας	0.8	2	1.63	1.198862963	1.498579	2.997157406	0	0	0
5	Scrubber	0.85	2	219.5788912	161.5	190	380	0	0	0
	<b>Σύνολο</b>									<b>8.991472</b>
	<b>Τελικό Σύνολο</b>									<b>88.98976</b>

### Επιλογή κύριων γεννητριών και γεννήτριας έκτακτης ανάγκης

Τα αποτελέσματα του αναλυτικού ηλεκτρικού ισολογισμού συνοψίζονται:

- Κατάσταση κανονικής πορείας = 717.85 kW
- Κατάσταση χειρισμών = 1077.16 kW
- Κατάσταση «εν όρμω» = 439,72 kW
- Κατάσταση ερματισμού = 907.69 kW
- Κατάσταση χειρισμού φορτίου = 534,71 kW
- Κατάσταση έκτακτης ανάγκης = 88,99 kW

Θα πρέπει με μια γεννήτρια εκτός λειτουργίας, να είναι δυνατή η τροφοδότηση όλων των μηχανημάτων, που είναι απαραίτητα για την ασφάλεια και πρόωση του πλοίου και τη διατήρηση του φορτίου σε καλή κατάσταση. Επομένως επιλέγονται τρεις γεννήτριες, εκ των οποίων η μια θα προορίζεται μόνο για λειτουργία στην κατάσταση εν όρμω, ενώ οι άλλες δυο μαζί σε παράλληλη λειτουργία θα καλύπτουν το συνολικό φορτίο στη δυσμενέστερη κατάσταση όπως προκύπτει από τον ισολογισμό (κατάσταση χειρισμών). Σε περίπτωση βλάβης της μιας από τις δύο γεννήτριες, η γεννήτρια για χρήση εν όρμω μπορεί να παραλληλιστεί με την απομένουσα εν λειτουργία γεννήτρια ώστε να καλυφθεί το φορτίο ακόμη και στην κατάσταση χειρότερης φόρτισης.

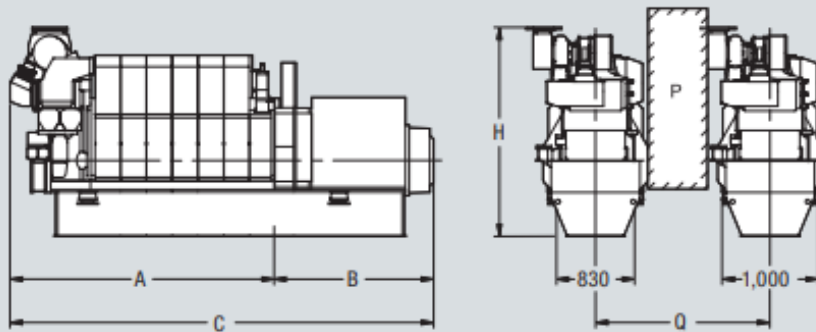
Άρα οι δύο μαζί από τις κύριες γεννήτριες θα πρέπει υπό φόρτιση 80%-90% όπου θα λειτουργούν όσο πιο αποδοτικά μπορούν να τροφοδοτούν τα 1077.16 kW, δηλαδή να έχουν συνολική ονομαστική ισχύ ίση ή μεγαλύτερη από  $1077.16 \text{ kW} / 0,85 = 1267.24 \text{ kW}$

Η γεννήτρια που προορίζεται μόνο για λειτουργία στην «εν όρμω κατάσταση», θα πρέπει να καλύπτει το φορτίο όπως υπολογίστηκε στον ισολογισμό ισχύος των 439,72 kW σε φόρτιση 80-90%, δηλαδή να έχει ονομαστική ισχύ ίση ή μεγαλύτερη από  $439,69 \text{ kW} / 0,85 = 517,32 \text{ kW}$

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω υπολογισμούς, επιλέξαμε δυο ίδιες γεννήτριες MAN 6L16/24 με ονομαστική ισχύ 660 kW στα 60 Hz στις 1200 RPM και τάση 440 V. Επίσης επιλέχθηκε μία mtu 12V1600 DS600 ονομαστικής ισχύος 550 kW και τάσεως 440 V.

Για την κατάσταση έκτακτης ανάγκης, έχουμε επιλέξει γεννήτρια έκτακτης ανάγκης, τέτοια ώστε σε φόρτιση 80%-90% να καλύπτει το συνολικό φορτίο έκτακτης ανάγκης, όπως υπολογίστηκε παραπάνω, των 88,99 kW, δηλαδή να έχει ισχύ ίση ή μεγαλύτερη από  $88,99 \text{ kW} / 0,85 = 104,69 \text{ kW}$ . Άρα επιλέξαμε το μοντέλο mtu 4R0113 DS125 ονομαστικής ισχύος 111 kW και τάσεως 440 V.





Speed (r/min)	1,200		1,000	
Frequency (Hz)	60		50	
	Eng. kW	Gen. kW*	Eng. kW	Gen. kW*
5L16/24	500	475	450	430
6L16/24	660	625	570	542
7L16/24	770	730	665	632
8L16/24	880	835	760	722
9L16/24	990	940	855	812

Cyl. No.	5	6	7	8	9
A (mm)	2,751	3,026	3,501	3,776	4,051
B (mm)	1,400	1,490	1,585	1,680	1,680
C (mm)	4,151	4,516	5,086	5,456	5,731
H (mm)	2,457	2,457	2,495/2,457	2,495	2,495
Dry Mass (t)	9.5	10.5	11.4	12.4	13.1

Bore	160 mm
Stroke	240 mm
Cycle	Four-stroke
Cyl. configuration	In-line
Power range	450-990 kW
Speed (60/50 Hz)	1,000/1,200 r/min
Mean piston speed	8.0/9.6 m/s
Mean effective pressure	20.7-23.6 bar
Power per cyl.	90-110 kW
Max combustion pressure	170 bar
Fuel acceptance	MDO, MGO and HFO up to 700 cSt/50°C

### Επιλογή καλωδίων παροχής

Τα καλώδια, που χρησιμοποιούνται στα πλοία, πρέπει να είναι βραδύκαυστα και αυτοσβενούμενα. Η μόνωσή τους κατασκευάζεται συνήθως από αιθυλοπροπυλένιο ή χλωριούχο πολυβινύλιο (polyvinyl-chloride, p.v.c.). Τα ναυτικά καλώδια και οι μονωμένοι τους αγωγοί πρέπει να είναι αντέχουν τις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις του μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης που μπορεί να περάσει από αυτά.

Επιλέγονται χάλκινα καλώδια, class 2 (πολύκλινα), με μέγιστη θερμοκρασία συνεχούς λειτουργίας 85° C, με μόνωση XLPE και ονομαστικής τάσεως 0,6/1 kV. Επιπλέον προτιμώνται τα πολυπολικά καλώδια από τα μονοπολικά και για αυτό τον λόγο, έχουμε επιλέξει τριπολικά καλώδια παροχής για κάθε καταναλωτή.

Το ονομαστικό εναλλασσόμενο ρεύμα γραμμής  $I_g$  μιας συσκευής προκύπτει από την σχέση:

$$I_g = P_{\text{ον.απορ.}} / (\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi)$$

Η ένταση  $I_{gf}$ , που απαιτείται για τον προσδιορισμό της διατομής του καλωδίου υπολογίζεται με τη σχέση  $I_{gf} = I_g \cdot 1,25$ . Όμως συσκευές, παροχές όπως δεξαμενή θέρμανσης νερού, προθερμαντήρας νερού χιτωνίων, αποτεφρωτήρας, προθερμαντήρας λέβητα, θερμαντήρας χώρου προμηθειών, βραστήρας, κουζίνα - εστίες, βραστήρας νερού, φριτέζα, στεγνωτήριο, πίνακες φωτισμού, όργανα ναυσιπλοΐας, φορτιστής μπαταριών και όργανα εσωτερικής επικοινωνίας είναι ωμικά φορτία και δεν υπάρχει προσαύξηση 25%.

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής ισχύος είναι 0, 85 για τους κινητήρες και 1, 00 για τα ωμικά φορτία. Οι παροχές των πινάκων φωτισμού και των οργάνων ναυσιπλοΐας και εσωτερικής επικοινωνίας θεωρούνται τριφασικές. Από εκεί και πέρα διαχωρίζονται σε επιμέρους μονοφασικά κυκλώματα.

Οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται ως μέσα προστασίας από βραχυκύκλωμα ή υπερφόρτιση για ρεύματα μικρότερα των 315 A. Τυποποιημένα μεγέθη ασφαλειών είναι τα εξής: 6, 10, 16, 20, 25, 35, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 224, 250, 315.

Οι τυπικές διαστάσεις των καλωδίων επιλέχθηκαν από τον παρακάτω πίνακα.

Στον πίνακα που ακολουθεί, περιλαμβάνονται οι υπολογισμοί των διατομών των καλωδίων παροχής με βάση την ένταση του ρεύματος της εκάστοτε γραμμής καθώς

επίσης και οι ονομαστικές τιμές ρεύματος των ασφαλειών που έχουν χρησιμοποιηθεί για προστασία από υπερένταση.

Λόγω έλλειψης πληροφοριών σχετικές με τη θέση των φορτίων στο πλοίο και τις αποστάσεις των καταναλώσεων από τους ζυγούς, δηλαδή τα μήκη όλων των καλωδίων του πλοίου, θεωρούμε ότι η πτώση τάσεως σε όλα τα καλώδια του πλοίου δεν ξεπερνά τις προδιαγραφές του GL (6%).

Nominal cross-section		Current-carrying based on a maximum conductor operating temperature of					
		80 °C			85 °C		
		S 1 cont. operation	S 2- 30 min	S 2- 60 min	S 1 cont. operation	S 2- 30 min	S 2- 60 min
mm <sup>2</sup>	AWG/MCM	A max.	A max.	A max.	A max.	A max.	A max.
<b>Single-core cables:</b>							
1,0	17	15	16	16	16	17	17
1,5	15	19	20	20	20	21	21
2,5	13	26	28	28	28	30	30
4	11	35	37	37	38	40	40
6	9	45	48	43	48	51	51
10	7	63	67	67	67	71	71
16	5	84	89	89	90	95	95
25	3	110	118	117	120	128	127
35	2	140	151	148	145	157	154
50	0	165	180	175	180	196	191
70	2/0	215	239	228	225	250	239
95	4/0	260	294	278	275	311	294
120	250	300	348	321	320	371	342
150	300	340	401	367	365	431	394
185	400	390	476	425	415	506	452
240	500	460	580	511	490	617	544
300	600	530	694	599	560	734	633
<b>2-core cables:</b>							
1,0	17	13	13	13	14	14	14
1,5	15	16	17	17	17	18	18
2,5	13	22	24	23	24	26	25
4	11	30	32	32	32	35	34
6	9	38	41	40	41	45	43
10	7	53	59	56	57	63	60
16	5	71	80	76	76	86	81
25	3	93	111	100	102	121	110
<b>3- or 4-core cables:</b>							
1,0	17	10	11	11	11	12	12
1,5	15	13	14	14	14	15	15
2,5	13	18	19	19	20	22	21
4	11	24	26	25	27	29	29
6	9	31	34	33	34	37	36
10	7	44	49	47	47	53	50
16	5	59	67	63	63	72	67
25	3	77	92	84	84	101	92
35	2	98	122	108	101	125	111
50	0	115	150	129	126	164	141
70	2/0	150	206	173	157	215	181
95	4/0	182	262	217	192	276	228
120	250	210	315	256	224	336	273

	<b>Βοηθητικά Πρόωσης</b>	<b>Τάση (V)</b>	<b>N</b>	<b>kW απορ.</b>	<b>Συντελεστής Ισχύος cosφ</b>	<b>I<sub>γ</sub> (A)</b>	<b>I<sub>γf</sub> (A)</b>	<b>Ιτυπ (A)</b>	<b>Ιασφ (A)</b>	<b>S (mm<sup>2</sup>)</b>
1	Κύρια αντλία λαδιού λίπανσης	440	2	78.89191855	0.85	121.78682	152.233524	157	160	3*70
2	Κύρια αντλία θαλασσινού νερού ψύξης	440	2	73.63503801	0.85	113.67168	142.089602	157	160	3*70
3	Αντλία γλυκού νερού ψύξης Κ.Μ.	440	2	17.63466415	0.85	27.222936	34.0286701	47	35	3*10
4	Αντλία ψύξης νερού χαμηλής θερμ.	440	2	94.67030226	0.85	146.14418	182.680229	192	200	3*95
5	Αντλία πετρελαίου χαμηλής πίεσης	440	2	4.56009225	0.85	7.0394933	8.7993666	14	10	3*1.5
6	Αντλία πετρελαίου	440	2	1.875521813	0.85	2.8952755	3.61909433	14	6	3*1.5
7	Αντλία λίπανσης	440	2	2.50069575	0.85	3.8603673	4.82545911	14	6	3*1.5
8	Βοηθητική παροχή αέρα Κ.Μ.	440	2	46.28222661	0.85	71.446674	89.3083422	101	100	3*35
9	Στροφέιο Κύριας Μηχανής	440	1	3.751043625	0.85	5.7905509	7.23818866	14	10	3*1.5
10	Φίλτρο λαδιού λίπανσης	440	1	0.248230828	0.85	0.3831982	0.47899778	14	6	3*1.5
11	Ξηραντήρας αέρα	440	1	0.560817797	0.85	0.8657441	1.08218017	14	6	3*1.5
	<b>Βοηθητικά Μηχανοστασίου</b>									
1	Αντλίες λίπανσης χοάνης ελικ.άξονα	440	2	0.496461656	0.85	0.7663964	0.95799556	14	6	3*1.5
2	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου	440	1	8.817332074	0.85	13.611468	17.014335	20	20	3*2.5
3	Αντλία καταλοίπων πετρελαίου	440	1	1.875521813	0.85	2.8952755	3.61909433	14	6	3*1.5
4	Αντλία μετάγγισης diesel	440	1	2.748926578	0.85	4.2435655	5.30445688	14	6	3*1.5
5	Διαχωριστήρας ακάθαρτου νερού	440	1	2.188108781	0.85	3.3778214	4.22227672	14	6	3*1.5
6	Αντλία μετάγγισης ελαίου λίπανσης	440	1	2.748926578	0.85	4.2435655	5.30445688	14	6	3*1.5
7	Αντλία σεντινών	440	1	1.875521813	0.85	2.8952755	3.61909433	14	6	3*1.5
8	Σύστημα αποτροπής ρύπανσης γάστρας	440	1	2.997157406	0.85	4.6267637	5.78345466	14	6	3*1.5
9	Αντλία πόσιμου νερού	440	2	4.624448391	0.85	7.138841	8.92355121	14	10	3*1.5

10	Αντλία κυκλοφορίας θερμού νερού	440	1	0.937760906	0.85	1.4476377	1.80954716	14	6	3*1.5
11	Δεξαμενή θέρμανσης νερού	440	1	26.64957138	1	34.968494	34.9684937	47	35	3*10
12	Αντλία σεντινών & γενικής χρήσης	440	2	57.8566543	0.85	89.314318	111.642898	126	125	3*50
13	Αντλία ερματισμού	440	2	115.7133086	0.85	178.62864	223.285795	224	224	3*120
14	Διαχωριστήρας πετρελαίου	440	2	10.10661812	0.85	15.601761	19.5022015	20	20	3*2.5
15	Διαχωριστήρας ελαίου λίπανσης	440	2	7.528046029	0.85	11.621175	14.5264686	20	16	3*2.5
16	Κύριος αεροσυμπιεστής εκκίνησης	440	2	43.52518158	0.85	67.190576	83.9882196	101	100	3*35
17	Βοηθητικός αεροσυμπιεστής	440	1	27.76099171	0.85	42.855123	53.5689039	63	63	3*16
18	Αεροσυμπιεστής εκκίνησης ανάγκης	440	1	7.406905059	0.85	11.434167	14.2927093	20	16	3*2.5
19	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα πετρελαίου	440	1	1.627290984	0.85	2.5120772	3.14009655	14	6	3*1.5
20	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα λαδιού	440	1	1.627290984	0.85	2.5120772	3.14009655	14	6	3*1.5
21	Προθερμαντήρας νερού χιτωνίων	440	1	23.51000122	1	30.848876	30.8488762	34	35	3*6
22	Αντλία προλίπανσης ηλεκτρογεννητριών	440	3	1.158410531	0.85	1.7882584	2.23532297	14	6	3*1.5
23	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου γεννητριών	440	2	0.340168172	0.85	0.5251235	0.65640436	14	6	3*1.5
24	Αντλία μετάγγισης υψηλής πίεσης γεννητριών	440	2	0.790661156	0.85	1.2205573	1.52569663	14	6	3*1.5
25	Αντλία μετάγγισης diesel γεννητριών	440	1	0.211455891	0.85	0.3264281	0.40803514	14	6	3*1.5
26	Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων	440	1	7.761675044	0.85	11.981832	14.97729	20	16	3*2.5
27	Δεξαμενή επεξεργασίας λυμάτων	440	1	5.249622328	0.85	8.1039328	10.129916	14	16	3*1.5
28	Μονάδα παραγωγής γλυκού νερού	440	1	23.76478183	0.85	36.686105	45.857631	47	50	3*10
29	Αντλία πυρκαγιάς ασφαλείας	440	1	27.76099171	0.85	42.855123	53.5689039	63	63	3*16
	<b>Αποτεφρωτήρας και Λέβητας</b>									

1	Αποτεφρωτήρας	440	1	17.63466415	1	23.139496	23.1394957	27	25	3*4
2	Καυστήρας λέβητα	440	1	5.617371703	0.85	8.6716339	10.8395423	14	16	3*1.5
3	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου λέβητα	440	2	0.997009417	0.85	1.5391007	1.92387585	14	6	3*1.5
4	Αντλία τροφοδοσίας νερού λέβητα	440	2	2.748926578	0.85	4.2435655	5.30445688	14	6	3*1.5
5	Προθερμαντήρας λέβητα	440	1	8.350074044	1	10.956631	10.9566307	14	16	3*1.5
	<b>Εργαστήριο Μηχανοστασίου</b>									
1	Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης	440	1	18.81146215	0.85	29.03958	36.2994744	47	50	3*10
2	Δράπανο	440	1	0.873404766	0.85	1.34829	1.68536256	14	6	3*1.5
3	Τόρνος	440	1	3.751043625	0.85	5.7905509	7.23818866	14	10	3*1.5
4	Ηλεκτρικό τρυπάνι	440	1	0.248230828	0.85	0.3831982	0.47899778	14	6	3*1.5
5	Γερανός Μηχανοστασίου	440	1	8.583703059	0.85	13.250811	16.5635136	20	20	3*2.5
	<b>Συστήματα Ψύξεως</b>									
1	Ανεμιστήρας μονάδας κλιματισμού	440	2	11.75932707	0.85	18.153077	22.6913458	27	25	3*4
2	Συμπιεστής μονάδας κλιματισμού	440	1	65.21938389	0.85	100.68029	125.850364	157	160	3*70
3	Συμπιεστής μονάδας ψύξης	440	2	15.28106815	0.85	23.589649	29.4870615	34	35	3*6
4	Ανεμιστήρας χώρου προμηθειών	440	1	1.002117047	0.85	1.5469854	1.93373177	14	6	3*1.5
5	Θερμαντήρας χώρου προμηθειών	440	1	21.16505815	1	27.771936	34.7149205	34	35	3*6
6	Μονάδα κλιματισμού escr	440	1	9.284590103	0.85	14.332782	17.9159779	20	20	3*2.5
7	Μονάδα κλιματισμού χώρων κουζίνας	440	1	11.75932707	0.85	18.153077	22.6913458	27	25	3*4
	<b>Βοηθητικά Καταστρώματος</b>									
1	Σύστημα πηδαλιουχίας	440	2	36.64418217	0.85	56.568258	70.7103223	84	80	3*25

2	Αντλία συστήματος πηδαλιουχίας	440	2	0.496461656	0.85	0.7663964	0.95799556	14	6	3*1.5
3	Αντλία εργάτη άγκυρας	440	2	94.67030226	0.85	146.14418	182.680229	192	200	3*95
4	Αντλία εργάτη πρυμνησιών	440	2	78.89191855	0.85	121.78682	152.233524	157	160	3*70
5	Γερανός πετρέλευσης	440	2	4.992197766	0.85	7.706542	9.63317755	14	10	3*1.5
6	Γερανός προμηθειών	440	1	14.93495109	0.85	23.055342	28.8191779	34	35	3*6
7	Βίντσι σωσίβιας λέμβου	440	1	9.994130074	0.85	15.428111	19.2851393	20	20	3*2.5
8	Βίντσι λέμβου διάσωσης	440	1	12.10544413	0.85	18.687383	23.3592294	27	25	3*4
9	Σκάλες επιβίβασης πλοίου	440	2	7.052135074	0.85	10.886503	13.6081286	14	16	3*1.5
10	Σκάλες επιβίβασης πιλότου	440	2	4.992197766	0.85	7.706542	9.63317755	14	10	3*1.5
11	Βοηθητική σκάλα	440	2	3.125869688	0.85	4.8254591	6.03182388	14	10	3*1.5
	<b>Εξαερισμός</b>									
1	Ανεμιστήρες μηχανοστασίου	440	4	14.93495109	0.85	23.055342	28.8191779	34	35	3*6
2	Ανεμιστήρες χώρου διαχωριστήρων	440	1	4.992197766	0.85	7.706542	9.63317755	14	10	3*1.5
3	Ανεμιστήρες χώρου πηδαλιουχίας	440	1	1.875521813	0.85	2.8952755	3.61909433	14	6	3*1.5
4	Ανεμιστήρες χώρου γεννήτριας ασφαλείας	440	1	4.992197766	0.85	7.706542	9.63317755	14	10	3*1.5
5	Ανεμιστήρες χώρων ενδιαίτησης	220	20	0.101131078	0.85	0.3122356	0.39029449	14	6	3*1.5
	<b>Συσκευές Μαγειρείου</b>									
1	Βραστήρας	440	1	14.34655209	1	18.824968	18.8249675	20	20	3*2.5
2	Κουζίνα -Εστίες	440	1	22.75960021	1	29.86423	29.8642302	34	35	3*6
3	Πλυντήριο πιάτων	440	1	7.995304059	0.85	12.342489	15.4281115	20	16	3*2.5
4	Βραστήρας νερού	220	1	3.751043625	1	9.8439366	9.84393658	14	10	3*1.5



5	Φριτέζα	440	1	16.45786615	1	21.595349	21.5953488	27	25	3*4
6	Πλυντήριο	440	1	10.58252907	0.85	16.336433	20.4205415	27	25	3*4
7	Στεγνωτήριο	440	1	9.760501059	1	12.807336	12.8073362	14	16	3*1.5
8	Διάφορα μηχανήματα	220	20	0.8825985	0.85	2.7249651	3.40620643	14	6	3*1.5
	<b>Πίνακες Φωτισμού</b>									
1	Εξωτερικός φωτισμός	220	1	23.31531038	1	61.186821	61.1868215	63	63	3*16
2	Φωτισμός μηχανοστασίου	220	1	8.228933074	1	21.595349	21.5953488	27	25	3*4
3	Φωτισμός ανάγκης	220	1	8.228933074	1	21.595349	21.5953488	27	25	3*4
4	Φωτισμός ενδιαιτήσεως	220	1	14.10427015	1	37.01411	37.0141098	47	50	3*10
5	Φωτισμός ναυσιπλοΐας	220	1	3.245388234	1	8.5169353	8.51693532	14	10	3*1.5
6	Φωτισμός χώρων φορτίου	220	28	0.376943109	1	0.9892191	0.98921912	14	6	3*1.5
	<b>Διάφορα</b>									
1	Όργανα ναυσιπλοΐας & επικοινωνίας	220	1	3.493619063	1	9.1683723	9.1683723	14	10	3*1.5
2	Φορτιστής μπαταριών	220	1	1.121635594	1	2.9435301	2.94353005	14	6	3*1.5
3	Όργανα εσωτερικής επικοινωνίας	220	1	4.376217563	1	11.484593	11.4845927	14	16	3*1.5
4	Υδραυλική αντλία χειρισμού βαλβίδας	440	2	1.498578703	0.85	2.3133819	2.89172733	14	6	3*1.5
5	Scrubber	440	2	190	0.85	293.3062865	366.6328581	365	315	150

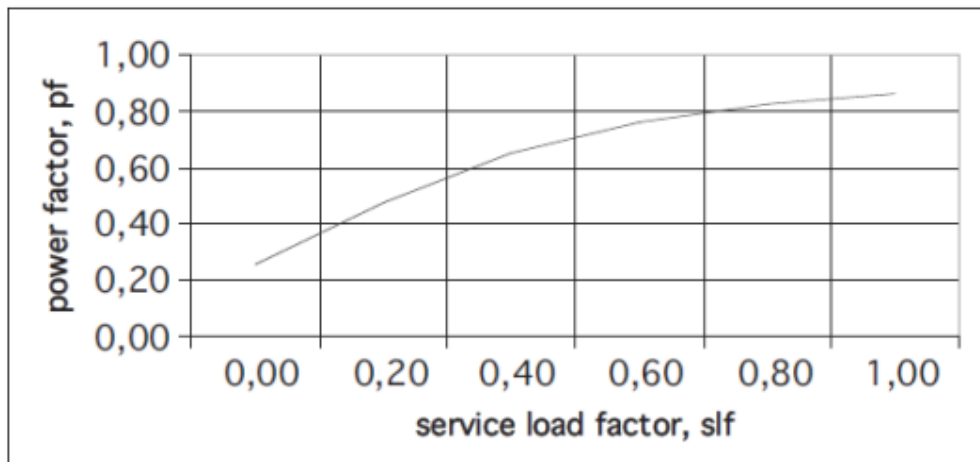
### Υπολογισμός άεργου ισχύος

Ο ηλεκτρικός ισολογισμός χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ζήτησης ισχύος των εγκατεστημένων φορτίων στο πλοίο στις διακριτές καταστάσεις λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου. Η εκτίμηση αυτή γίνεται με τη βοήθεια του συντελεστή λειτουργίας slf (service load factor), ο οποίος περιλαμβάνει δύο συντελεστές:

- Το συντελεστή φόρτισης lf (load factor), ο οποίος δείχνει τη μερική κατάσταση φόρτισης κάθε φορτίου στην υπό μελέτη κατάσταση λειτουργίας.
- Το συντελεστή ταυτοχρονισμού sf (simultaneity factor) που δείχνει ότι σε κάθε κατάσταση λειτουργίας δεν λειτουργούν όλα τα φορτία ταυτόχρονα.

Συγκεκριμένα έχουμε:  $slf = lf \cdot sf$

Η εκτίμηση του slf δεν είναι εύκολο έργο. Συνήθως, υπάρχουν αντιπροσωπευτικές τιμές για κάθε φορτίο ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και την κατάσταση λειτουργίας. Συνήθως στον ηλεκτρικό ισολογισμό δεν αναφέρεται η άεργος ισχύς και όπου χρειάζεται π.χ. στον υπολογισμό της διατομής των καλωδίων, ο συντελεστής ισχύος των κινητήρων λαμβάνεται ως 0,8 επαγωγικός και για το φωτισμό ίσος με 1. Ωστόσο, όσον αφορά τους ηλεκτρικούς κινητήρες, υπάρχει καλύτερη προσέγγιση για την απαιτούμενη άεργο ισχύ τους και στηρίζεται σε στατιστικά δεδομένα που δίνονται από τους κατασκευαστές:



Η πολυωνμική παρεμβολή που προσεγγίζει με τον καλύτερο τρόπο τα δεδομένα του σχήματος είναι η εξής:

$$pf(sfl) = 0,26 + 1,1833 \cdot sfl - 0,2708 \cdot sfl^2 - 0,8333 \cdot sfl^3 + 0,5208 \cdot sfl^4$$

Κατόπιν υπολογίζουμε την ενεργό ισχύ (P), την άεργο(Q) και τη φαινόμενη ισχύ (S) όλων των φορτίων του πλοίου και για τις πέντε καταστάσεις του πλοίου.

$$Q[kVar] = P[kW] \cdot \tan\varphi = P[kW] \cdot \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi}$$

$$S[kVA] = P[kW]/\cos\varphi$$

Ο συντελεστής ισχύος των κινητήρων επαγωγής έχει υπολογιστεί με βάση τη σχέση:

$$\cos\varphi = 0,26 + 1,1833 \cdot f_s - 0,2708 \cdot f_s^2 - 0,8333 \cdot f_s^3 + 0,5208 \cdot f_s^4$$

ενώ ο συντελεστής ισχύος των ωμικών φορτίων είναι ίσος με 1.

Ζυγοί 220 V		Κατάσταση καν.πορείας						Κατάσταση χειρισμών						Κατάσταση εν όρμω					
	Πίνακες Φωτισμού	N	fs	Ρλειτ [kw]	cosφ	Q (kVar)	S (kVa)	N	fs	Ρλειτ [kw]	cosφ	Q (kVar)	S (kVa)	N	fs	Ρλειτ [kw]	cosφ	Q (kVar)	S (kVa)
1	Εξωτερικός φωτισμός	1	0	0				1	0.8	18.6522483	1	0.000	18.652	1	1	18.652248	1	0.000	18.652
2	Φωτισμός μηχανοστασίου	1	1	8.2289331	1	0.000	8.229	1	1	8.228933074	1	0.000	8.229	1	1	8.2289331	1	0.000	8.229
3	Φωτισμός ανάγκης	1	0.6	4.9373598	1	0.000	4.937	1	0.6	4.937359844	1	0.000	4.937	1	1	4.9373598	1	0.000	4.937
4	Φωτισμός ενδιαιτήσεως	1	0.8	11.283416	1	0.000	11.283	1	0.8	11.28341612	1	0.000	11.283	1	1	11.283416	1	0.000	11.283
5	Φωτισμός ναυσιπλοΐας	1	0.2	0.6490776	1	0.000	0.649	1	0.2	0.649077647	1	0.000	0.649	1	0	0.6490776	1	0.000	0.649
6	Φωτισμός χώρων φορτίου	28	0	0				28	0	0				28	0	0			
	<b>Σύνολο</b>			<b>25.098787</b>		<b>0.00</b>	<b>25.10</b>			<b>43.75103498</b>		<b>0.00</b>	<b>43.75</b>			<b>43.751035</b>		<b>0.00</b>	<b>43.75</b>
	<b>Εξαερισμός</b>																		
5	Ανεμιστήρες χώρων ενδιαίτησης	20	0.8	1.6180973	0.82	1.129	1.973	20	0.8	1.61809725	0.82	1.129	1.973	20	1	1.6180973	0.82	1.129	1.973
	<b>Συσκευές Μαγειρείου</b>																		
4	Βραστήρας νερού	1	0.3	1.1253131	1	0.000	1.125	1	0.3	1.125313088	1	0.000	1.125	1	0	1.1253131	1	0.000	1.125
8	Διάφορα μηχανήματα	20	0.3	5.295591	0.5723	7.587	9.253	20	0.3	5.295591	0.5723	7.587	9.253	20	0	5.295591	0.5723	7.587	9.253
	<b>Σύνολο</b>			<b>6.421</b>		<b>7.587</b>	<b>10.378</b>			<b>6.421</b>		<b>7.587</b>	<b>10.378</b>			<b>6.421</b>		<b>7.587</b>	<b>10.378</b>

	<b>Διάφορα</b>																		
1	Όργανα ναυσιπλοΐας & επικοινωνίας	1	0.4	1.3974476	1	0.000	1.397	1	0.4	1.397447625	1	0.000	1.397	1	0	0.6987238	1	0.000	0.699
2	Φορτιστής μπαταριών	1	0.5	0.5608178	1	0.000	0.561	1	0.5	0.560817797	1	0.000	0.561	1	1	0.5608178	1	0.000	0.561
3	Όργανα εσωτερικής επικοινωνίας	1	0.4	1.750487	1	0.000	1.750	1	0.4	1.750487025	1	0.000	1.750	1	0	0.8752435	1	0.000	0.875
	<b>Σύνολο</b>			<b>3.709</b>		<b>0.000</b>	<b>3.709</b>			<b>3.709</b>		<b>0.000</b>	<b>3.709</b>			<b>2.135</b>		<b>0.000</b>	<b>2.135</b>
	<b>Σύνολο Ζηγών 220 V</b>			<b>36.85</b>		<b>8.72</b>	<b>41.16</b>			<b>55.50</b>		<b>8.72</b>	<b>59.81</b>			<b>53.92</b>		<b>8.72</b>	<b>58.24</b>
	<b>Ζυγοί 440 V</b>																		
	<b>Βοηθητικά Πρόωσης</b>																		
1	Κύρια αντλία λαδιού λίπανσης	2	0.65	51.279747	0.7789	41.295	65.840	2	0.7	51.27974706	0.7789	41.295	65.840	2	0	0			
2	Κύρια αντλία θαλασσινού νερού ψύξης	2	0.8	58.90803	0.82	41.118	71.839	2	0.8	58.90803041	0.82	41.118	71.839	2	1	44.181023	0.76	37.783	58.133
3	Αντλία γλυκού νερού ψύξης Κ.Μ.	2	0.8	14.107731	0.82	9.847	17.205	2	0.8	14.10773132	0.82	9.847	17.205	2	0	0	0.26	0.000	0.000
4	Αντλία ψύξης νερού χαμηλής θερμ.	2	0.8	75.736242	0.82	52.865	92.361	2	0.8	75.73624181	0.82	52.865	92.361	2	1	56.802181	0.76	48.576	74.740
5	Αντλία πετρελαίου χαμηλής πίεσης	2	0.8	3.6480738	0.82	2.546	4.449	2	0.8	3.6480738	0.82	2.546	4.449	2	0	0			

6	Αντλία πετρελαίου	2	0.8	1.5004175	0.82	1.047	1.830	2	0.8	1.50041745	0.82	1.047	1.830	2	0	0			
7	Αντλία λίπανσης	2	0.8	2.0005566	0.82	1.396	2.440	2	0.8	2.0005566	0.82	1.396	2.440	2	0	0			
8	Βοηθητική παροχή αέρα Κ.Μ.	2	0	0				2	0.8	74.05156257	0.82	51.689	90.307	2	0	0			
9	Στροφέιο Κύριας Μηχανής	1	0	0				1	0	0				1	0	1.1253131	0.5723	1.612	1.966
10	Φίλτρο λαδιού λίπανσης	1	0.8	0.1985847	0.82	0.139	0.242	1	0.8	0.198584663	0.82	0.139	0.242	1	0	0			
11	Ξηραντήρας αέρα	1	0.3	0.1682453	0.5723	0.241	0.294	1	0.3	0.168245339	0.5723	0.241	0.294	1	0	0.1682453	0.5723	0.241	0.294
	<b>Σύνολο</b>			<b>207.54763</b>		<b>150.50</b>	<b>256.50</b>			<b>281.599191</b>		<b>202.18</b>	<b>346.81</b>			<b>102.27676</b>		<b>88.21</b>	<b>135.13</b>
	<b>Βοηθητικά Μηχανοστασίου</b>																		
1	Αντλίες λίπανσης χοάνης ελικ.άξονα	2	0.8	0.3971693	0.82	0.277	0.484	2	0.8	0.397169325	0.82	0.277	0.484	2	0	0			
2	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου	1	0.6	5.2903992	0.76	4.524	6.961	1	0.6	5.290399244	0.76	4.524	6.961	1	1	5.2903992	0.76	4.524	6.961
3	Αντλία καταλοίπων πετρελαίου	1	0.3	0.5626565	0.5723	0.806	0.983	1	0.3	0.562656544	0.5723	0.806	0.983	1	0	0.5626565	0.5723	0.806	0.983
4	Αντλία μετάγγισης diesel	1	0	0				1	0.6	1.649355947	0.76	1.410	2.170	1	1	1.6493559	0.76	1.410	2.170
5	Διαχωριστήρας ακάθαρτου νερού	1	0.3	0.6564326	0.5723	0.941	1.147	1	0	0				1	0	0			
6	Αντλία μετάγγισης ελαίου λίπανσης	1	0.6	1.6493559	0.76	1.410	2.170	1	0.6	1.649355947	0.76	1.410	2.170	1	1	1.6493559	0.76	1.410	2.170
7	Αντλία σεντινών	1	0.3	0.5626565	0.5723	0.806	0.983	1	0	0				1	0	0.5626565	0.5723	0.806	0.983

8	Σύστημα αποτροπής ρύπανσης γάστρας	1	0.6	1.7982944	0.76	1.538	2.366	1	0.6	1.798294444	0.76	1.538	2.366	1	1	1.7982944	0.76	1.538	2.366
9	Αντλία πόσιμου νερού	2	0.6	2.774669	0.76	2.373	3.651	2	0.6	2.774669034	0.76	2.373	3.651	2	1	2.774669	0.76	2.373	3.651
10	Αντλία κυκλοφορίας θερμού νερού	1	0.6	0.5626565	0.76	0.481	0.740	1	0.6	0.562656544	0.76	0.481	0.740	1	1	0.5626565	0.76	0.481	0.740
11	Δεξαμενή θέρμανσης νερού	1	0	0				1	0	0				1	1	15.989743	1	0.000	15.990
12	Αντλία σεντινών & γενικής χρήσης	2	0	0				2	0	0				2	0	0			
13	Αντλία ερματισμού	2	0	0				2	0	0				2	0	0			
14	Διαχωριστήρας πετρελαίου	2	0.6	6.0639709	0.76	5.186	7.979	2	0.6	6.063970871	0.76	5.186	7.979	2	1	6.0639709	0.76	5.186	7.979
15	Διαχωριστήρας ελαίου λίπανσης	2	0.6	4.5168276	0.76	3.863	5.943	2	0.6	4.516827618	0.76	3.863	5.943	2	1	4.5168276	0.76	3.863	5.943
16	Κύριος αεροσυμπιεστής εκκίνησης	2	0.3	13.057554	0.5723	18.708	22.814	2	0.3	13.05755448	0.5723	18.708	22.814	2	0	13.057554	0.5723	18.708	22.814
17	Βοηθητικός αεροσυμπιεστής	1	0	0				1	0.8	22.20879337	0.82	15.502	27.084	1	1	22.208793	0.82	15.502	27.084
18	Αεροσυμπιεστής εκκίνησης ανάγκης	1	0	0				1	0	0				1	0	0			
19	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα πετρελαίου	1	0.6	0.9763746	0.76	0.835	1.285	1	0.6	0.976374591	0.76	0.835	1.285	1	1	0.9763746	0.76	0.835	1.285

20	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα λαδιού	1	0.6	0.9763746	0.76	0.835	1.285	1	0.6	0.976374591	0.76	0.835	1.285	1	0.9763746	0.76	0.835	1.285	
21	Προθερμαντήρας νερού χιτωνίων	1	0	0				1	0	0				1	0	4.7020002	1	0.000	4.702
22	Αντλία προλίπανσης ηλεκτρογεννητριών	3	0.8	1.8534569	0.82	1.294	2.260	3	0.8	0.926728425	0.82	0.647	1.130	3	1	1.8534569	0.82	1.294	2.260
23	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου γεννητριών	2	0.8	0.2721345	0.82	0.190	0.332	2	0.8	0.272134538	0.82	0.190	0.332	2	1	0.2721345	0.82	0.190	0.332
24	Αντλία μετάγγισης υψηλής πίεσης γεννητριών	2	0.8	0.6325289	0.82	0.442	0.771	2	0.8	0.632528925	0.82	0.442	0.771	2	1	0.6325289	0.82	0.442	0.771
25	Αντλία μετάγγισης diesel γεννητριών	1	0	0				1	0	0				1	0	0			
26	Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων	1	0.3	2.3285025	0.5723	3.336	4.068	1	0.3	2.328502513	0.5723	3.336	4.068	1	0	2.3285025	0.5723	3.336	4.068
27	Δεξαμενή επεξεργασίας λυμάτων	1	0.3	1.5748867	0.5723	2.256	2.752	1	0.3	1.574886698	0.5723	2.256	2.752	1	0	1.5748867	0.5723	2.256	2.752
28	Μονάδα παραγωγής γλυκού νερού	1	0.6	14.258869	0.76	12.194	18.762	1	0	0				1	0	0			
29	Αντλία πυρκαγιάς ασφαλείας	1	0	0				1	0	0				1	0	0			



	<b>Σύνολο</b>			<b>60.765771</b>		<b>62.29</b>	<b>87.74</b>			<b>68.21923364</b>		<b>64.62</b>	<b>94.97</b>			<b>90.003192</b>		<b>65.80</b>	<b>117.29</b>
	<b>Αποτεφρωτήρας και Λέβητας</b>																		
1	Αποτεφρωτήρας	1	0.3	5.2903992	1	0.000	5.290	1	0	0				1	0	0			
2	Καυστήρας λέβητα	1	0	0				1	0.8	4.493897363	0.82	3.137	5.480	1	1	4.4938974	0.82	3.137	5.480
3	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου λέβητα	2	0	0				2	0.8	0.797607533	0.82	0.557	0.973	2	1	0.7976075	0.82	0.557	0.973
4	Αντλία τροφοδοσίας νερού λέβητα	2	0.8	2.1991413	0.82	1.535	2.682	2	0.8	2.199141263	0.82	1.535	2.682	2	1	2.1991413	0.82	1.535	2.682
5	Προθερμαντήρας λέβητα	1	0	0				1	1	8.350074044	1	0.000	8.350	1	1	8.350074	1	0.000	8.350
	<b>Σύνολο</b>			<b>7.4895405</b>		<b>1.54</b>	<b>7.97</b>			<b>15.8407202</b>		<b>5.23</b>	<b>17.49</b>			<b>15.84072</b>		<b>5.23</b>	<b>17.49</b>
	<b>Εργαστήριο Μηχανοστασίου</b>																		
1	Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης	1	0.2	3.7622924	0.48	6.876	7.838	1	0.2	3.762292429	0.48	6.876	7.838	1	0	5.6434386	0.5723	8.086	9.860
2	Δράπανο	1	0.2	0.174681	0.48	0.319	0.364	1	0.2	0.174680953	0.48	0.319	0.364	1	0	0.2620214	0.5723	0.375	0.458
3	Τόρνος	1	0.2	0.7502087	0.48	1.371	1.563	1	0.2	0.750208725	0.48	1.371	1.563	1	0	1.1253131	0.5723	1.612	1.966
4	Ηλεκτρικό τρυπάνι	1	0.2	0.0496462	0.48	0.091	0.103	1	0.2	0.049646166	0.48	0.091	0.103	1	0	0.0744692	0.5723	0.107	0.130
5	Γερανός Μηχανοστασίου	1	0.2	1.7167406	0.48	3.138	3.577	1	0.2	1.716740612	0.48	3.138	3.577	1	0	2.5751109	0.5723	3.689	4.499
	<b>Σύνολο</b>			<b>6.4535689</b>		<b>11.79</b>	<b>13.45</b>			<b>6.453568885</b>		<b>11.79</b>	<b>13.45</b>			<b>9.6803533</b>		<b>13.87</b>	<b>16.91</b>

Συστήματα Ψύξεως																			
1	Ανεμιστήρας μονάδας κλιματισμού	2	0.6	14.111192	0.76	12.068	18.567	2	0.6	14.11119249	0.76	12.068	18.567	2	1	14.111192	0.76	12.068	18.567
2	Συμπιεστής μονάδας κλιματισμού	1	0.6	39.13163	0.76	33.464	51.489	1	0.6	39.13163034	0.76	33.464	51.489	1	1	39.13163	0.76	33.464	51.489
3	Συμπιεστής μονάδας ψύξης	2	0.6	9.1686409	0.76	7.841	12.064	2	0.6	9.168640888	0.76	7.841	12.064	2	1	9.1686409	0.76	7.841	12.064
4	Ανεμιστήρας χώρου προμηθειών	1	0.6	0.6012702	0.76	0.514	0.791	1	0.6	0.601270228	0.76	0.514	0.791	1	1	0.6012702	0.76	0.514	0.791
5	Θερμαντήρας χώρου προμηθειών	1	0.1	2.1165058	1	0.000	2.117	1	0.1	2.116505815	1	0.000	2.117	1	0	2.1165058	1	0.000	2.117
6	Μονάδα κλιματισμού ecr	1	0.6	5.5707541	0.76	4.764	7.330	1	0.6	5.570754062	0.76	4.764	7.330	1	1	5.5707541	0.76	4.764	7.330
7	Μονάδα κλιματισμού χώρων κουζίνας	1	0.6	7.0555962	0.76	6.034	9.284	1	0.6	7.055596244	0.76	6.034	9.284	1	1	7.0555962	0.76	6.034	9.284
	<b>Σύνολο</b>			<b>77.75559</b>		<b>64.68</b>	<b>101.64</b>			<b>77.75559006</b>		<b>64.68</b>	<b>101.64</b>			<b>77.75559</b>		<b>64.68</b>	<b>101.64</b>
	<b>Βοηθητικά Καταστρώματος</b>																		
1	Σύστημα πηδαλιουχίας	2	0.3	10.993255	0.5723	15.751	19.208	2	0.3	21.9865093	0.5723	31.501	38.415	2	0	0			
2	Αντλία συστήματος πηδαλιουχίας	2	0.3	0.1489385	0.5723	0.213	0.260	2	0.3	0.297876994	0.5723	0.427	0.520	2	0	0			
3	Αντλία εργάτη άγκυρας	2	0	0				2	0.6	113.6043627	0.76	97.152	149.48	2	0	0			

4	Αντλία εργάτη πρυμνησίων	2	0	0				2	0.6	47.33515113	0.76	40.480	62.284	2	0	0			
5	Γερανός πετρέλευσης	2	0	0				2	0	0				2	0	1.4976593	0.5723	2.146	2.617
6	Γερανός προμηθειών	1	0	0				1	0	0				1	0	4.4804853	0.5723	6.419	7.828
7	Βίντσι σωσίβιας λέμβου	1	0	0				1	0	0				1	0	0			
8	Βίντσι λέμβου διάσωσης	1	0	0				1	0	0				1	0	0			
9	Σκάλες επιβίβασης πλοίου	2	0	0				2	0.3	2.115640522	0.5723	3.031	3.696	2	0	2.1156405	0.5723	3.031	3.696
10	Σκάλες επιβίβασης πλότου	2	0	0				2	0	0				2	0	0			
11	Βοηθητική σκάλα	2	0	0				2	0	0				2	0	0			
	<b>Σύνολο</b>			<b>11.142193</b>		<b>15.96</b>	<b>19.47</b>			<b>185.3395407</b>		<b>172.59</b>	<b>254.40</b>			<b>8.0937852</b>		<b>11.60</b>	<b>14.14</b>
	<b>Εξαερισμός</b>																		
1	Ανεμιστήρες μηχανοστασίου	4	0.8	47.791843	0.82	33.359	58.283	4	0.8	47.79184348	0.82	33.359	58.283	4	1	47.791843	0.82	33.359	58.283
2	Ανεμιστήρες χώρου διαχωριστήρων	1	0.8	3.9937582	0.82	2.788	4.870	1	0.8	3.993758213	0.82	2.788	4.870	1	1	3.9937582	0.82	2.788	4.870
3	Ανεμιστήρες χώρου πηδαλιουχίας	1	0.8	1.5004175	0.82	1.047	1.830	1	0.8	1.50041745	0.82	1.047	1.830	1	1	1.5004175	0.82	1.047	1.830
4	Ανεμιστήρες χώρου γεννήτριας ασφαλείας	1	0.8	3.9937582	0.82	2.788	4.870	1	0.8	3.993758213	0.82	2.788	4.870	1	1	3.9937582	0.82	2.788	4.870

	Σύνολο			57.28		39.98	69.85			57.28		39.98	69.85			57.28		39.98	69.85	
	<b>Συσκευές Μαγειρείου</b>																			
1	Βραστήρας	1	0.3	4.3039656	1	0.000	4.304	1	0.3	4.303965626	1	0.000	4.304	1	0	4.3039656	1	0.000	4.304	
2	Κουζίνα -Εστίες	1	0.3	6.8278801	1	0.000	6.828	1	0.3	6.827880063	1	0.000	6.828	1	0	6.8278801	1	0.000	6.828	
3	Πλυντήριο πιάτων	1	0.3	2.3985912	0.5723	3.437	4.191	1	0.3	2.398591218	0.5723	3.437	4.191	1	0	2.3985912	0.5723	3.437	4.191	
5	Φριτέζα	1	0.3	4.9373598	1	0.000	4.937	1	0.3	4.937359844	1	0.000	4.937	1	0	4.9373598	1	0.000	4.937	
6	Πλυντήριο	1	0.3	3.1747587	0.5723	4.549	5.547	1	0.3	3.174758722	0.5723	4.549	5.547	1	0	3.1747587	0.5723	4.549	5.547	
7	Στεγνωτήριο	1	0.3	2.9281503	1	0.000	2.928	1	0.3	2.928150318	1	0.000	2.928	1	0	2.9281503	1	0.000	2.928	
	<b>Σύνολο</b>			<b>24.57</b>		<b>7.99</b>	<b>28.74</b>			<b>24.57</b>		<b>7.99</b>	<b>28.74</b>			<b>24.57</b>		<b>7.99</b>	<b>28.74</b>	
	<b>Διάφορα</b>																			
4	Υδραυλική αντλία χειρισμού βαλβίδας	2	0	0				2	0	0				2	0	0				
5	Scrubber	2	0.6	228	0.75999488	194.98	300.00	2	0.8	304	0.81999808	212.19	370.73	2	0	0				
	<b>Σύνολο</b>			<b>228</b>		<b>194.98</b>	<b>300.00</b>			<b>304</b>		<b>212.19</b>	<b>370.73</b>			<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	
	<b>Τελικό Σύνολο</b>			<b>717.85</b>		<b>558.43</b>	<b>926.51</b>			<b>1077.16</b>		<b>789.98</b>	<b>1357.9</b>			<b>439.73</b>		<b>306.07</b>	<b>559.43</b>	

Ζυγοί 220 V		Κατάσταση ερματισμού						Κατάσταση χειρισμού φορτίου					
	Πίνακες Φωτισμού	N	fs	Ρλειτ [kw]	cosφ	Q (kVar)	S (kVa)	N	fs	Ρλειτ [kw]	cosφ	Q (kVar)	S (kVa)
1	Εξωτερικός φωτισμός	1	0.8	18.65225	1	0.000	18.652	1	0.8	18.65225	1	0.000	18.652
2	Φωτισμός μηχανοστασίου	1	1	8.228933	1	0.000	8.229	1	1	8.228933	1	0.000	8.229
3	Φωτισμός ανάγκης	1	0.6	4.93736	1	0.000	4.937	1	0.6	4.93736	1	0.000	4.937
4	Φωτισμός ενδιαιτήσεως	1	0.8	11.28342	1	0.000	11.283	1	0.8	11.28342	1	0.000	11.283
5	Φωτισμός ναυσιπλοΐας	1	0.2	0.649078	1	0.000	0.649	1	0.2	0.649078	1	0.000	0.649
6	Φωτισμός χώρων φορτίου	28	0	0				28	0.3	3.166322	1	0.000	3.166
	<b>Σύνολο</b>			<b>43.75103</b>		<b>0.00</b>	<b>43.75</b>			<b>46.91736</b>		<b>0.00</b>	<b>46.92</b>
	<b>Εξαερισμός</b>												
5	Ανεμιστήρες χώρων ενδιαίτησης	20	0.8	1.618097	0.82	1.129	1.973	20	0.8	1.618097	0.82	1.129	1.973
	<b>Συσκευές Μαγειρείου</b>												
4	Βραστήρας νερού	1	0.3	1.125313	1	0.000	1.125	1	0.3	1.125313	1	0.000	1.125
8	Διάφορα μηχανήματα	20	0.3	5.295591	0.5723	7.587	9.253	20	0.3	5.295591	0.5723	7.587	9.253
	<b>Σύνολο</b>			<b>6.421</b>		<b>7.587</b>	<b>10.378</b>			<b>6.421</b>		<b>7.587</b>	<b>10.378</b>

	<b>Διάφορα</b>												
1	Όργανα ναυσιπλοΐας & επικοινωνίας	1	0.4	1.397448	1	0.000	1.397	1	0.2	0.698724	1	0.000	0.699
2	Φορτιστής μπαταριών	1	0.5	0.560818	1	0.000	0.561	1	0.5	0.560818	1	0.000	0.561
3	Όργανα εσωτερικής επικοινωνίας	1	0.4	1.750487	1	0.000	1.750	1	0.3	1.312865	1	0.000	1.313
	<b>Σύνολο</b>			<b>3.709</b>		<b>0.000</b>	<b>3.709</b>			<b>2.572</b>		<b>0.000</b>	<b>2.572</b>
	<b>Σύνολο Ζηγών 220 V</b>			<b>55.50</b>		<b>8.72</b>	<b>59.81</b>			<b>57.53</b>		<b>8.72</b>	<b>61.84</b>
	<b>Ζυγοί 440 V</b>												
	<b>Βοηθητικά Πρόωσης</b>												
1	Κύρια αντλία λαδιού λίπανσης	2	0.7	51.27975	0.7789	41.295	65.840	2	0	0			
2	Κύρια αντλία θαλασσινού νερού ψύξης	2	0.6	44.18102	0.76	37.783	58.133	2	0.6	44.18102	0.76	37.783	58.133
3	Αντλία γλυκού νερού ψύξης Κ.Μ.	2	0.8	14.10773	0.82	9.847	17.205	2	0	0			
4	Αντλία ψύξης νερού χαμηλής θερμ.	2	0.8	75.73624	0.82	52.865	92.361	2	0.6	56.80218	0.76	48.576	74.740

5	Αντλία πετρελαίου χαμηλής πίεσης	2	0.8	3.648074	0.82	2.546	4.449	2	0	0			
6	Αντλία πετρελαίου	2	0.8	1.500417	0.82	1.047	1.830	2	0	0			
7	Αντλία λίπανσης	2	0.8	2.000557	0.82	1.396	2.440	2	0	0			
8	Βοηθητική παροχή αέρα Κ.Μ.	2	0	0				2	0	0			
9	Στροφέιο Κύριας Μηχανής	1	0	0				1	0	0			
10	Φίλτρο λαδιού λίπανσης	1	0.8	0.198585	0.82	0.139	0.242	1	0	0			
11	Ξηραντήρας αέρα	1	0.3	0.168245	0.5723	0.241	0.294	1	0.3	0.168245	0.5723	0.241	0.294
	<b>Σύνολο</b>			<b>192.8206</b>		<b>147.16</b>	<b>242.79</b>			<b>101.1514</b>		<b>86.60</b>	<b>133.17</b>
	<b>Βοηθητικά Μηχανοστασίου</b>												
1	Αντλίες λίπανσης χοάνης ελικ.άξονα	2	0.8	0.397169	0.82	0.277	0.484	2	0	0			
2	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου	1	0.6	5.290399	0.76	4.524	6.961	1	0.6	5.290399	0.76	4.524	6.961
3	Αντλία καταλοίπων πετρελαίου	1	0.3	0.562657	0.5723	0.806	0.983	1	0.3	0.562657	0.5723	0.806	0.983
4	Αντλία μετάγγισης diesel	1	0.4	1.099571	0.65	1.286	1.692	1	0.4	1.099571	0.65	1.286	1.692
5	Διαχωριστήρας ακάθαρτου νερού	1	0.3	0.656433	0.5723	0.941	1.147	1	0	0			
6	Αντλία μετάγγισης ελαίου λίπανσης	1	0.6	1.649356	0.76	1.410	2.170	1	0.6	1.649356	0.76	1.410	2.170

7	Αντλία σεντινών	1	0.3	0.562657	0.5723	0.806	0.983	1	0.3	0.562657	0.5723	0.806	0.983
8	Σύστημα αποτροπής ρύπανσης γάστρας	1	0.6	1.798294	0.76	1.538	2.366	1	0.6	1.798294	0.76	1.538	2.366
9	Αντλία πόσιμου νερού	2	0.6	2.774669	0.76	2.373	3.651	2	0.6	2.774669	0.76	2.373	3.651
10	Αντλία κυκλοφορίας θερμού νερού	1	0.6	0.562657	0.76	0.481	0.740	1	0.6	0.562657	0.76	0.481	0.740
11	Δεξαμενή θέρμανσης νερού	1	0	0				1	0	0			
12	Αντλία σεντινών & γενικής χρήσης	2	0	0				2	0.8	46.28532	0.82	32.308	56.446
13	Αντλία ερματισμού	2	0.8	185.1413	0.82	129.23	225.78	2	0.8	92.57065	0.82	64.615	112.89
14	Διαχωριστήρας πετρελαίου	2	0.6	6.063971	0.76	5.186	7.979	2	0.6	6.063971	0.76	5.186	7.979
15	Διαχωριστήρας ελαίου λίπανσης	2	0.6	4.516828	0.76	3.863	5.943	2	0.6	4.516828	0.76	3.863	5.943
16	Κύριος αεροσυμπιεστής εκκίνησης	2	0.3	13.05755	0.5723	18.708	22.814	2	0.3	13.05755	0.5723	18.708	22.814
17	Βοηθητικός αεροσυμπιεστής	1	0	0				1	0	0			
18	Αεροσυμπιεστής εκκίνησης ανάγκης	1	0	0				1	0	0			



19	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα πετρελαίου	1	0.6	0.976375	0.76	0.835	1.285	1	0.6	0.976375	0.76	0.835	1.285
20	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστήρα λαδιού	1	0.6	0.976375	0.76	0.835	1.285	1	0.6	0.976375	0.76	0.835	1.285
21	Προθερμαντήρας νερού χιτωνίων	1	0	0				1	0	0			
22	Αντλία προλίπανσης ηλεκτρογεννητριών	3	0.8	0.926728	0.82	0.647	1.130	3	0.8	0.926728	0.82	0.647	1.130
23	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου γεννητριών	2	0.8	0.272135	0.82	0.190	0.332	2	0.8	0.272135	0.82	0.190	0.332
24	Αντλία μετάγγισης υψηλής πίεσης γεννητριών	2	0.8	0.632529	0.82	0.442	0.771	2	0.8	0.632529	0.82	0.442	0.771
25	Αντλία μετάγγισης diesel γεννητριών	1	0	0				1	0	0			
26	Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων	1	0.3	2.328503	0.5723	3.336	4.068	1	0.3	2.328503	0.5723	3.336	4.068
27	Δεξαμενή επεξεργασίας λυμάτων	1	0.3	1.574887	0.5723	2.256	2.752	1	0.3	1.574887	0.5723	2.256	2.752

28	Μονάδα παραγωγής γλυκού νερού	1	0.6	14.25887	0.76	12.194	18.762	1	0	0			
29	Αντλία πυρκαγιάς ασφαλείας	1	0	0				1	0	0			
	<b>Σύνολο</b>			<b>246.0799</b>		<b>192.16</b>	<b>314.08</b>			<b>184.4821</b>		<b>146.44</b>	<b>237.24</b>
	<b>Αποτεφρωτήρας και Λέβητας</b>												
1	Αποτεφρωτήρας	1	0.3	5.290399	1	0.000	5.290	1	0	0			
2	Καυστήρας λέβητα	1	0	0				1	0.8	4.493897	0.82	3.137	5.480
3	Αντλία μετάγγισης πετρελαίου λέβητα	2	0	0				2	0.8	0.797608	0.82	0.557	0.973
4	Αντλία τροφοδοσίας νερού λέβητα	2	0.8	2.199141	0.82	1.535	2.682	2	0.8	2.199141	0.82	1.535	2.682
5	Προθερμαντήρας λέβητα	1	0	0				1	1	8.350074	1	0.000	8.350
	<b>Σύνολο</b>			<b>7.489541</b>		<b>1.54</b>	<b>7.97</b>			<b>15.84072</b>		<b>5.23</b>	<b>17.49</b>
	<b>Εργαστήριο Μηχανοστασίου</b>												
1	Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης	1	0.2	3.762292	0.48	6.876	7.838	1	0.3	5.643439	0.5723	8.086	9.860
2	Δράπανο	1	0.2	0.174681	0.48	0.319	0.364	1	0.3	0.262021	0.5723	0.375	0.458
3	Τόρνος	1	0.2	0.750209	0.48	1.371	1.563	1	0.3	1.125313	0.5723	1.612	1.966

4	Ηλεκτρικό τρυπάνι	1	0.2	0.049646	0.48	0.091	0.103	1	0.3	0.074469	0.5723	0.107	0.130
5	Γερανός Μηχανοστασίου	1	0.2	1.716741	0.48	3.138	3.577	1	0.3	2.575111	0.5723	3.689	4.499
	<b>Σύνολο</b>			<b>6.453569</b>		<b>11.79</b>	<b>13.45</b>			<b>9.680353</b>		<b>13.87</b>	<b>16.91</b>
	<b>Συστήματα Ψύξεως</b>												
1	Ανεμιστήρας μονάδας κλιματισμού	2	0.6	14.11119	0.76	12.068	18.567	2	0.6	14.11119	0.76	12.068	18.567
2	Συμπιεστής μονάδας κλιματισμού	1	0.6	39.13163	0.76	33.464	51.489	1	0.6	39.13163	0.76	33.464	51.489
3	Συμπιεστής μονάδας ψύξης	2	0.6	9.168641	0.76	7.841	12.064	2	0.6	9.168641	0.76	7.841	12.064
4	Ανεμιστήρας χώρου προμηθειών	1	0.6	0.60127	0.76	0.514	0.791	1	0.6	0.60127	0.76	0.514	0.791
5	Θερμαντήρας χώρου προμηθειών	1	0.1	2.116506	1	0.000	2.117	1	0.1	2.116506	1	0.000	2.117
6	Μονάδα κλιματισμού ecr	1	0.6	5.570754	0.76	4.764	7.330	1	0.6	5.570754	0.76	4.764	7.330
7	Μονάδα κλιματισμού χώρων κουζίνας	1	0.6	7.055596	0.76	6.034	9.284	1	0.6	7.055596	0.76	6.034	9.284
	<b>Σύνολο</b>			<b>77.75559</b>		<b>64.68</b>	<b>101.64</b>			<b>77.75559</b>		<b>64.68</b>	<b>101.64</b>
	<b>Βοηθητικά Καταστρώματος</b>												

1	Σύστημα πηδαλιουχίας	2	0.3	10.99325	0.5723	15.751	19.208	2	0	0			
2	Αντλία συστήματος πηδαλιουχίας	2	0.3	0.148938	0.5723	0.213	0.260	2	0	0			
3	Αντλία εργάτη άγκυρας	2	0	0				2	0	0			
4	Αντλία εργάτη πρυμνησίων	2	0	0				2	0	0			
5	Γερανός πετρέλευσης	2	0	0				2	0.3	1.497659	0.5723	2.146	2.617
6	Γερανός προμηθειών	1	0	0				1	0.3	4.480485	0.5723	6.419	7.828
7	Βίντσι σωσίβιας λέμβου	1	0	0				1	0	0			
8	Βίντσι λέμβου διάσωσης	1	0	0				1	0	0			
9	Σκάλες επιβίβασης πλοίου	2	0	0				2	0	0			
10	Σκάλες επιβίβασης πιλότου	2	0	0				2	0	0			
11	Βοηθητική σκάλα	2	0	0				2	0	0			
	<b>Σύνολο</b>			<b>11.14219</b>		<b>15.96</b>	<b>19.47</b>			<b>5.978145</b>		<b>8.57</b>	<b>10.45</b>
	<b>Εξαερισμός</b>												
1	Ανεμιστήρες μηχανοστασίου	4	0.8	47.79184	0.82	33.359	58.283	4	0.8	47.79184	0.82	33.359	58.283

2	Ανεμιστήρες χώρου διαχωριστήρων	1	0.8	3.993758	0.82	2.788	4.870	1	0.8	3.993758	0.82	2.788	4.870
3	Ανεμιστήρες χώρου πηδαλιουχίας	1	0.8	1.500417	0.82	1.047	1.830	1	0.8	1.500417	0.82	1.047	1.830
4	Ανεμιστήρες χώρου γεννήτριας ασφαλείας	1	0.8	3.993758	0.82	2.788	4.870	1	0.8	3.993758	0.82	2.788	4.870
	<b>Σύνολο</b>			<b>57.28</b>		<b>39.98</b>	<b>69.85</b>			<b>57.28</b>		<b>39.98</b>	<b>69.85</b>
	<b>Συσκευές Μαγειρείου</b>												
1	Βραστήρας	1	0.3	4.303966	1	0.000	4.304	1	0.3	4.303966	1	0.000	4.304
2	Κουζίνα -Εστίες	1	0.3	6.82788	1	0.000	6.828	1	0.3	6.82788	1	0.000	6.828
3	Πλυντήριο πιάτων	1	0.3	2.398591	0.5723	3.437	4.191	1	0.3	2.398591	0.5723	3.437	4.191
5	Φριτέζα	1	0.3	4.93736	1	0.000	4.937	1	0.3	4.93736	1	0.000	4.937
6	Πλυντήριο	1	0.3	3.174759	0.5723	4.549	5.547	1	0.3	3.174759	0.5723	4.549	5.547
7	Στεγνωτήριο	1	0.3	2.92815	1	0.000	2.928	1	0.3	2.92815	1	0.000	2.928
	<b>Σύνολο</b>			<b>24.57</b>		<b>7.99</b>	<b>28.74</b>			<b>24.57</b>		<b>7.99</b>	<b>28.74</b>
	<b>Διάφορα</b>												
4	Υδραυλική αντλία χειρισμού βαλβίδας	2	0.8	1.198863	0.82	0.837	1.462	2	0	0			
5	Scrubber	2	0.6	228	0.75999488	194.98	300.00	2	0	0			
	<b>Σύνολο</b>			<b>229.198863</b>		<b>195.8168489</b>	<b>301.4640525</b>			<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Τελικό Σύνολο</b>			<b>908.29</b>		<b>685.80</b>	<b>1159.3</b>			<b>534.72</b>		<b>382.08</b>	<b>677.33</b>

		Κατάσταση Έκτατης Ανάγκης					
	Ζυγοί 220 V	N	fs	Ρλειτ [kw]	cosφ	Q (kVar) Άπορ. Άεργος Ισχύς	S (kVa) Φαιν. Ισχύς
3	Φωτισμός ανάγκης	1	1	8.2289331	1	0.000	8.229
1	Όργανα ναυσιπλοΐας & επικοινωνίας	1	1	3.4936191	1	0.000	3.494
2	Φορτιστής μπαταριών	1	1	1.1216356	1	0.000	1.122
3	Όργανα εσωτερικής επικοινωνίας	1	1	4.3762176	1	0.000	4.376
	<b>Σύνολο Ζηγών 220 V</b>			17.220405		0	17.22
	<b>Ζυγοί 440 V</b>						
	<b>Βοηθητικά Μηχανοστασίου</b>						
29	Αντλία πυρκαγιάς ασφαλείας	1	1	27.760992	0.86	16.472	32.280
	<b>Βοηθητικά Καταστρώματος</b>						
1	Σύστημα πηδαλιουχίας	2	1	36.644182	0.86	21.743	42.610
2	Αντλία συστήματος πηδαλιουχίας	2	1	0.4964617	0.86	0.295	0.577
	<b>Εξαερισμός</b>						
4	Ανεμιστήρες χώρου γεννήτριας ασφαλείας	1	1	1.8755218	0.86	1.113	2.181
5	Ανεμιστήρες χώρων ενδιαίτησης	20	1	4.9921978	0.86	2.962	5.805
	<b>Τελικό Σύνολο</b>			<b>88.99</b>		<b>42.59</b>	<b>100.67</b>

### Διατομές ζυγών και καλωδίων που τροφοδοτούν ομάδα καταναλωτών

Χρησιμοποιώντας τη μέγιστη φαινόμενη ισχύ από κάθε κατάσταση, όπως υπολογίστηκε στους παραπάνω πίνακες, και με μια προσαύξηση της τάξεως του 10% στη φαινόμενη ισχύ, για λόγους ασφαλείας, υπολογίζουμε με βάση τη σχέση  $I = 1.1 * S / V \sqrt{3}$  το ρεύμα γραμμής που τροφοδοτεί κάθε ζυγό. Με βάση την τιμή αυτή του ρεύματος, προσδιορίζουμε τις διατομές των καλωδίων που τροφοδοτούν ομάδα καταναλωτών (ουσιαστικά συνδέουν τους ζυγούς με τους υποζυγούς) αλλά και τις διατομές των χάλκινων ζυγών με βάση τον πίνακα, καθώς επίσης και το είδος και τις ονομαστικές τιμές λειτουργίας των ασφαλιστικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται. Οι τιμές αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Σε περίπτωση ομαδοποίησης καλωδίων, έχει επιλεγεί παντού η διάταξη 1 (καλώδια σε δέσμη στον αέρα, σε μια επιφάνεια, ενσωματωμένα ή καλυμμένα).

Η ικανότητα διακοπής σε βραχυκύκλωμα των αυτόματων διακοπών θα προσδιοριστεί μέσα από τη μελέτη βραχυκυκλωμάτων που ακολουθεί στην επόμενη παράγραφο.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη ζητούμενη ισχύς του μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσεως στο κύριο δίκτυο, είναι ίση με  $61,84 \text{ kVA} \times 1,1 = 68,02 \text{ kVA}$  (προσαύξηση 10%, όπως στα καλώδια), και επομένως επιλέγεται μετασχηματιστής των 70 kVA (ονομαστική ισχύς). Αντίστοιχα, για την κατάσταση έκτακτης ανάγκης ο μετασχηματιστής θα πρέπει να τροφοδοτήσει τα φορτία έκτακτης ανάγκης και τάσεως των 220 V, τα οποία απορροφούν 17,22 kVA και με προσαύξηση 10%, έχουμε  $17,22 \text{ kVA} \times 1,1 = 18,94 \text{ kVA}$ . Για την κατάσταση έκτακτης ανάγκης επιλέγεται μετασχηματιστής ονομαστικής ισχύος 20 kVA.

Επιπλέον, όπως φαίνεται και στο μονογραμμικό διάγραμμα του bulk carrier στο τέλος της εργασίας, υπάρχει διάταξη για λήψη ρεύματος από τη στεριά. Η διατομή αυτού του καλωδίου θα είναι ίση με  $4 \times (1 \times 300) \text{ mm}^2$  αφού το συνολικό ρεύμα που θα περάσει από το καλώδιο είναι 1959.93 A. Τέλος, επιλέγεται αυτόματος διακόπτης των 2000 A.

Οι ζυγοί πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από χαλκό ή επιχαλωμένο αλουμίνιο ή από αλουμίνιο ανθεκτικό στη διάβρωση. Οι διαστάσεις των καλωδίων δίνονται στον πίνακα παρακάτω και καθορίζονται από το μέγιστο ρεύμα κανονικής λειτουργίας που κυκλοφορεί στο εσωτερικό τους.

Width × Thickness [mm]	Maximum permissible loading [A] with 50/60 Hz							
	painted (matt-black)				bare			
	Number of bars				Number of bars			
	1 	2 	3 	4 	1 	2 	3 	4 
15 × 3	230	390	470	–	200	350	445	–
20 × 3	290	485	560	–	250	430	535	–
20 × 5	395	690	900	–	340	620	855	–
20 × 10	615	1145	1635	–	530	1020	1460	–
25 × 3	355	580	650	–	300	510	615	–
25 × 5	475	820	1040	–	405	725	985	–
30 × 3	415	670	735	–	350	590	700	–
30 × 5	555	940	1170	–	470	830	1110	–
30 × 10	835	1485	2070	–	710	1310	1835	–
40 × 5	710	1180	1410	–	595	1035	1350	–
40 × 10	1050	1820	2480	3195	885	1600	2195	2825
50 × 5	860	1410	1645	2490	720	1230	1560	2380
50 × 10	1260	2130	2875	3655	1055	1870	2530	3220
60 × 5	1020	1645	1870	2860	850	1425	1785	2740
60 × 10	1460	2430	3235	4075	1220	2130	2850	3595
80 × 5	1320	2080	2265	3505	1095	1795	2170	3370
80 × 10	1860	2985	3930	4870	1535	2615	3460	4275
100 × 10	2240	3530	4610	5615	1845	3075	4040	4935
120 × 10	2615	4060	5290	6360	2155	3545	4635	5580
160 × 10	3348	5121	6646	7836	2752	4451	5803	6857
200 × 10	4079	6162	7973	9287	3335	5344	6956	8109

*Note*  
The maximum permissible loading applies to switchboards not closed at the rear. In the case of fully enclosed switchboards adequate ventilation is to be ensured, or the loading values stated are to be reduced.

Οι διακόπτες ισχύος ή αυτόματοι διακόπτες έχουν σκοπό να προστατεύουν τον εξοπλισμό από υπερβολική θερμοκρασία σε υπερφορτίσεις και από υπερβολική μηχανική και θερμική καταπόνηση σε βραχυκυκλώματα. Τυποποιημένα μεγέθη αυτόματων διακοπών του ABB είναι τα εξής: 16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 160, 250, 400, 630, 800, 1000, 1250, 2000, 2500. Τυποποιημένες τιμές ικανότητας διακοπής των διακοπών ισχύος είναι: 10, 15, 25, 36, 50 kA.



	Μέγιστη φαινόμενη ισχύς (kVA)	Ρεύμα τριφασικής γραμμής +10% προσαύξηση (A)	Διατομή καλωδίου παροχής (mm <sup>2</sup> )	Κύριος ζυγός Πίνακα (mm <sup>2</sup> )	Αυτόματος διακόπτης (A)
<b>Επίπεδο τάσης 220 V</b>					
Κεντρική μπάρα	61.84	178.5194163	3*95 ανά φάση	100	250
Συσκευές μαγειρείου	10.37788191	29.95836458	3*6 ανά φάση	100	32
Πίνακας εξαερισμού	1.97329395	5.696408965	3*1,5 ανά φάση	100	16
<b>Επίπεδο τάσης 440 V</b>					
Κεντρική μπάρα	1357.88	1959.927675	2x(1*300) ανά φάση	2000	2000
Βοηθητικά πρόωσης	346.81	500.5726326	1*300 ανά φάση	400	630
Βοηθητικά μηχανοστασίου	314.08	453.3380627	1*240 ανά φάση	400	630
Πίνακας Αποτεφρωτήρα & Λέβητα	17.49	25.23746662	3*4 ανά φάση	100	32
Εργαστήριο μηχανοστασίου	16.91	24.41284981	3*4 ανά φάση	100	25
Συστήματα ψύξης	101.64	146.7080046	3*70 ανά φάση	100	160
Βοηθητικά καταστρώματος	254.40	367.1892702	1*185 ανά φάση	300	400
Πίνακας εξαερισμού	69.85	100.8249156	3*35 ανά φάση	100	160
Πίνακας συσκευών μαγειρείου	28.74	41.47573336	3*10 ανά φάση	100	50
Scrubber	370.73	535.1063805	1*300 ανά φάση	400	630
Μετασχηματιστής 440/220V	61.84	89.25970816	3*35 ανά φάση		100
Γεννήτρια για χρήση εν όρμω	559.43	807.471509	2x(1*185) ανά φάση		1000

Έκτακτη ανάγκη					
Κεντρική μπάρα	100.67	145.3091667	3*70 ανά φάση	100	160
Μετασχηματιστής 440/220 V (emergency)	17.22040529	24.85551408	3*4 ανά φάση		25
Βοηθητικά μηχανοστασίου	32.28022292	46.59248848	3*10 ανά φάση		50
Βοηθητικά καταστώματος	43.18679514	62.3347695	3*16 ανά φάση	100	63
Πίνακας εξαερισμού	7.98572044	11.52639461	3*1,5 ανά φάση	100	16
Φορτία των 220 V	17.22040529	49.71102816	3*16 ανά φάση	100	50

## Μελέτη Βραχυκυκλωμάτων

Με τον όρο βραχυκύκλωμα εννοείται η αγώγιμη σύνδεση μεταξύ δύο σημείων διαφορετικού δυναμικού μέσω μιας πολύ μικρής ωμικής αντίστασης. Όπως προβλέπεται από τον νόμο του Ohm, η συνέπεια αυτού του φαινομένου είναι η υπερβολική αύξηση της έντασης του ρεύματος.

Όσο μεγαλύτερη είναι η ονομαστική τάση λειτουργίας τόσο μεγαλύτερο είναι και το ρεύμα βραχυκυκλώματος  $I$ , συνεπώς τα βραχυκυκλώματα γίνονται πιο σημαντικά όσο αυξάνει η τάση λειτουργίας. Οι συνέπειες τους περιλαμβάνουν:

- υπερθέρμανση του εξοπλισμού (λόγω φαινομένου Joule),
- τήξη αγώγιμων μερών
- τήξη μονωτικών υλικών
- μερική ή ολική απώλεια (καταστροφή) μονώσεων
- πυρκαγιές και ολική καταστροφή εξοπλισμού
- ανάπτυξη μεγάλων (ελκτικών ή/και απωστικών ανάλογα με τη φορά των ρευμάτων στους ρευματοφόρους αγωγούς) δυνάμεων Laplace
- στρεβλώσεις και κάμψεις αγώγιμων μερών
- μηχανικές ταλαντώσεις.

Μια προσέγγιση με αγνόηση της απόσβεσης του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να γίνει με την εξής μέθοδο:

Αν υποθέσουμε ως  $t=0$  την στιγμή εκδήλωσης του βραχυκυκλώματος, τότε χωρίζουμε την μελέτη της φόρτισης στα εξής χρονικά διαστήματα:

1. Υπερβατική κατάσταση ( $t < 0$ ): Το δίκτυο λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση και το ρεύμα φόρτισης παρουσιάζει χαμηλή ένταση, όπως φαίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_{0-} = I_{\lambda_{\epsilon\tau}} = \frac{P_{\lambda_{\epsilon\tau}}}{\sqrt{3} \cdot V_{\pi\sigma\lambda} \cdot \cos\varphi}$$

$$-\varphi = \arg(\tilde{I}) = \angle \tilde{I}$$

2. Μεταβατική κατάσταση ( $0 < t < 0^+$ ): Το βραχυκύκλωμα εκδηλώνεται, το ρεύμα εξακολουθεί να έχει τη χαμηλή τιμή της φόρτισης, ενώ παράλληλα εμφανίζονται επαγωγικές αντιδράσεις (σε γεννήτρια G και κινητήρα M):

$$\tilde{E}''_G = \tilde{V}_{G-} + \tilde{I}_{0-} \cdot (R_G + jX''_{d,G})$$

$$\tilde{E}''_M = \tilde{V}_{M-} - \tilde{I}_{0-} \cdot (R_G + jX''_M)$$

, όπου  $\tilde{V}_{G-} = \tilde{V}_{M-} = V_{\sigma\nu} \underline{0^\circ}$ : οι επαγωγικές αντιστάσεις, R: η ωμική αντίσταση, X'': η επαγωγική αντίσταση.

3. Μόνιμη κατάσταση ( $t > 0^+$ ): Αυξάνεται η τιμή της έντασης του ρεύματος στο επίπεδο της βραχυκύκλωσης σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$I_p = 2\sqrt{2} \cdot |\tilde{I}_{sc}|$$

$$\tilde{I}_{sc,G} = \frac{\tilde{E}''_G}{R_G + jX''_{d,G}}$$

$$\tilde{I}_{sc,M} = \frac{\tilde{E}''_M}{R_M + jX''_M}$$

Επειδή η παραπάνω μέθοδος παράγει αρκετά σφάλματα θα χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω μέθοδο.

Για κινητήρες ο υπολογισμός του τριφασικού ρεύματος βραχυκύκλωσης γίνεται ως εξής:

$$E'' = [ (V_0 \cdot \cos\phi / \sqrt{3} - R \cdot I_0)^2 + (V_0 \cdot \sin\phi / \sqrt{3} - X'' \cdot I_0)^2 ]^{1/2}$$

$$I'' = E'' / Z = E'' / \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$I_{ac}(t) = I'' \cdot e^{-(t/Td)}$$

$$I_{dc}(t) = \sqrt{2} \cdot (I'' + I_0 \cdot \sin\phi) \cdot e^{-(t/Tdc)}$$

Η υπομεταβατική χρονική σταθερά  $T_d$  σχετίζεται με την ταχεία απόσβεση της Ε.Ρ. συνιστώσας, εξαρτάται κυρίως από την αποσβεστική επίδραση του κυκλώματος του δρομέα και μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση  $T_d = (X_r + X_s) / 2 \pi f R_r$ .

Η Σ.Ρ. χρονική σταθερά σχετίζεται με την απόσβεση της απεριοδικής συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Εξαρτάται κυρίως από την αποσβεστική επίδραση του κυκλώματος του στάτη και μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση  $T_{dc} = (X_r + X_s) / 2 \pi f R_s$ .

Τέλος η κρουστική τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης εμφανίζεται μεταξύ του χρόνου  $t=0$  και  $t=T/2$  της κατάστασης βραχυκυκλώματος. Ο ακριβής χρόνος εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης πριν το σφάλμα, τη σύνθετη αντίσταση των γεννητριών και τις χρονικές σταθερές. Ωστόσο, είναι αποδεκτό να υπολογιστεί στους χρόνους 0 και  $T/2 = 1/2f$ , δηλαδή στο πρώτο μισό-κύκλο του βραχυκυκλώματος, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$I_p(t) = \sqrt{2} I_{ac}(t) + I_{dc}(t)$$

Για γεννήτριες ο υπολογισμός του τριφασικού ρεύματος βραχυκύκλωσης γίνεται ως εξής:

$$E'' = [ (V_o * \cos\phi / \sqrt{3} + R * I_o)^2 + (V_o * \sin\phi / \sqrt{3} + X'' * I_o)^2 ]^{(1/2)}$$

$$E' = [ (V_o * \cos\phi / \sqrt{3} + R * I_o)^2 + (V_o * \sin\phi / \sqrt{3} + X' * I_o)^2 ]^{(1/2)}$$

$$E = [ (V_o * \cos\phi / \sqrt{3} + R * I_o)^2 + (V_o * \sin\phi / \sqrt{3} + X * I_o)^2 ]^{(1/2)}$$

$$I_{kd}'' = E'' / Z = E'' / \sqrt{(R^2 + X^2)}$$

$$I_{kd}' = E' / Z = E' / \sqrt{(R^2 + X^2)}$$

$$I_{kd} = E / Z = E / \sqrt{(R^2 + X^2)}$$

$$I_{ac}(t) = (I_{kd}'' - I_{kd}') * e^{(-t / T_d'')} + (I_{kd}' - I_{kd}) * e^{(-t / T_d')} + I_{kd}$$

$$T_{dc} = X_d'' / (2\pi f R_a)$$

$$I_{dc}(t) = \sqrt{2} * (I_{kd}'' - I_o * \sin\phi) * e^{(-t / T_{dc})}$$

$$I_p(t) = \sqrt{2} I_{ac}(t) + I_{dc}(t)$$

### Μελέτη βραχυκυκλωμάτων στο υπό μελέτη πλοίο

Αρχικά γίνεται η ομαδοποίηση των κινητήρων και των γεννητριών του πλοίου. Στο συγκεκριμένο πλοίο, έχουν ομαδοποιηθεί όλοι οι κινητήρες που συνδέονται στον ίδιο ζυγό και έχουν ονομαστική ισχύ μικρότερη των 100 kW όπως προβλέπει το πρότυπο. Οι υπόλοιποι κινητήρες έχουν ληφθεί υπόψη ξεχωριστά. Έχει προκύψει η παρακάτω ομαδοποίηση:

- M1: βοηθητικά πρόωσης
- M2: αντλίες ερματισμού
- M3: βοηθητικά μηχανοστασίου
- M4: αποτεφρωτήρας και λέβητας
- M5: εργαστήριο μηχανοστασίου
- M6: συστήματα ψύξης
- M7: βοηθητικά καταστρώματος
- M8: εξαερισμός
- M9: συσκευές μαγειρείου
- M10: φορτία των 220 V

Σημειώνεται ότι τα ωμικά φορτία καθώς και τα ηλεκτρονικά ισχύος, δηλαδή δεξαμενή θέρμανσης νερού, προθερμαντήρας νερού χιτωνίων, αποτεφρωτήρας, προθερμαντήρας λέβητα, θερμαντήρας χώρου προμηθειών, βραστήρας, κουζίνα - εστίες, βραστήρας νερού, φριτέζα, στεγνωτήριο, πίνακες φωτισμού, όργανα ναυσιπλοΐας, φορτιστής μπαταριών και όργανα εσωτερικής επικοινωνίας, δεν έχουν ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης που φτάνει στο ζυγό του βραχυκυκλώματος. Τα στοιχεία αυτά συμμετέχουν μόνο αποσβεστικά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Υπενθυμίζουμε ότι τυποποιημένες τιμές ικανότητας διακοπής των αυτόματων διακοπών ισχύος είναι: 10, 15, 25, 36, 50 kA

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι υπολογισμοί και των δύο μεθόδων για να φανεί και η υπερεκτίμηση της απλοποίησης.

	Κινητήρες										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
<b>Ρλειτ(kW)</b>	281.599	185.141	91.911	7.491	9.680	75.639	185.340	57.280	5.573	6.914	304
<b>V (V)</b>	440	440	440	440	440	440	440	440	440	220	440
<b>cosφ</b>	0.812	0.820	0.739	0.820	0.572	0.760	0.729	0.820	0.572	0.747	0.820
<b>Sov(VA)</b>	346806.8 9	225782.5 9	124351. 8	9134.96	16913.71 8	99525.7 8	254396. 2	69853.5 5	9737.87 5	9254.54	370732. 6
<b>Io- (A)</b>	455.0660 3	296.2628 2	163.169 4	11.9865 2	22.1935	130.593 7	333.808 4	91.6590 1	12.7776 5	24.2868 7	486.460 3
<b>Z(Ω)</b>	0.558235 7	0.857462	1.55687 3	21.1933 2	11.44633	1.94522 5	0.76101 8	2.77151 3	19.8811 3	5.22986 4	0.52220 9
<b>r(pu)</b>	0.055	0.055	0.055	0.07	0.07	0.07	0.055	0.07	0.07	0.07	0.055
<b>x''(pu)</b>	0.15	0.15	0.15	0.188	0.188	0.188	0.15	0.188	0.188	0.188	0.15
<b>R(Ω)</b>	0.030703	0.047160 4	0.08562 8	1.48353 2	0.801243 1	0.13616 6	0.04185 6	0.19400 6	1.39167 9	0.36609 1	0.02872 2
<b>X''(Ω)</b>	0.083735 4	0.128619 3	0.23353 1	3.98434 3	2.15191	0.36570 2	0.11415 3	0.52104 4	3.73765 3	0.98321 4	0.07833 1
<b>E'' (V)</b>	387.9230 1	387.9230 1	387.923	374.459 2	374.4592	374.459 2	387.923	374.459 2	374.459 2	187.229 6	387.923
<b>Isc (A)</b>	-4349.557	-2831.703	- 1559.58 6	- 88.0754 8	-163.0751	- 959.586 6	- 3190.56 7	- 673.499 2	- 93.8885 8	-178.457	-4649.63

<b>Ip(kA)</b>	12.30240 5	8.009266 8	4.41117 6	0.24911 5	0.461246 1	2.71412 1	9.02428 7	1.90494 3	0.26555 7	0.50475 3	13.1511 3
<b>x''(pu)</b>	0.15	0.15	0.15	0.188	0.188	0.188	0.15	0.188	0.188	0.188	0.15
<b>rs (pu)</b>	0.034	0.034	0.034	0.043	0.043	0.043	0.034	0.043	0.043	0.043	0.034
<b>rr (pu)</b>	0.021	0.021	0.021	0.027	0.027	0.027	0.021	0.027	0.027	0.027	0.021
<b>X (Ω)</b>	0.083735 4	0.128619 3	0.23353 1	3.98434 3	2.15191	0.36570 2	0.11415 3	0.52104 4	3.73765 3	0.98321 4	0.07833 1
<b>Rr (Ω)</b>	0.01898	0.029153 7	0.05293 4	0.91131 3	0.492192 2	0.08364 5	0.02587 5	0.11917 5	0.85488 9	0.22488 4	0.01775 5
<b>Rs (Ω)</b>	0.011723	0.018006 7	0.03269 4	0.57222	0.309050 9	0.05252 1	0.01598 1	0.07483 1	0.53679 1	0.14120 6	0.01096 6
<b>R (Ω)</b>	0.030703	0.047160 4	0.08562 8	1.48353 2	0.801243 1	0.13616 6	0.04185 6	0.19400 6	1.39167 9	0.36609 1	0.02872 2
<b>E'' (V)</b>	221.6221 2	221.9879 3	218.845 7	214.088 3	205.0906 5	210.935 7	218.511 6	214.088 3	205.090 7	105.179 5	221.987 9
<b>I'' (A)</b>	2484.921	1620.434 9	879.836 4	50.3551	89.31595 4	540.542 5	1797.20 2	385.057 4	51.4226 1	100.251 4	2660.73 7
<b>Td (s)</b>	0.011702 6	0.011702 6	0.01170 3	0.01159 7	0.011597 3	0.01159 7	0.01170 3	0.01159 7	0.01159 7	0.01159 7	0.01170 3
<b>Tdc (s)</b>	0.018947	0.018947	0.01894 7	0.01847	0.018469 8	0.01847	0.01894 7	0.01847	0.01847	0.01847	0.01894 7
<b>Iac(0) (A)</b>	2484.921	1620.434 9	879.836 4	50.3551	89.31595 4	540.542 5	1797.20 2	385.057 4	51.4226 1	100.251 4	2660.73 7
<b>Idc(0) (A)</b>	3889.848 6	2531.450 5	1399.70 7	80.9153 3	152.0492 1	884.476 3	2864.99 8	618.746 7	87.5405 5	164.609 2	4156.61 4



<b>Ip(0) (kA)</b>	7.404057 7	4.823091 5	2.64398 3	0.15212 8	0.278361	1.64891 9	5.40662 5	1.1633	0.16026 3	0.30638 6	7.91946 4
<b>Iac(T/2) (A)</b>	1219.141 1	795.0106 7	431.661 5	24.5458 8	43.53757 5	263.490 5	881.735 2	187.698 5	25.0662 5	48.8681	1305.39 9
<b>Idc(T/2) (A)</b>	2505.647 7	1630.634 9	901.621 8	51.5327 3	96.83592 5	563.298 4	1845.48 9	394.062 6	55.7521 5	104.835	2677.48 5
<b>Ip(T/2) (kA)</b>	4.229773 5	2.754949 8	1.51208 3	0.08624 6	0.158407 4	0.93593	3.09245 1	0.65950 8	0.09120 1	0.17394 5	4.52359 8
<b>Ip (kA)</b>	7.404057 7	4.823091 5	2.64398 3	0.15212 8	0.278361	1.64891 9	5.40662 5	1.1633	0.16026 3	0.30638 6	7.91946 4
<b>Αυτόματο ς διακόπτης (kA)</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

	Γεννήτριες		
	MAN 6L16/24	mtu 12V1600 DS600	mtu 4R0113 DS125
Pλειτ(kW)	660	550	111
V(Volt)	440	440	440
cosφ	0.85	0.85	0.85
Sov(VA)	776470.59	647058.82	130588.24
Io- (A)	1018.8534	849.04451	171.35262
Z(Ω)	0.2493333	0.2992	1.4825225
r(pu)	0.00005	0.00005	0.0001
x''(pu)	0.1	0.1	0.2
R(Ω)	1.247E-05	1.496E-05	0.0001483
X''(Ω)	0.0249333	0.02992	0.2965045
E'' (V)	465.41611	465.41611	490.83223
Isc (A)	18666.419	15555.349	1655.3953
I <sub>p</sub> (kA)	52.796607	43.997172	4.682165
x''(pu)	0.1	0.1	0.2
x'(pu)	0.2	0.2	0.3
x (pu)	1.5	1.5	2
r(pu)	0.00005	0.00005	0.0001
X'' (Ω)	0.0249333	0.02992	0.2965045
X' (Ω)	0.0498667	0.05984	0.4447568
X (Ω)	0.374	0.4488	2.965045
Ra (Ω)	1.247E-05	1.496E-05	0.0001483
E'' (V)	268.29678	268.29678	284.11909
E' (V)	284.10943	284.10943	301.2463
E (V)	558.32244	558.32244	677.2428
I <sub>kd''</sub> (A)	10760.565	8967.1372	958.22845
I <sub>kd'</sub> (A)	5697.3815	4747.8179	677.32817
I <sub>kd</sub> (A)	1492.8407	1244.034	228.40894
T''d (s)	0.04	0.04	0.03
T''do (s)	0.1	0.1	0.05
T'd (s)	0.5	0.5	0.3
T'do (s)	3	3	1

<b>Tdc (s)</b>	5.3051648	5.3051648	5.3051648
<b>Iac(0) (A)</b>	10760.565	8967.1372	958.22845
<b>Idc(0) (A)</b>	14458.708	12048.923	1227.4848
<b>Ip(0) (kA)</b>	29.676444	24.73037	2.5826245
<b>Iac(T/2) (A)</b>	9738.8689	8115.7241	877.80196
<b>Idc(T/2) (A)</b>	13833.416	11527.847	1174.4002
<b>Ip(T/2) (kA)</b>	27.606257	23.005214	2.4157996
<b>Ip (kA)</b>	29.676444	24.73037	2.5826245
<b>Αυτόματος διακόπτης (kA)</b>	36	36	10

## Υπολογισμός κίνδυνου ηλεκτρικού τόξου

Η διαδικασία που αναλύεται παρακάτω βασίζεται στον οδηγό για υπολογισμούς κίνδυνου ηλεκτρικού τόξου IEEE 1584-2018. Αρχικά αναφέρεται ότι ένα ηλεκτρικό τόξο μπορεί να δημιουργηθεί όταν ένας άνθρωπος φέρει σε επαφή ένα αγώγιμο αντικείμενο με διεγερμένο ακροδέκτη ή δίαυλο. Αυτό μπορεί να συμβεί κατά την εκτέλεση ελέγχων ή αντικατάσταση εξοπλιστικών στοιχείων. Επίσης μπορεί να ξεκινήσει από επαφή νερού με κάποιο εξοπλιστικό στοιχείο όπως μία ασφάλεια. Τέλος μπορεί να προκύψει από βλάβη μονωτικού υλικού που μπορεί να δημιουργήσει διαδρομή του ρεύματος προς κάποιο άλλο διεγερμένο ακροδέκτη.

Όταν ξεκινήσει το ηλεκτρικό τόξο δημιουργεί μέσω του συνήθως υψηλού του ρεύματος ένα δυνατό μαγνητικό πεδίο το οποίο απωθεί το αντικείμενο που με την επαφή του με διεγερμένο στοιχείο το δημιούργησε. Έτσι χάνετε η επαφή αυτή. Όπως το αντικείμενο αυτό μετακινείται το ρεύμα ακολουθεί και δημιουργεί θερμά τόξα που απορροφούν αγωγούς, ιονισμένα αέρια και παράγουν σύννεφο πλάσματος. Παρατηρείται πολύ εκθαμβωτικό φως και έκρηξη. Τα ταχέως διαστελλόμενα αέρια μπορούν να παρασύρουν αντικείμενα, σταγόνες τηγμένων μετάλλων ή σκόνη μεταλλικού οξειδίου. Αυτό μπορεί να επιφέρει παροδικούς ή μόνιμους τραυματισμούς στο δέρμα, τα μάτια, τα αυτιά ή και τους πνεύμονες των παρευρισκόμενων, ενώ μπορεί να καταλήξει και στον θάνατο. Επίσης η παραγόμενη ακτινοβολία, αγωγήμη θερμότητα μπορεί να κάψει ρουχισμό ή δέρμα σε αρκετή απόσταση από το συμβάν.

Ο οδηγός αυτός εμπεριέχει μοντέλα για τον αναλυτικό υπολογισμό της θερμικής ενέργειας του συμβάντος (predicted incident thermal energy) και του συνόρου του ηλεκτρικού τόξου (arc-flash boundary). Το σύνορο που υπολογίζεται βρίσκεται εκεί που η ενέργεια του συμβάντος είναι  $5,0 \text{ J/cm}^2 = 1,2 \text{ cal/cm}^2$  με κέντρο το σημείο που πηγάζει το ηλεκτρικό τόξο. Η ενέργεια αυτή αντιστοιχεί σε εγκαύματα δευτέρου βαθμού που δεν είναι μόνιμη ζημία. Οι τύποι που παρέχονται έχουν προκύψει εμπειρικά από μελέτη περίπου 1.700 πειραματικών δοκιμών.

Για την εκτέλεση της μελέτης ηλεκτρικού τόξου πρέπει πρώτα να έχει γίνει μελέτη βραχυκυκλώματος ώστε να γνωρίζουμε τα σημεία που θα ελέγξουμε και τα κρουστικά ρεύματα βραχυκύκλωσης.

Για κάθε κομμάτι εξοπλισμού που θα ελέγξουμε χρειαζόμαστε το μεσοδιάστημα ηλεκτροδίων και τις διαστάσεις των περιφράξεων των ηλεκτροδίων, όπως θα δούμε

παρακάτω. Ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει τον εξοπλισμό όπου έγιναν τα πειράματα πάνω στα οποία σχηματίστηκε το μοντέλο και μπορούν να βοηθήσουν στη μελέτη μας.

Equipment class	Typical bus gaps (mm)	Enclosure Size (H × W × D)	
		SI units (metric)	Imperial units
15 kV switchgear	152	1143 mm × 762 mm × 762 mm	45 in × 30 in × 30 in
15 kV MCC	152	914.4 mm × 914.4 mm × 914.4 mm	36 in × 36 in × 36 in
5 kV switchgear	104	914.4 mm × 914.4 mm × 914.4 mm	36 in × 36 in × 36 in
5 kV switchgear	104	1143 mm × 762 mm × 762 mm	45 in × 30 in × 30 in
5 kV MCC	104	660.4 mm × 660.4 mm × 660.4 mm	26 in × 26 in × 26 in
Low-voltage switchgear	32	508 mm × 508 mm × 508 mm	20 in × 20 in × 20 in
Shallow low-voltage MCCs and panelboards	25	355.6 mm × 304.8 mm × ≤203.2 mm	14 in × 12 in × ≤8 in
Deep low-voltage MCCs and panelboards	25	355.6 mm × 304.8 mm × >203.2 mm	14 in × 12 in × >8 in
Cable junction box	13	355.6 mm × 304.8 mm × ≤203.2 mm or 355.6 mm × 304.8 mm × >203.2 mm	14 in × 12 in × ≤8 in or 14 in × 12 in × >8 in

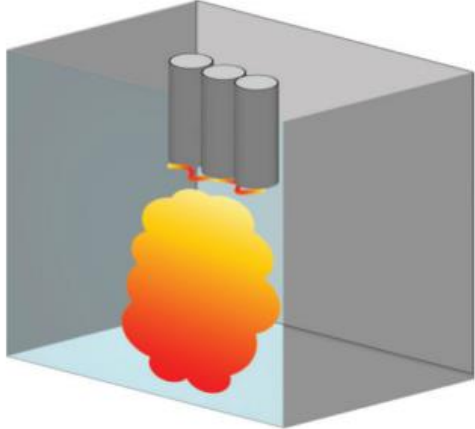

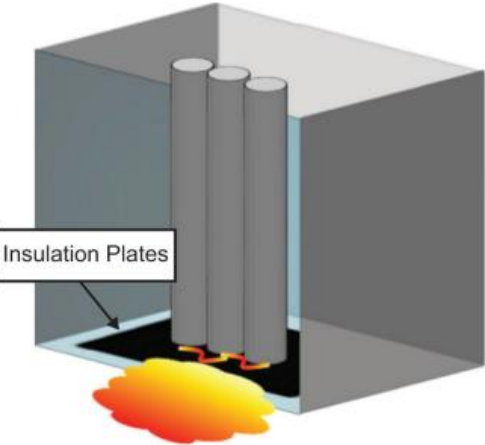

Επίσης για κάθε κομμάτι εξοπλισμού που ελέγχουμε πρέπει να προσδιορίσουμε τον τύπο διάταξης των περιφράξεων των ηλεκτροδίων διότι οι υπολογισμοί διαφέρουν για τον καθένα.

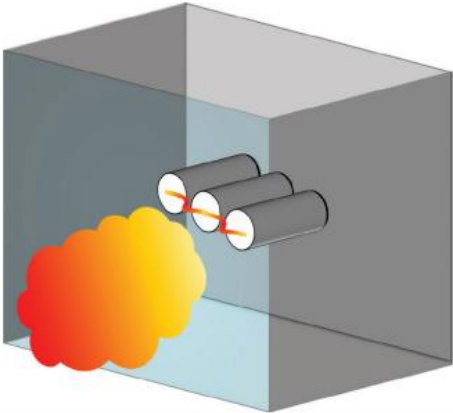
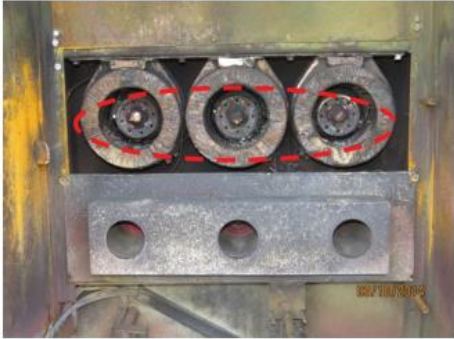
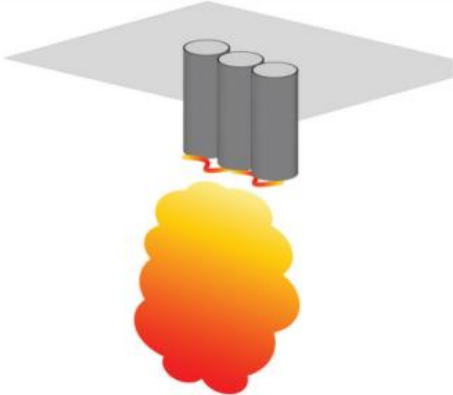

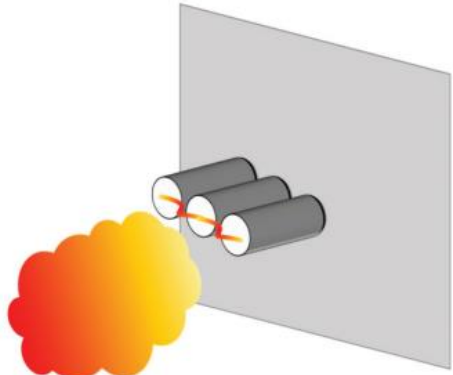

Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται κάποια παραδείγματα των πέντε τύπο διάταξης που θα μας βοηθήσουν στον προσδιορισμό αυτών που θα ελέγξουμε.

Η ονοματολογία είναι η εξής:

- VCB: Vertical Electrodes, Metal “Box” Enclosure  
Κατακόρυφα ηλεκτρόδια με μεταλλικές περιφράξεις
- VCBB: Vertical Electrodes terminated in an insulating barrier, Metal “Box” Enclosure  
Κατακόρυφα ηλεκτρόδια που καταλήγουν σε μονωτικό φραγμό με μεταλλικές περιφράξεις
- HCB: Horizontal Electrodes, Metal “Box” Enclosure  
Οριζόντια ηλεκτρόδια με μεταλλικές περιφράξεις

- VOA: Vertical Electrodes, Open Air  
Κατακόρυφα ηλεκτρόδια ανοιχτά στο περιβάλλοντα χώρο
- HOA: Horizontal Electrodes, Open Air  
Οριζόντια ηλεκτρόδια ανοιχτά στο περιβάλλοντα χώρο

	Electrode configuration in test	Electrode configuration in equipment
VCB		
VCBB		

	Electrode configuration in test	Electrode configuration in equipment
HCB	 <p>A 3D diagram showing three cylindrical electrodes protruding from a grey rectangular enclosure. A large, multi-colored (red to yellow) flame-like shape is positioned at the base of the electrodes, representing the test specimen.</p>	 <p>A photograph of the internal electrode configuration in a piece of equipment. Three circular electrodes are visible, each surrounded by a red dashed line. Below them is a metal plate with three circular holes.</p>
VOA	 <p>A diagram showing three cylindrical electrodes protruding from a grey surface. A large, multi-colored flame-like shape is positioned directly below the electrodes.</p>	 <p>A photograph of a high-voltage electrical switchgear. The electrodes are represented by the top of the insulators and the metal contacts, with red insulators and metal components visible.</p>
HOA	 <p>A diagram showing three cylindrical electrodes protruding from a grey surface. A large, multi-colored flame-like shape is positioned to the left of the electrodes.</p>	 <p>A photograph of a green metal panel with three electrical terminals labeled X1, X2, and X3. Each terminal has a metal contact and a white handle. A label is visible above the terminals.</p>

Έπειτα πρέπει να προσδιορίσουμε για κάθε εξάρτημα την απόσταση εργασίας, κατά την χρήση ή την συντήρηση ή επισκευή, όπου θα βρίσκεται το κεφάλι και στήθος του εργαζομένου από το σημείο που θα πηγάσει ένα ηλεκτρικό τόξο. Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται τυπικές τέτοιες αποστάσεις για διάφορα εξαρτήματα.

Equipment class	Working distance	
	mm	in
15 kV switchgear	914.4	36
15 kV MCC	914.4	36
5 kV switchgear	914.4	36
5 kV MCC	914.4	36
Low-voltage switchgear	609.6	24
Shallow low-voltage MCCs and panelboards	457.2	18
Deep low-voltage MCCs and panelboards	457.2	18
Cable junction box	457.2	18

Η ένταση του ηλεκτρικού τόξου που θα υπολογίσουμε με το μοντέλο εξαρτάται από το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης που έχει υπολογιστεί από τη μελέτη βραχυκυκλώματος, το μεσοδιάστημα ηλεκτροδίων, τη διάταξη περιφράξεων ηλεκτροδίων και την τάση του συστήματος. Σημειώνεται ότι η ένταση του ηλεκτρικού τόξου είναι μικρότερη αυτής του βραχυκυκλώματος λόγω της σύνθετης αντίστασης του ηλεκτρικού τόξου.

Ένα βασικό στοιχείο για τους μετέπειτα υπολογισμούς είναι η χρονική διάρκεια του ηλεκτρικού τόξου. Η διάρκεια αυτή ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζονται οι διακόπτες να σταματήσουν την προσφορά ρεύματος ή ενέργειας στο ηλεκτρικό τόξο. Έτσι η διάρκεια του τόξου είναι εν γένει εξαρτημένη από το χρόνο ανταπόκρισης του προστατευτικού μηχανισμού (ασφάλεια τήξης).



### Εύρος εφαρμογής μοντέλου

Το εμπειρικό μοντέλο που θα παρουσιαστεί μπορεί να εφαρμοστεί για τα παρακάτω εύρη τιμών διαφόρων παραμέτρων.

- Τριφασικές τάσεις 208 V – 15.000 V
- Συχνότητα συστήματος 50 Hz – 60 Hz
- Κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης 500 A – 106.000 A για 208 V - 600 V και 200 A – 65.000 A για 601 V – 15.000 V
- Μεσοδιάστημα ηλεκτροδίων 6.35 mm - 76.2 mm για 208 V - 600 V και 19.05 mm - 254 mm για 601 V - 15000 V
- Απόσταση κεφαλιού και στήθους εργατικού δυναμικού μεγαλύτερη ή ίση των 305 mm
- Κανένα όριο στο χρόνο του βραχυκυκλώματος

Περιφράξεις με μπροστινό άνοιγμα για τις οποίες έγιναν δοκιμές

- Για 600 V 508 mm × 508 mm × 508 mm
- Για 2.700 V 660.4 mm × 660.4 mm × 660.4 mm
- Για 14.300 V 914.4 mm × 914.4 mm × 914.4 mm

Όρια περιφράξεων ηλεκτροδίων

- Μέγιστο ύψος ή πλάτος: 1244.6 mm
- Μέγιστη περιοχή λειτουργίας: 1.549 m<sup>2</sup>
- Ελάχιστο πλάτος τουλάχιστον 4 φορές μεγαλύτερο από την απόσταση των ηλεκτροδίων

Σημειώνεται ότι η δημιουργία ηλεκτρικού τόξου είναι δυνατή αλλά λιγότερο πιθανή σε τριφασικά συστήματα που λειτουργούν σε ονομαστική τάση 240 V και κάτω με κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης μικρότερο των 2.000 A.

## Εφαρμογή του μοντέλου

Το μοντέλο υπολογίζει τις τελικές τιμές έντασης ηλεκτρικού τόξου, ενέργειας συμβάντος και συνόρου του ηλεκτρικού τόξου. Τα αποτελέσματα διορθώνονται με διορθωτικούς συντελεστές για το μέγεθος των περιφράξεων, κουτιών των ηλεκτροδίων και τη διακύμανση της έντασης του ηλεκτρικού τόξου.

- Αρχικά διακρίνουμε την διάταξη ηλεκτροδίων του εξοπλισμού που ελέγχουμε όπως φαίνεται στο παράρτημα Α.
- Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ένταση τόξου  $I_{arc}$ .
- Έπειτα αποφασίζουμε την διάρκεια του τόξου όπου θα ελέγξουμε την επικινδυνότητα του φαινομένου.
- Υπολογίζουμε τον συντελεστή διόρθωση για το μέγεθος των περιφράξεων CF.
- Υπολογίζουμε την ενέργεια συμβάντος E.
- Υπολογίζουμε το σύνορο του ηλεκτρικού τόξου AFB.
- Υπολογίζουμε τον συντελεστή διόρθωσης για τη διακύμανση έντασης τόξου  $VarCf$  και τη διορθωμένη ένταση τόξου  $I_{arc,min}$  με την οποία υπολογίζουμε εκ νέου τα από πάνω και επιλέγουμε τα πιο ασφαλή αποτελέσματα.

## **Υπολογισμός έντασης τόξου**

Αρχικά υπολογίζουμε την ένταση τόξου για τάση 600 V με τον τύπο:

$$I_{arc\_600} = 10^{(k_1 + k_2 \lg(I_{bf}) + k_3 \lg(G))} * (k_4 I_{bf}^6 + k_5 I_{bf}^5 + k_6 I_{bf}^4 + k_7 I_{bf}^3 + k_8 I_{bf}^2 + k_9 I_{bf} + k_{10}) \text{ [kA]}$$

Όπου  $I_{bf}$  (kA) το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης, G (mm) το μεσοδιάστημα ηλεκτροδίων και k οι συντελεστές του παρακάτω πίνακα.

	Voc (V)	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10
VCB	600	-0.04287	1.035	-0.083	0	0	-4.783E-09	1.962E-06	-0.000229	0.003141	1.092
	2700	0.0065	1.001	-0.024	1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	0.00005482	-0.00319	0.9729
	14300	0.005795	1.015	-0.011	1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	0.00005482	-0.00319	0.9729
VCBB	600	-0.01743	0.98	-0.05	0	0	-5.767E-09	2.524E-06	-0.00034	0.01187	1.013
	2700	0.002823	0.995	-0.0125	0	-9.204E-11	2.901E-08	-3.262E-06	0.0001569	-0.004003	0.9825
	14300	0.014827	1.01	-0.01	0	-9.204E-11	2.901E-08	-3.262E-06	0.0001569	-0.004003	0.9825
HCB	600	0.054922	0.988	-0.11	0	0	-5.382E-09	2.316E-06	-0.000302	0.0091	0.9725
	2700	0.001011	1.003	-0.0249	0	0	4.859E-10	-1.814E-07	-9.128E-06	-0.0007	0.9881
	14300	0.008693	0.999	-0.02	0	-5.043E-11	2.233E-08	-3.046E-06	0.000116	-0.00115	0.9839
VOA	600	0.043785	1.04	-0.18	0	0	-4.783E-09	1.962E-06	-0.000229	0.003141	1.092
	2700	-0.02395	1.006	-0.0188	1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	0.00005482	-0.00319	0.9729
	14300	0.005371	1.0102	-0.029	1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	0.00005482	-0.00319	0.9729
HOA	600	0.111147	1.008	-0.24	0	0	-3.895E-09	1.641E-06	-0.000197	0.002615	1.1
	2700	0.000435	1.006	-0.038	0	0	7.859E-10	-1.914E-07	-9.128E-06	-0.0007	0.9981
	14300	0.000904	0.999	-0.02	0	0	7.859E-10	-1.914E-07	-9.128E-06	-0.0007	0.9981

Έπειτα υπολογίζουμε τη διόρθωση της έντασης τόξου λόγω της διακύμανση της με τους τύπους:

$$I_{arc\ min} = I_{arc\ Voc} * (1 - 0,5 * VarCf) [kA]$$

$$VarCf = k1 Voc^6 + k2 Voc^5 + k3 Voc^4 + k4 Voc^3 + k5 Voc^2 + k6 Voc + k7$$

Όπου VarCf είναι ο συντελεστής διόρθωσης για τη διακύμανση έντασης τόξου, Voc (kV) η τάση που ελέγχουμε και k οι συντελεστές του παρακάτω πίνακα:

	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
VCB	0	-1.143E-06	8.314E-05	-0.0019382	0.022366	-0.12645	0.30226
VCBB	1.138E-06	-6.029E-05	0.0012758	-0.013778	0.080217	-0.24066	0.33524
HCB	0	-3.097E-06	0.0001641	-0.0033609	0.033308	-0.16182	0.34627
VOA	9.561E-07	-5.154E-05	0.0011161	-0.01242	0.075125	-0.23584	0.33696
HOA	0	-3.156E-06	0.0001682	-0.0034607	0.034124	-0.1599	0.34629

Τελικά υπολογίζουμε την ένταση τόξου για την τάση που ελέγχουμε μέσω του τύπου:

$$I_{arc} = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{0.6}{V_{oc}}\right]^2 \times \left[ \frac{1}{I_{arc\_600}^2} - \left( \frac{0.6^2 - V_{oc}^2}{0.6^2 \times I_{bf}^2} \right) \right]}} [kA]$$

Όπου I<sub>bf</sub> (kA) το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης και , Voc (kV) η τάση που ελέγχουμε.

Υπολογισμός του συντελεστή διόρθωσης για το μέγεθος των περιφράξεων

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου οι περιφράξεις με μπροστινό άνοιγμα, δηλαδή VCB, VCBB, HCB, για τις οποίες έγιναν δοκιμές είχαν μεγέθη 508 mm × 508 mm × 508 mm, οπότε για διαφορετικό μέγεθος πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις.

Σημειώνεται ότι  $CF = 1$  για διατάξεις VOA and HOA.

Οι διαστάσεις που μας ενδιαφέρουν είναι το ύψος και το πλάτος. Σύμφωνα με το βάθος θα χαρακτηρίζουμε την περίφραξη ως τυπική ή ρηχή. Ρηχή είναι αν το σύστημα έχει τάση μικρότερη των 600 V, το ύψος και πλάτος είναι μικρότερα των 508 mm και το βάθος είναι μικρότερο ή ίσο των 203,2 mm.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα αντίστοιχα ύψη και πλάτη ως εξής:

Σημειώνεται ότι αν ύψη και πλάτη είναι μεγαλύτερα των 1244,6 mm τότε στα πλαίσια του οδηγού λαμβάνονται ως ίσα με την τιμή αυτή.

Για τιμή μικρότερη ή ίση των 660,4 mm:

$$\text{Ύψος}' = \text{Ύψος} * 0,03937$$

$$\text{Πλάτος}' = \text{Πλάτος} * 0,03937$$

Σημειώνεται ότι τα αντίστοιχα ύψη και πλάτη για τυπική περίφραξη παίρνονται ως 20 mm αν είναι μικρότερα μέσω του τύπου.

Για τιμή μεγαλύτερη των 660,4 mm:

$$\text{Ύψος}' = ( 660.4 + (\text{Ύψος} - 660.4) * (\text{Voc} + A) / B ) / 25,4$$

$$\text{Πλάτος}' = ( 660.4 + (\text{Πλάτος} - 660.4) * (\text{Voc} + A) / B ) / 25,4$$

Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση του Ύψος' για VCB που υπολογίζεται ως

$$\text{Ύψος}' = \text{Ύψος} * 0,03937 \text{ με μέγιστη τιμή } 49 \text{ mm}$$

Όπου A, B σταθερές με τις τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

	A	B
VCB	4	20
VCBB	10	24
HCB	10	22

Έπειτα υπολογίζουμε το αντίστοιχο μέγεθος περιφράξεων:

$$EES = (\text{Ύψος}' + \text{Πλάτος}') / 2$$

Τέλος υπολογίζουμε τον συντελεστή διόρθωσης για το μέγεθος των περιφράξεων:

Για τυπικό:  $CF = b1 * EES^2 + b2 * EES + b3$

Για ρηχό:  $CF = (b1 * EES^2 + b2 * EES + b3)^{-1}$

Όπου β οι συντελεστές των παρακάτω πινάκων.

Τυπικό	b1	b2	b3
VCB	-0.000302	0.03441	0.4325
VCBB	-0.0002976	0.032	0.479
HCB	-0.0001923	0.01935	0.6899

Ρηχό	b1	b2	b3
VCB	0.002222	-0.02556	0.6222
VCBB	-0.002778	0.1194	-0.2778
HCB	-0.0005556	0.03722	0.4778

### Υπολογισμός ενέργειας συμβάντος

Γίνεται από τον τύπο: [J/cm<sup>2</sup>]

$$E_{\leq 600} = \frac{12.552}{50} T \times 10^{\left( k1 + k2 \lg G + \frac{k3 I_{arc\ 600}}{k4 I_{bf}^7 + k5 I_{bf}^6 + k6 I_{bf}^5 + k7 I_{bf}^4 + k8 I_{bf}^3 + k9 I_{bf}^2 + k10 I_{bf}} + k11 \lg I_{bf} + k12 \lg D + k13 \lg I_{arc} + \lg \frac{1}{CF} \right)}$$

Όπου T (ms) η διάρκεια του τόξου, I<sub>bf</sub> (kA) το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης, G (mm) το μεσοδιάστημα ηλεκτροδίων, D (mm) η απόσταση εργασίας, CF ο συντελεστής διόρθωσης για το μέγεθος των περιφράξεων, κουτιών των ηλεκτροδίων και k οι συντελεστές του παρακάτω πίνακα.

600	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13
VCB	0.753364	0.57	1.752636	0	0	-4.783E-09	1.962E-06	-0.000229	0.003141	1.092	0	1.598	0.957
VCBB	3.068E+00	0.26	0.098107	0	0	-5.767E-09	2.524E-06	-0.00034	0.01187	1.013	-0.06	1.809	1.19
HCB	4.073745	0.34	0.370259	0	0	-5.382E-09	2.316E-06	-0.000302	0.0091	0.9725	0	-2.03	1.036
VOA	6.793E-01	0.75	1.222636	0	0	-4.783E-09	1.962E-06	-0.000229	0.003141	1.092	0	1.598	0.997
HOA	3.470417	0.47	0.261863	0	0	-3.895E-09	1.641E-06	-0.000197	0.002615	1.1	0	-1.99	1.04

Η ενέργεια του συμβάντος μπορεί να μετατραπεί σε cal/cm<sup>2</sup> πολλαπλασιάζοντας με το 0.239.

## Υπολογισμός συνόρου του ηλεκτρικού τόξου

Γίνεται από τον τύπο: [mm]

$$AFB_{\leq 600} = 10^{\left( \frac{k1+k2 \lg G + \frac{k3 I_{arc, 600}}{k4 I_{bf}^7 + k5 I_{bf}^6 + k6 I_{bf}^5 + k7 I_{bf}^4 + k8 I_{bf}^3 + k9 I_{bf}^2 + k10 I_{bf}} + k11 \lg I_{bf} + k13 \lg I_{arc} + \lg \left( \frac{1}{CF} \right) - \lg \left( \frac{20}{T} \right)}{-k12} \right)}$$

Όπου T (ms) η διάρκεια του τόξου, I<sub>bf</sub> (kA) το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης, G (mm) το μεσοδιάστημα ηλεκτροδίων, CF ο συντελεστής διόρθωσης για το μέγεθος των περιφράξεων, κουτιών των ηλεκτροδίων και k οι συντελεστές του παραπάνω πίνακα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ης μεθόδου για τα ρεύματα βραχυκύκλωσης που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για περιφράξεις διαστάσεων 508 × 508 × 508 διάταξης VCB.

VCB	Voc (V)	Voc (kV)	Ibf (kA)	G (mm)	D (mm)	Iarc 600 (kA)	Iarc (kA)	T (ms)	EES (mm)	CF τυπ	E (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (mm)	VarCf (kW)	Iarc,min (kA)	Tmin (ms)	E (cal/cm <sup>2</sup> )	AFBmin (mm)
M1	440	0.44	7.404057667	32	609.6	5.954838105	5.215645955	900	19.99996	0.9998991	7.0968	1853.88	0.25079005	4.56	1200	8.3237	2048.42
M2	440	0.44	4.823091527	32	609.6	3.816293228	3.319918772	900	19.99996	0.9998991	4.4086	1376.24	0.25079005	2.90	1200	5.1707	1520.65
M3	440	0.44	2.643983398	32	609.6	2.042373826	1.759986056	900	19.99996	0.9998991	2.2612	906.23	0.25079005	1.54	1200	2.6521	1001.32
M4	440	0.44	0.1521282	32	609.6	0.105730467	0.087976509	900	19.99996	0.9998991	0.0982	127.26	0.25079005	0.08	1200	0.1151	140.61
M5	440	0.44	0.278361044	32	609.6	0.197667603	0.165524343	900	19.99996	0.9998991	0.1899	192.30	0.25079005	0.14	1200	0.2227	212.48
M6	440	0.44	1.648918786	32	609.6	1.250369358	1.070108575	900	19.99996	0.9998991	1.3408	653.42	0.25079005	0.94	1200	1.5725	721.99
M7	440	0.44	5.406624724	32	609.6	4.297312013	3.745274046	900	19.99996	0.9998991	5.0055	1490.05	0.25079005	3.28	1200	5.8708	1646.41
M8	440	0.44	1.163300103	32	609.6	0.870452938	0.741443224	900	19.99996	0.9998991	0.9123	513.52	0.25079005	0.65	1200	1.0700	567.41
M9	440	0.44	0.160263108	32	609.6	0.11159012	0.092901629	900	19.99996	0.9998991	0.1039	131.86	0.25079005	0.08	1200	0.1219	145.70
M10	440	0.44	0.306385998	32	609.6	0.218317005	0.183007675	900	19.99996	0.9998991	0.2109	205.35	0.25079005	0.16	1200	0.2473	226.90
Scrubber	440	0.44	7.919464072	32	609.6	6.384289484	5.597392458	900	20.00	0.9999	7.6460	1942.403	0.25079005	4.90	1200	8.9678	2146.23
MAN 6L16/24	440	0.44	29.67644406	32	609.6	23.41268992	20.34319773	300	19.99996	0.9998991	10.0749	2308.399	0.25079005	17.79	400	11.8166	2550.63
mtu 12V1600 DS600	440	0.44	24.73037005	32	609.6	19.88293913	17.41224217	300	19.99996	0.9998991	8.5124	2077.35	0.25079005	15.23	400	9.9840	2295.34
mtu 4R0113 DS125	440	0.44	2.582624502	32	609.6	1.993116793	1.716930373	900	19.99996	0.9998991	2.2031	891.58	0.25079005	1.50	1200	2.5839	985.14



## Παρατηρήσεις

### **Τύποι διάταξης των περιφράξεων των ηλεκτροδίων**

Όσον αφορά τους τύπους διάταξης των περιφράξεων των ηλεκτροδίων επιλέχθηκε ο τύπος VCB, κατακόρυφα ηλεκτρόδια με μεταλλικές περιφράξεις, διότι είναι γενικά αποδεκτό ότι σε τυπικές αποστάσεις εργασίας όπου υπολογίζεται η ενέργεια τόξου παράγει μικρότερες τιμές από τις VCBB, κατακόρυφα ηλεκτρόδια που καταλήγουν σε μονωτικό φραγμό με μεταλλικές περιφράξεις, και HCB, οριζόντια ηλεκτρόδια με μεταλλικές περιφράξεις, με αυτή τη σειρά. Αυτό το γεγονός επιβεβαιώθηκε και στην δική μας εφαρμογή όπως φαίνεται στους πίνακες με τα αποτελέσματα των υπολοίπων τύπων περιφράξεων στο παράρτημα της εργασίας.

Η ένταση του τόξου σε διάταξη VCBB είναι μεγαλύτερη των άλλων δύο διότι η μόνωση που υπάρχει περιορίζει και συγκεντρώνει το πλάσμα δημιουργώντας έτσι μικρότερη σύνθετη αντίσταση και μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού τόξου. Έπειτα παρατηρείτε ότι η ένταση σε HCB είναι μικρότερη από ότι με VCB.

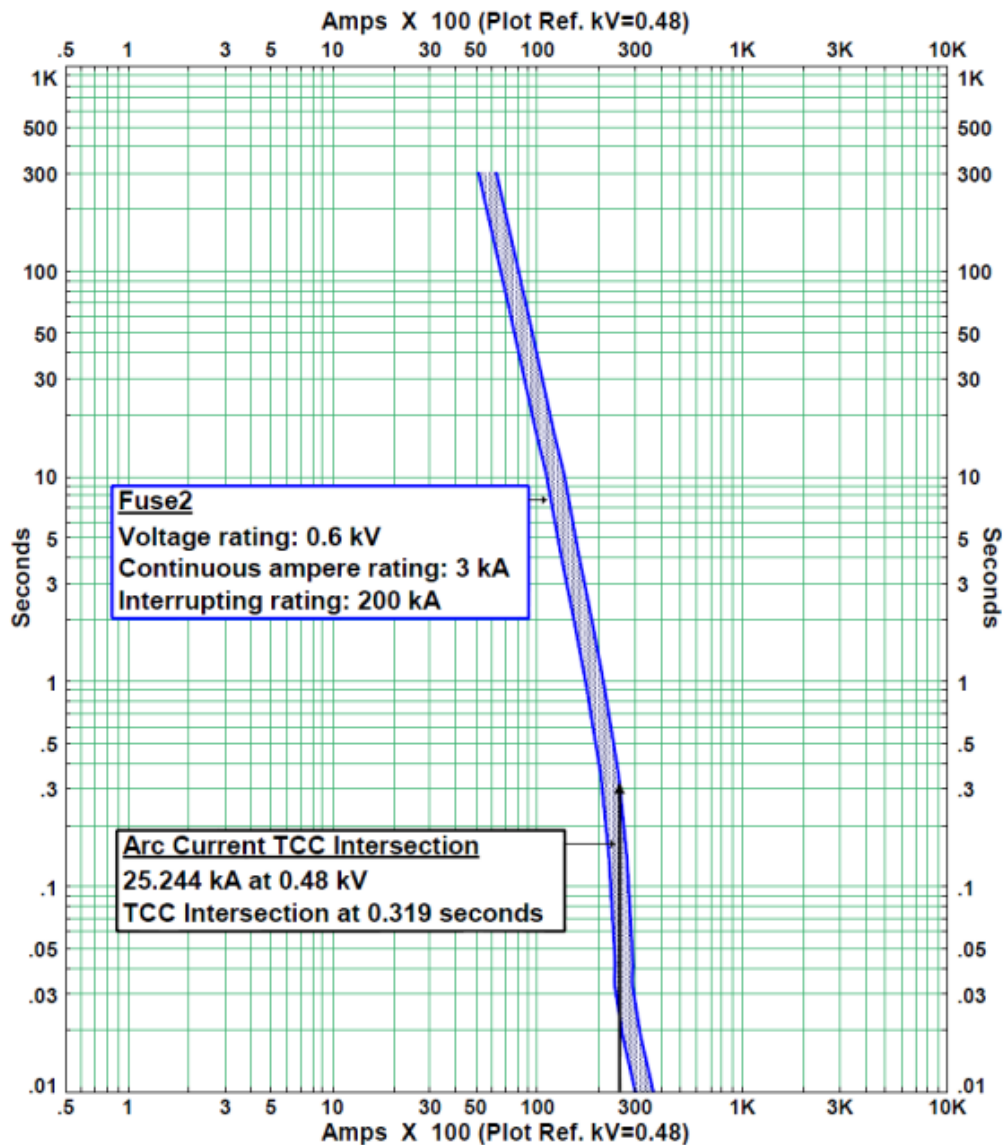
Η εικόνα αλλάζει ξανά όταν συγκριθούν τα σύνορα του ηλεκτρικού τόξου. Γενικά η ενέργεια του τόξου μειώνεται με την απόσταση έως ότου φτάσει τις  $1,2 \text{ cal/cm}^2$  όπου υπολογίζεται το σύνορο. Όμως σύμφωνα με τον τύπο διάταξης των περιφράξεων των ηλεκτροδίων αλλάζει ο ρυθμός μείωσης της ενέργειας. Έτσι παρατηρείται ότι το σύνορο του τόξου είναι μέγιστο σε διάταξη VCB και ελάχιστο σε HCB, δηλαδή η αντίστροφη σειρά από την ενέργεια στην απόσταση εργασίας.

Οι ανοιχτοί τύποι VOA, κατακόρυφα ηλεκτρόδια ανοιχτά στο περιβάλλοντα χώρο, και HOA, οριζόντια ηλεκτρόδια ανοιχτά στο περιβάλλοντα χώρο, δεν παρατηρούνται σε συστήματα χαμηλής τάσης όπως ένα πλοίο και γι' αυτό δεν μελετήθηκαν.

### **Διάρκεια ηλεκτρικού τόξου**

Κοιτώντας την εξίσωση υπολογισμού της ενέργειας ηλεκτρικού τόξου βλέπουμε ότι έχει γραμμική εξάρτηση από την διάρκειά του. Αυτό σημαίνει ότι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους να μειωθεί η ενέργεια ενός ατυχήματος είναι η μείωση της διάρκειας του ηλεκτρικού τόξου.

Η διάρκεια του ηλεκτρικού τόξου λαμβάνεται από τα διαγράμματα χρόνου – έντασης ρεύματος των διακοπών ασφαλείας που συνήθως παρέχουν οι κατασκευαστές. Ένα παράδειγμα τέτοιου είναι το παρακάτω.



Όμως οι περισσότεροι κατασκευαστές δημιουργούν αυτά τα διαγράμματα με συντηρητικές ανοχές καθυστέρησης διακοπής του ρεύματος από τους διακόπτες, που σημαίνει ότι συνήθως οι διακόπτες λειτουργούν γρηγορότερα.

Στο πλαίσιο της εργασίας πάρθηκαν αρκετά συντηρητικές τιμές στη διάρκεια του ηλεκτρικού τόξου για να φανεί η διάσταση μίας χειρίστης κατάστασης επικινδυνότητας.

Αρχικά παρατηρείται ότι η ένταση τόξου είναι μικρότερη από το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης λόγω του ότι το ηλεκτρικό τόξο παρέχει σημαντική σύνθετη αντίσταση. Αυτό σημαίνει ότι τυπικά ένα ηλεκτρικό τόξο μπορεί να διαρκέσει περισσότερο από ένα βραχυκύκλωμα κρουστικού ρεύματος, διότι οι διακόπτες δεν θα λειτουργήσουν ακαριαία λόγω του μικρότερου ρεύματος.

Βλέποντας ένα διακόπτη ασφαλείας για τις ηλεκτρογεννήτριες της εταιρείας legrand για παράδειγμα, αναφέρει ότι η διάρκεια μια μη ακαριαίας διακοπής μπορεί να είναι 100-400 ms, ενώ η ακαριαία λιγότερο από 10 ms.

Επίσης στην μειωμένη τιμή έντασης ηλεκτρικού τόξου έγινε μικρή αύξηση της διάρκειας του τόξου λόγω της μείωσης της έντασης.



#### MCB - DX<sup>3</sup> - 36 KA - 3P 400 V~ - 80 A - C CURVE

Pack (number of units)	1
Volume (dm <sup>3</sup> )	1,04
Weight (g)	704,00

#### Product characteristics

- 3-pole - 400 V~
- C curve
- Nominal rating In : 80 A
- Number of modules : 4.5

#### General characteristics

- MCBs DX<sup>3</sup> - 36 kA - thermal magnetic MCBs from 10 A to 80 A - C curve
- Breaking capacity:
- 36 kA - IEC 60947-2 - 400 V~
- Can be equipped with DX<sup>3</sup> auxiliaries and accessories

Tripping time: 100 to 400 ms

## Εξοπλισμός Προσωπικής Προστασίας (PPE)

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα έχει υπολογιστεί το σύνορο του ηλεκτρικού τόξου όπου η ενέργεια του συμβάντος είναι  $5,0 \text{ J/cm}^2 = 1,2 \text{ cal/cm}^2$ , δηλαδή ενέργεια που αντιστοιχεί σε εγκαύματα δευτέρου βαθμού που δεν είναι μόνιμη ζημία. Έτσι στις αποστάσεις αυτές από τον εκάστοτε εξοπλισμό πρέπει να τοποθετηθούν σημάνσεις επικινδυνότητας.

 <b>WARNING</b>	
<b>Arc Flash and Shock Risk</b>	
<b>Appropriate PPE Required</b>	
<b>45 in</b>	Arc Flash Boundary
<b>5.4 cal/cm<sup>2</sup></b>	Incident Energy at <b>18 in</b>
<b>PPE</b>	Arc-rated shirt & pants + arc-rated coverall + arc-rated arc flash suit
<b>480 VAC</b>	Shock Risk when cover is removed
<b>00</b>	Glove Class
<b>42 in</b>	Limited Approach
<b>12 in</b>	Restricted Approach
<b>12 cal/cm<sup>2</sup></b>	Minimum Arc Rating

Όταν κάποιος εργαζόμενος χρειάζεται να πλησιάσει πιο κοντά στον εξοπλισμό λόγω κάποιας εργασίας συντήρησης κτλ. Πρέπει να χρησιμοποιεί τον κατάλληλο εξοπλισμό προσωπικής προστασίας. Αυτός επιλέγεται για το κάθε σημείο υπολογισμού της ενέργειας συμβάντος που υπολογίστηκε παραπάνω.

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο για ηλεκτρική ασφάλεια στον εργασιακό χώρο NFPA 70E η επικινδυνότητα του ηλεκτρικού τόξου χωρίζεται σε κατηγορίες όπως φαίνεται στον πίνακα.

Hazard/risk classification

Category	Energy level
0	$<2 \text{ cal/cm}^2$
1	$5 \text{ cal/cm}^2$
2	$8 \text{ cal/cm}^2$
3	$25 \text{ cal/cm}^2$
4	$40 \text{ cal/cm}^2$

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος ενός ηλεκτρικού τόξου είναι το έγκαυμα λόγω της εκκένωσης ενέργειας. Η θερμότητα που εκπέμπεται φτάνει θερμοκρασίες της τάξης των 19.500 °C, που είναι τέσσερις φορές η θερμοκρασία στην επιφάνεια του ήλιου. Όταν η ενέργεια αυτή είναι υψηλότερη των 2 cal/cm<sup>2</sup> ο απλός ρουχισμός μπορεί να αναφλεγεί κι έτσι να εντείνει τα εγκαύματα που δημιουργεί το ηλεκτρικό τόξο από μόνο του. Για αυτόν τον λόγο σε περιοχές επικινδυνότητας κρίνεται απαραίτητη η χρήση πυρίμαχου εξοπλισμού (FR). Ο εξοπλισμός αυτός συνήθως δημιουργείται εμποτίζοντας το ύφασμα με πυρίμαχα χημικά. Κατά αυτόν τον τρόπο ο εξοπλισμός παρέχει αντίσταση σε φλόγες, αυτοκατάσβεση και μόνωση από θερμική ακτινοβολία.

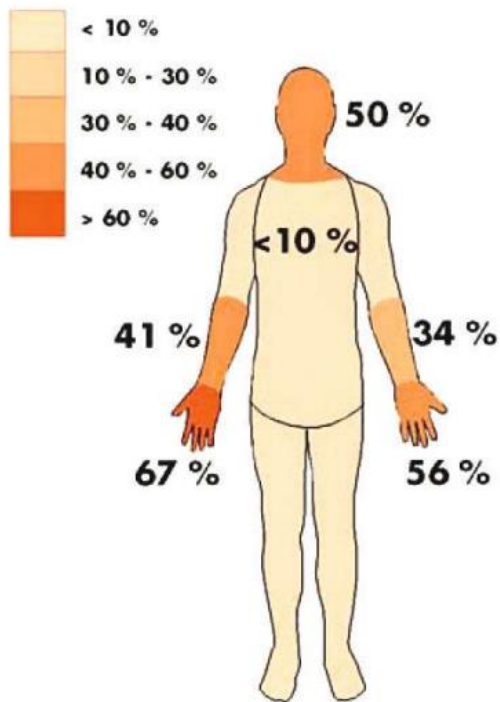
Εκτός αυτού η λάμψη που εκπέμπεται στην αρχή του φαινομένου μπορεί να προκαλέσει παροδική ή και μόνιμη απώλεια όρασης ή καταρράκτη ακόμα και σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη θερμική επικινδυνότητα. Εκτός αυτού το κύμα πίεσης αέρα που εκπέμπει η έκρηξη μπορεί να παρασύρει αντικείμενα ή τηγμένα μέταλλα σε εργαζόμενους, αλλά και τους ίδιους πάνω σε άλλο εξοπλισμό, στο έδαφος ή και κάτω από σκάλα που μπορεί να οδηγήσουν σε σωματικούς τραυματισμούς όπως κατάγματα. Επίσης το κύμα αυτό μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα ακοής. Πέρα από τήξη κάποιων μετάλλων που μπορεί να κάψουν τους εργαζόμενους, μπορεί να υπάρξει και εξάτμιση λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Η εισπνοή μεταλλικών αερίων μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα. Τέλος έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις ατόμων που επέζησαν ηλεκτρικό τόξο με απώλεια μνήμης, δυσκολία συγκέντρωσης ή και κατάθλιψη.



Μελέτες έχουν δείξει την κατανομή σε εγκαύματα από ηλεκτρικό τόξο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Όπως φαίνεται τα χέρια και το κεφάλι είναι οι πιο επικίνδυνες περιοχές και γι' αυτό η προστασία τους είναι καίριας σημασίας.

Τα χέρια αποτελούν μία από τις κυριότερες περιοχές επικινδυνότητας λόγω του ότι συνήθως είναι το πλησιέστερο μέρος του σώματος στο σημείο δημιουργίας του ηλεκτρικού τόξου.

## Distribution of thermal injuries



Σύμφωνα με το πρότυπο όταν κάποιος εργαζόμενος πλησιάσει σε απόσταση ενέργειας συμβάνος 1,2 έως 12 cal/cm<sup>2</sup> πρέπει να είναι εξοπλισμένος με τα εξής:

- Πανωφόρι με μακριά μανίκια, παντελόνι ή ολόσωμη στολή με βαθμό ηλεκτρικού τόξου ίσο ή μεγαλύτερο με αυτό της περιοχής
- Ασπίδα προσώπου, μάσκα ή κουκούλα
- Γάντια
- Κράνος
- Γυαλιά προστασίας
- Προστατευτικό εξοπλισμό αυτιών
- Δερμάτινες μπότες

PPE CATEGORY 1	PPE CATEGORY 2
<p>Minimum Arc Rating of <b>4 cal/cm<sup>2</sup></b></p> <p><b>Arc Rated Clothing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AR long-sleeve shirt and pants, or AR coverall</li> <li>• AR face shield, or AR flash suit hood</li> <li>• AR jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (as needed)</li> </ul>  <p><b>Protective Equipment:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hard hat</li> <li>• Safety glasses or safety goggles</li> <li>• Hearing protection (with inserts)</li> <li>• Heavy-duty leather gloves</li> <li>• Leather footwear (as needed)</li> </ul>	<p>Minimum Arc Rating of <b>8 cal/cm<sup>2</sup></b></p> <p><b>Arc Rated Clothing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AR long-sleeve shirt and pants, or AR coverall</li> <li>• AR flash suit hood, or AR face shield and AR balaclava</li> <li>• AR jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (as needed)</li> </ul>  <p><b>Protective Equipment:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hard hat</li> <li>• Safety glasses or safety goggles</li> <li>• Hearing protection (with inserts)</li> <li>• Heavy-duty leather gloves</li> <li>• Leather footwear</li> </ul>
PPE CATEGORY 3	PPE CATEGORY 4
<p>Minimum Arc Rating of <b>25 cal/cm<sup>2</sup></b></p> <p><b>Arc Rated Clothing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• As required: AR long-sleeve shirt, AR pants, AR coverall, AR flash suit jacket, and/or AR flash suit pants</li> <li>• AR flash suit hood</li> <li>• AR gloves</li> <li>• AR jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (as needed)</li> </ul>  <p><b>Protective Equipment:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hard hat</li> <li>• Safety glasses or safety goggles</li> <li>• Hearing protection (with inserts)</li> <li>• Leather footwear (as needed)</li> </ul>	<p>Minimum Arc Rating of <b>40 cal/cm<sup>2</sup></b></p> <p><b>Arc Rated Clothing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• As required: AR long-sleeve shirt, AR pants, AR coverall, AR flash suit jacket, and/or AR flash suit pants</li> <li>• AR flash suit hood</li> <li>• AR gloves</li> <li>• AR jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (as needed)</li> </ul>  <p><b>Protective Equipment:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hard hat</li> <li>• Safety glasses or safety goggles</li> <li>• Hearing protection (with inserts)</li> <li>• Leather footwear (as needed)</li> </ul>

Hazard Risk Category	Clothing Description (Number of clothing layers is given in parentheses)	Required Minimum Arc Rating of PPE (cal/cm <sup>2</sup> )
0	Non-melting, flammable materials (i.e. untreated cotton, wool, rayon, or silk, or blends of these materials) with a fabric weight of at least 4.5 oz/yd <sup>2</sup> (1)	N/A
1	FR shirt and FR pants or FR coverall (1)	4
2	Cotton underwear – conventional short sleeve and brief/shorts, plus FR shirt and FR pants (1 or 2)	8
3	Cotton underwear plus FR shirt and FR pants plus FR coverall, or cotton underwear plus two FR coveralls (2 or 3)	25
4	Cotton underwear plus FR shirt and FR pants plus multilayer flash suit (3 or more)	40

Έτσι συγκεντρώνοντας τα στοιχεία που μας χρειάζονται καταλήγουμε στις εξής κατηγορίες εξοπλισμού προσωπικής προστασίας για την εκάστοτε θέση υπολογισμών.

	E (cal/cm <sup>2</sup> )	AFBmin (mm)	Κατηγορία PPE
M1	8.3237	2048.42	3
M2	5.1707	1520.65	2
M3	2.6521	1001.32	1
M4	0.1151	140.61	0
M5	0.2227	212.48	0
M6	1.5725	721.99	0
M7	5.8708	1646.41	2
M8	1.0700	567.41	0
M9	0.1219	145.70	0
M10	0.2473	226.90	0
Scrubber	8.9678	2146.23	3
MAN 6L16/24	11.8166	2550.63	3
mtu 12V1600 DS600	9.9840	2295.34	3
mtu 4R0113 DS125	2.5839	985.14	1





Τέλος αναφέρεται ότι η βασική ιδιαιτερότητα των πλοίων ως εργασιακό περιβάλλον με κίνδυνο ηλεκτρικού τόξου είναι η έλλειψη χώρου. Συνήθως για ευκολία χρήσης και ελέγχου τα ηλεκτρικά πάνελ βρίσκονται μέσα στο δωμάτιο ελέγχου της μηχανής. Αυτό σημαίνει ότι είναι πολύ πιθανό εργαζόμενοι να βρίσκονται σε περιοχές όπου αν δημιουργηθεί ηλεκτρικό τόξο, αυτό να έχει μεγάλη ενέργεια κι έτσι επικινδυνότητα. Εκτός αυτού αν συμβεί ένα ατύχημα η χρήση του χώρου μπορεί να είναι πολύ δύσκολη για αρκετό χρονικό διάστημα.

## Συμπεράσματα

Η προσθήκη πλυντρίδας δέσμευσης οξειδίων του θείου αυξάνει σημαντικά τις ανάγκες του πλοίου σε ηλεκτρική ισχύ. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να επιλεγούν ηλεκτρογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος για να καλύψουν τις ανάγκες.

Στον θέμα της ασφάλειας απέναντι σε ηλεκτρικό τόξο η προσθήκη του scrubber αποτελεί από μόνη της την μεγαλύτερη επικινδυνότητα στους κινητήρες του πλοίου. Όμως εκτός αυτού οδηγεί έμμεσα στην μεγάλη αύξηση της επικινδυνότητας στις γεννήτριες όπου η επιλογή των μεγαλύτερων γεννητριών οδηγεί σε αύξηση της κατηγορίας κινδύνου του ηλεκτρικού τόξου. Αυτό οδηγεί επίσης σε αναγκαίο επιπλέον εξοπλισμό προσωπικής προστασίας όταν το προσωπικό πλησιάζει την περιοχή των γεννητριών σε απόσταση μικρότερη των 3 μέτρων.

Με τη συνεχή αύξηση των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία αυξάνεται και επικινδυνότητα λόγω ηλεκτρικού τόξου. Αυτό καθιστά αναγκαίο τον υπολογισμό του κινδύνου ηλεκτρικού τόξου και την επιλογή και χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού προστασίας των εργαζομένων από αυτό.

Κοιτώντας μπροστά θα ήταν χρήσιμο να γίνει περαιτέρω έρευνα σε συγκεκριμένες ηλεκτρολογικές διατάξεις πλοίων ώστε να βρεθούν τακτικές που μπορεί να μειωθεί η επικινδυνότητα από ένα ατύχημα ηλεκτρικού τόξου. Για παράδειγμα επιλεκτική σύνδεση ζωνών (Zone-Selective Interlocking), χρήση διακόπτη συντήρησης με χαμηλότερο ρεύμα διακοπής.

Επίσης μπορούν να ερευνηθούν συγκεκριμένα υπαρκτά αυτόματα συστήματα ανίχνευσης ηλεκτρικού τόξου που μειώνουν τη διάρκειά του κι έτσι την επικινδυνότητα για τους εργαζόμενους αλλά και τη ζημιά του εξοπλισμού, όπως ανιχνευτές φωτός ή αισθητήρες πίεσης.

## Βιβλιογραφία

- Prousalidis J., Spathis D., Papaspilitopoulos V., Georgiou V., Kourmpelis T., Kanellos F.: “Facing safety challenges towards smart ships and ports”
- IEEE 1584, “Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations”, 2018
- IEC 61363: “Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units. Part 1 Procedures for calculating short – circuit currents in three-phase a.c.”, 1998
- IEEE 45 “Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard”, 2002
- IEEE “Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard - Safety Considerations”, 2014
- NFPA 70E, “Standard for Electrical Safety in the Workplace”, 2018
- MEPC.340(77) “Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems”, 2021
- Ι.Π. Ιωαννίδης, “Μέθοδος για την Κατάστροφη Θερμικού Ισολογισμού Ναυτικών Προωπηρίων Εγκαταστάσεων Ατμού”, ΕΜΠ, 1998
- Χ. Α. Φραγκόπουλος, Ι. Μ. Προυσαλίδης, “Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Τεύχος Α΄, Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις”, ΕΜΠ, 2005
- Ι. Προυσαλίδης, “Ηλεκτροτεχνικές Εφαρμογές σε Πλοία και Πλωτές Κατασκευές”, Εκδόσεις Συμμετρία, 2012
- Α. Μ. Κοτρίλκα, “Ναυτιλία και περιβάλλον”, Κάλλιπος, 2015
- Μάλλης Ε. “Διερεύνηση Θεμάτων Κάλυψης Ενεργειακών Αναγκών Συστημάτων Περιορισμού Αέριων Ρύπων Μηχανών Πλοίου”, 2019
- Θίμο Α. “Πλήρης ηλεκτρολογική μελέτη ενός πλοίου μεταφοράς φορτίου χύδην, ενός δεξαμενόπλοιου και ενός γενικευμένου τύπου πλοίου”, 2013
- ABS “Advisory on Exhaust Gas Scrubber Systems”, 2018
- Lloyd’s Register “Understanding exhaust gas treatment systems”, 2012

- Lloyd’s Register “Your options for emissions compliance”, 2015
- EGCSA “A practical guide to exhaust gas cleaning systems for the maritime industry”, 2012
- Alfa Laval “Staying ahead in SOx compliance”
- Lee, R., “The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Flash Burns” 1982
- Lippert K., Colaberardino D., Kimblin C.: “Understanding Arc Flash Hazards”, 2004
- Shipp D., Wood D.: “Mitigating Arc-Flash Exposure”, 2011
- Hoagland E.: “Arc flash PPE research update”, 2012
- Land H. B., Gammon T.: “Addressing Arc Flash Problems in Low Voltage Switchboards A Case Study in Arc Fault Protection”, 2013
- Gammon T., Lee W., Johnson B.: “Arc flash hazards, incident energy, PPE ratings and thermal burn injury - A deeper look”, 2015
- Reeves A., Freyenberger M., Hodder M.: “Understanding the Effect of Electrode Configuration on Incident Energy and Arc-Flash Boundary”, 2020
- Ayers W., Herinckx T.: “Arc Flash in Marine Installations”, 2022

**Παράρτημα Α: Αποτελέσματα arc-flash study για διαφορετικούς τύπους διάταξης των περιφράξεων των ηλεκτροδίων**

VCBB	Voc (V)	Voc (kV)	Ibf (kA)	G (mm)	D (mm)	Iarc 600 (kA)	Iarc (kA)	T (ms)	EES (mm)	CF τυπ	E (J/cm <sup>2</sup> )	E (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (mm)	VarCf (kW)	Iarc,mi n (kA)	Tmin (ms)	Emin (J/cm <sup>2</sup> )	E (cal/cm <sup>2</sup> )	AFBmi n (mm)
M1	440	0.44	7.404057667	32	609.6	6.224742506	5.563136225	900	19.99996	0.9999592	34.220	8.1785	1761.16	0.24375278	4.89	1200	39.0882	9.3421	1895.54
M2	440	0.44	4.823091527	32	609.6	4.011879603	3.567262204	900	19.99996	0.9999592	20.660	4.9378	1332.48	0.24375278	3.13	1200	23.5997	5.6403	1434.15
M3	440	0.44	2.643983398	32	609.6	2.182800889	1.934113714	900	19.99996	0.9999592	10.316	2.4655	907.66	0.24375278	1.70	1200	11.7836	2.8163	976.91
M4	440	0.44	0.1521282	32	609.6	0.129495774	0.116444893	900	19.99996	0.9999592	0.428	0.1022	156.22	0.24375278	0.10	1200	0.4885	0.1168	168.14
M5	440	0.44	0.278361044	32	609.6	0.234444069	0.2097088	900	19.99996	0.9999592	0.833	0.1990	225.77	0.24375278	0.18	1200	0.9510	0.2273	242.99
M6	440	0.44	1.648918786	32	609.6	1.360511334	1.205185817	900	19.99996	0.9999592	6.034	1.4422	674.81	0.24375278	1.06	1200	6.8926	1.6473	726.30
M7	440	0.44	5.406624724	32	609.6	4.508164267	4.013126555	900	19.99996	0.9999592	23.616	5.6442	1434.69	0.24375278	3.52	1200	26.9757	6.4472	1544.16
M8	440	0.44	1.163300103	32	609.6	0.961578756	0.852511986	900	19.99996	0.9999592	4.076	0.9742	543.25	0.24375278	0.75	1200	4.6559	1.1128	584.70

M9	440	0.44	0.160263108	32	609.6	0.136291228	0.122497103	900	19.99996	0.9999592	0.453	0.1082	161.26	0.24375278	0.11	1200	0.5174	0.1237	173.56
M10	440	0.44	0.306385998	32	609.6	0.25763583	0.230274678	900	19.99996	0.9999592	0.926	0.2212	239.38	0.24375278	0.20	1200	1.0572	0.2527	257.65
Scrubb er	440	0.44	7.919464072	32	609.6	6.671543595	5.968324173	900	20.00	1.0000	37.065	8.8584	1840.647	0.24375278	5.24	1200	42.3378	10.1187	1981.10
MAN 6L16/2 4	440	0.44	29.67644406	32	609.6	25.253443	22.70473442	300	19.99996	0.9999592	56.223	13.4372	2317.393	0.24375278	19.94	400	64.2216	15.3490	2494.22
mtu 12V160 0 DS600	440	0.44	24.73037005	32	609.6	21.25834496	19.21179622	300	19.99996	0.9999592	46.565	11.1290	2088.11	0.24375278	16.87	400	53.1898	12.7124	2247.44
mtu 4R0113 DS125	440	0.44	2.582624502	32	609.6	2.131871991	1.888876074	900	19.99996	0.9999592	10.043	2.4002	894.29	0.24375278	1.66	1200	11.4715	2.7417	962.53

HCB	Voc (V)	Voc (kV)	Ibf (kA)	G (mm)	D (mm)	Iarc 600 (kA)	Iarc (kA)	T (ms)	EES (mm)	CF τυπ	E (J/cm <sup>2</sup> )	E (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (mm)	VarCf (kW)	Iarc,min (kA)	Tmin (ms)	Emin (J/cm <sup>2</sup> )	E (cal/cm <sup>2</sup> )	AFBmin (mm)
M1	440	0.44	7.404057667	32	609.6	5.738462744	4.951354889	900	19.99996	0.999979534	53.880	12.8774	1962.27	0.28123743	4.26	1200	61.4024	14.6752	2092.74
M2	440	0.44	4.823091527	32	609.6	3.70373455	3.184534437	900	19.99996	0.999979534	33.994	8.1246	1563.95	0.28123743	2.74	1200	38.7402	9.2589	1667.95
M3	440	0.44	2.643983398	32	609.6	2.01441176	1.726970158	900	19.99996	0.999979534	17.949	4.2898	1141.80	0.28123743	1.48	1200	20.4548	4.8887	1217.72
M4	440	0.44	0.1521282	32	609.6	0.117458106	0.101199794	900	19.99996	0.999979534	0.928	0.2219	265.41	0.28123743	0.09	1200	1.0579	0.2528	283.06
M5	440	0.44	0.278361044	32	609.6	0.213617884	0.183627169	900	19.99996	0.999979534	1.729	0.4133	360.60	0.28123743	0.16	1200	1.9708	0.4710	384.57
M6	440	0.44	1.648918786	32	609.6	1.253519328	1.073785351	900	19.99996	0.999979534	10.930	2.6123	894.29	0.28123743	0.92	1200	12.4562	2.9770	953.75
M7	440	0.44	5.406624724	32	609.6	4.16098617	3.580647421	900	19.99996	0.999979534	38.419	9.1820	1661.11	0.28123743	3.08	1200	43.7821	10.4639	1771.56
M8	440	0.44	1.163300103	32	609.6	0.884446399	0.757661903	900	19.99996	0.999979534	7.595	1.8153	747.48	0.28123743	0.65	1200	8.6556	2.0687	797.18
M9	440	0.44	0.160263108	32	609.6	0.123671039	0.106530479	900	19.99996	0.999979534	0.979	0.2341	272.51	0.28123743	0.09	1200	1.1162	0.2668	290.63
M10	440	0.44	0.306385998	32	609.6	0.234914339	0.201866247	900	19.99996	0.999979534	1.909	0.4563	378.59	0.28123743	0.17	1200	2.1756	0.5200	403.77

Scrubber	440	0.44	7.919464072	32	609.6	6.148001665	5.308073427	900	20.00	1.0000	57.937	13.8470	2033.706	0.28123743	4.56	1200	66.0255	15.7801	2168.93
MAN 6L16/24	440	0.44	29.67644406	32	609.6	22.81259893	19.6222668	300	19.99996	0.999979534	75.595	18.0672	2318.473	0.28123743	16.86	400	86.1484	20.5895	2472.64
mtu 12V1600 DS600	440	0.44	24.73037005	32	609.6	19.29042104	16.68592871	300	19.99996	0.999979534	63.820	15.2529	2132.93	0.28123743	14.34	400	72.7295	17.3823	2274.76
mtu 4R0113 DS125	440	0.44	2.582624502	32	609.6	1.967298717	1.686465218	900	19.99996	0.999979534	17.510	4.1848	1127.95	0.28123743	1.45	1200	19.9543	4.7691	1202.95



## Παράρτημα Β – Arc-flash calculation υπαρκτού πλοίου 91.800 DWT bulk carrier

### ARC FLASH CALCULATION FOR THE NEW DISTRIBUTION BOXES ACCORDING TO IEEE STANDARD 1584, NFPA 70E

System voltage (kV)	0,45 kV
Frequency (Hz)	60 Hz
Bolted fault current (symmetrical RMS kA)	24 kA
Gap between electrodes (mm)	25 mm
Equipment enclosure type	Panel
Neutral Grounding type	Grounded
Phases	3 Phase

#### 1. ESTIMATE OF ARCING CURRENT

For low voltage systems (<1 kV), the arc current is given by the following equation

$$I_a = 10\{K + 0.662 \log(I_{bf}) + 0.0966V + 0.000526G + 0.5588V * \log(I_{bf}) - 0.00304G * \log(I_{bf})\}$$

where

log is the log<sub>10</sub>

$I_a$  = arcing current (kA)

$K$  = -0,097 for box configuration

$I_{bf}$  = bolted fault current for three-phase faults (symmetrical RMS) (kA)

$V$  = system voltage (kV)

$G$  = gap between conductors (mm)

**$I_a = 11,15$  kA**

## 2. ESTIMATE OF NORMALIZED INCIDENT ENERGY

The normalized incident energy, based on 0,2 second arc duration and 610 mm distance from the arc, is given by the following equation:

$$E_n = 10\{K_1 + K_2 + 1.081 \cdot \log(I_a) + 0.0011G\}$$

where

$E_n$  = incident energy normalized for time and distance (J /cm<sup>2</sup>)

$K_1$  = -0.555 for box configuration

$K_2$  = -0.113 for grounded systems

$G$  = gap between conductors (mm)

$$E_n = 4.59 \text{ J/cm}^2 \text{ (1.10 cal/ cm}^2\text{)}$$

## 3. ESTIMATE OF INCIDENT ENERGY

The normalized incident energy is used to obtain the incident energy at a normal surface at a given distance and arcing time with the following equation:

$$E = 4.184 C_f E_n (t/0.2) (610/D)^x$$

where

$E$  = incident energy (J / cm<sup>2</sup>)

$C_f$  = calculation factor, 1.5 (for voltage < 1kV)

$t$  = arcing time (seconds), taken as 0,030 sec

$D$  = working distance from arc (mm), taken as 450 mm

$x$  = the distance factor 1.641 (for voltages 0.208 to 1 kV and Panel Type)

$$E = 9.62 \text{ J/cm}^2 \text{ (2.3 cal/ cm}^2\text{)}$$

#### 4. FLASH PROTECTION BOUNDARY

The flash protection boundary is the distance at which a person without personal protective

equipment (PPE) may get a second-degree burn that is curable.

$$DB = 610 * [4.184 Cf En (t/0.2) (1/EB)]^{1/x}$$

where

DB = distance of the boundary from the arcing point (mm)

Cf = calculation factor, 1.5 (for voltage < 1kV)

En = incident energy normalized

EB = incident energy at the boundary distance (J/cm<sup>2</sup>); EB can be set at 5.0 J/cm<sup>2</sup>

(1.2 Cal/cm<sup>2</sup>) for bare skin

t = arcing time (seconds), taken as 0,030 sec

x = the distance factor 1.641 (for voltages 0.208 to 1 kV and Panel Type)

**DB = 321 mm**