



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Διερεύνηση της Ηλεκτρικής Διασύνδεσης Πλοίων στα  
Λιμάνια του Λαυρίου και της Καβάλας**

Ελευθέριος-Φίλιππος Κωνσταντινίδης

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης

Αθήνα, 2021

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για τη βοήθεια, την ενθάρρυνση και τις συμβουλές του κατά την προετοιμασία της διατριβής μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Ι.Μ. Προυσαλίδη.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στο Λιμενικό του Λαυρίου και της Καβάλας, για την συνεισφορά τους και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου πρόσφεραν.

Τέλος, στην οικογένειά μου για την υπομονή και την πλήρη υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν έναν από τους συνηθέστερους τρόπους μεταφοράς εμπορευμάτων και ανθρώπων. Πρόκειται για ανθρώπινη, οικονομική και πολιτισμική δραστηριότητα που μετρά χιλιάδες χρόνια ιστορίας κι έχει συμβάλει αποφασιστικά στη διαμόρφωση αυτού που ονομάζεται ανθρώπινος πολιτισμός. Η ταχύτατη και παγκόσμια ανάπτυξη της, δε θα μπορούσε να μην έχει και μειονεκτήματα. Η ναυτιλία αποτελεί σήμερα έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα που βλάπτει το περιβάλλον. Για τον λόγο αυτόν εδώ και μερικές δεκαετίες οι θαλάσσιες μεταφορές εντάχθηκαν σε μία σειρά νομοθεσιών, κανονισμών, περιορισμών και οδηγιών, στόχος των οποίων είναι ο όσο το δυνατόν μεγαλύτερος περιορισμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της.

Η ναυτιλία υπόκειται μια σειρά περιορισμών, γιατί η συνεισφορά της στις εκπομπές ρύπων είναι σημαντική, συμβάλλοντας έτσι στο πολύ σοβαρό θέμα της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, επηρεάζει σημαντικά και τις περιοχές πλησίον των λιμανιών. Στη ναυτιλία οφείλεται περίπου το 4,5% των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα προβλέπεται αύξηση των ρύπων κατά 75%. Η απειλή για την δημόσια υγεία λόγω της σωματιδιακής ρύπανσης από τα πλοία, δεν έγκειται μόνο στο γεγονός ότι τι 70% των θαλασσιών μεταφορών πραγματοποιείται σε απόσταση έως 350 χιλιομέτρων από τις ακτές αλλά και στο γεγονός ότι κατά μέσο όρο ένα πλοίο βρίσκεται ελλιμενισμένο 100 μέρες ανά έτος.

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της συνεισφοράς του Cold Ironing, δηλαδή την ηλεκτροδότηση των ελλιμενισμένων πλοίων από τη στεριά, για τη μετάβαση στην Πράσινη Ναυτιλία. Το Cold Ironing τον τελευταίο καιρό λαμβάνει όλο και μεγαλύτερη προσοχή και προωθείται ως πρωταρχική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών ρύπων που παράγονται από την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία στα λιμάνια. Παρόλο που πολλές διαφορετικές στρατηγικές εφαρμόζονται στα σύγχρονα παγκόσμια λιμάνια, η τακτική της ηλεκτροδότησης των πλοίων κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού προσελκύει ιδιαίτερη προσοχή, τόσο σε οικονομικό όσο και σε επιστημονικό επίπεδο.

Έτσι, κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής εργασίας, μελετάται η δυνατότητα υλοποίησης μιας εγκατάστασης χερσαίας τροφοδοσίας (Cold Ironing) στα λιμάνια του Λαυρίου και της Καβάλας. Το ενδιαφέρον για τα δύο αυτά λιμάνια προκύπτει, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από την ανάγκη ρύθμισης και μείωσης των εκπομπών ρύπων από τα ελλιμενισμένα πλοία. Αρχικά, αξιολογούνται οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων που αγκυροβολούν στα συγκεκριμένα λιμάνια. Με βάση τις απαιτήσεις αυτές, γίνεται μία αναλυτική σχεδιαστική προσέγγιση για διάφορα σενάρια εγκατάστασης της υποδομής του Cold Ironing. Τα σενάρια αυτά αφορούν τις διάφορες δυνατές διαστάσεις του κύριου εξοπλισμού και τον λεπτομερή προγραμματισμό των εγκαταστάσεων της ακτής και κρίνονται ως προς την οικονομική βιωσιμότητά τους. Σημειώνεται ότι η μεθοδολογία σχεδιασμού που ακολουθείται είναι σύμφωνη με συγκεκριμένα πρότυπα.

## Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο παγκόσμιος στόλος, οι εκπομπές και η επίδραση στο περιβάλλον και την δημόσια υγεία .....	6
1.1 Παγκόσμιος στόλος.....	6
1.2 Λιμένες.....	8
1.3 Επίδραση πλοίων στον ανθρώπινο και στο περιβάλλον.....	9
1.4 Νομοθεσία και διεθνείς κανονισμοί .....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων.....	18
2.1 Γενικές πληροφορίες .....	18
2.2 Κανονισμοί και πρότυπα .....	20
2.3 Διαδικασία διασύνδεσης.....	24
2.4 Υπάρχουσες εφαρμογές .....	32
2.5 Εκτιμώμενο κόστος.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Λιμένας Λαυρίου .....	39
3.1 Γενικές πληροφορίες .....	39
3.2 Μελέτη στατιστικών στοιχείων από την κίνηση των πλοίων στο λιμάνι του Λαυρίου 41	
3.2.1 Τμήμα ακτοπλοΐας.....	42
3.2.2 Εμπορικός τομέας.....	46
3.3 Τεχνικοοικονομική μελέτη του τομέα της ακτοπλοΐας ανάλογα με τις θέσεις υποδοχής που δημιουργηθούν .....	53
3.4 Τεχνικοοικονομική μελέτη του εμπορικού τομέα.....	60
3.5 Τεχνικοοικονομική ανάλυση Λαυρίου .....	61
3.6 Εκπομπές Ρύπων στο Λιμάνι του Λαυρίου.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Λιμένας Καβάλας .....	68
4.1 Γενικές πληροφορίες .....	68

4.2 Επιβατικό λιμάνι «ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ» .....	69
4.2.1 Τομέας ακτοπλοΐας.....	70
4.2.2 Τομέας Κρουαζιέρας.....	72
4.2.3 Τεχνικοοικονομική ανάλυση «ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ».....	75
4.3 Εμπορικός λιμένας «Φίλιππος Β΄».....	77
4.3.1 Μελέτη στατιστικών στοιχείων των πλοίων στο λιμάνι «Φίλιππος Β΄».....	77
4.3.2 Τεχνικοοικονομική ανάλυση «Φίλιππος Β΄» .....	78
4.4 Εκπομπές Ρύπων στο Λιμάνι Φίλιππος Β΄ .....	83
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	88

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Ο παγκόσμιος στόλος, οι εκπομπές και η επίδραση στο περιβάλλον και την δημόσια υγεία

#### 1.1 Παγκόσμιος στόλος

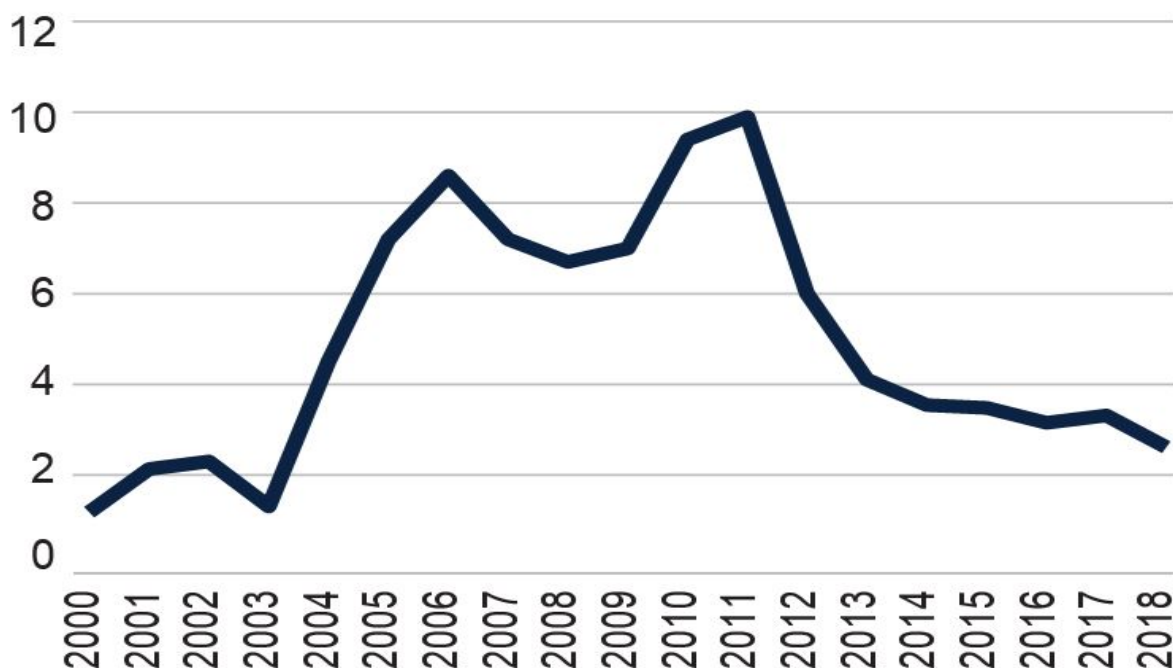
Σύμφωνα με τα στοιχεία του Clarksons Research, στις αρχές του 2019, ο συνολικός παγκόσμιος στόλος ανήλθε σε 95.402 πλοία, με τον αριθμό αυτό να αντιστοιχεί σε πλοία με μεταφορική ικανότητα άνω των 500GT και με συνολική μεταφορική ικανότητα 1,97 δισεκατομμύρια τόνους νεκρού βάρους (DWT). Τα Bulk carriers και τα Oil tankers διατήρησαν το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς σκαφών στον κόσμο ως προς την χωρητικότητα, με 42,6% και 28,7% αντίστοιχα. Η ικανότητα μεταφοράς αυξήθηκε κατά 2,6%, σε σύγκριση με τις αρχές του 2018. Το ποσοστό ανάπτυξης παραμένει μειωμένο από το 2011, εκτός από μία ελαφριά αύξηση το 2017.

Πίνακας 1.1

Παγκόσμιος στόλος ανά κατηγορία (χιλιάδες DWT)		
Κατηγορία πλοίου	2018	2019
Oil tankers	562.035	567.533
Bulk carriers	818.921	842.438
Container ships	73.951	74.000
Gas carriers	253.275	265.668
Chemical tankers	64.407	69.078
Offshore vessels	78.269	80.453
Ferries and passenger ships	6.922	7.097
Other	23.946	23.929
World total	1.926.183	1.976.491

Πίνακας 1.1 Συνολική χωρητικότητα ανά κατηγορία πλοίου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αύξηση του παγκόσμιου στόλου σε ετήσια βάση για τα έτη 2000 με 2018.



Διάγραμμα 1.1 Ετήσια ανάπτυξη του παγκόσμιου στόλου τη περίοδο 2000-2018 (ποσοστό του DWT)

## Ελληνική ναυτιλία

Από την 1η Ιανουαρίου 2019, οι πέντε πρώτες ναυτιλιακές δυνάμεις ήταν η Ελλάδα, η Ιαπωνία, η Κίνα, η Σιγκαπούρη και το Χονγκ Κονγκ, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 50% της παγκόσμιας χωρητικότητας. Τα στοιχεία για τα τελευταία πέντε χρόνια αποκαλύπτουν ότι η Γερμανία, η Ιαπωνία και η Δημοκρατία της Κορέας έχουν χάσει έδαφος, ενώ η Ελλάδα, η Σιγκαπούρη, η Κίνα και το Χονγκ Κονγκ, έχουν διατηρήσει μια αυξανόμενη τάση ανόδου.

Η συμβολή της ελληνικής ναυτιλίας στη χώρα είναι σημαντική και πολύπλευρη και δεν περιορίζεται στις εισροές στο ισοζύγιο πληρωμών από την παροχή ναυτιλιακών υπηρεσιών. Η συμβολή της ναυτιλίας περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, έμμεσες οικονομικές επενδύσεις, ευκαιρίες απασχόλησης και την προβολή της εικόνας της χώρας σε διεθνές επίπεδο, ως σημαντικού εμπορικού και στρατηγικού εταίρου σημαντικών οικονομικών και πολιτικών δυνάμεων, με το 22,5% και το 20,3% της δραστηριότητας του ελληνικού στόλου να εξυπηρετεί το εμπόριο από/προς τις ΗΠΑ και την Ευρώπη αντίστοιχα και με το μεγαλύτερο μερίδιο της δραστηριότητας του ελληνικού στόλου, δηλαδή το 31,8%, να εξυπηρετεί τις ταχέως αναπτυσσόμενες ασιατικές οικονομίες.

Μολονότι ο πληθυσμός της Ελλάδας αντιπροσωπεύει μόνο το 0,15% του παγκόσμιου πληθυσμού, τα ελληνόκτητα πλοία αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 21% της παγκόσμιας

χωρητικότητας. Ο ελληνικός εμπορικός στόλος είναι ο μεγαλύτερος στόλος στον κόσμο, με 4.936 πλοία (άνω των 1.000 GT) χωρητικότητας 389,69 εκατομμυρίων τόνων (DWT) και παρουσιάζει - σε σχέση με το προηγούμενο έτος - αύξηση περίπου 6,63%. Οι Έλληνες πλοιοκτήτες υπερδιπλασίασαν τη μεταφορική ικανότητα του στόλου τους στο διάστημα 2007-2019. Ο ελληνόκτητος στόλος αντιπροσωπεύει το 53% του στόλου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σε DWT και το 20,9% του παγκόσμιου στόλου σε DWT.

Το ελληνικό νηολόγιο αριθμεί 720 πλοία (άνω των 1.000 GT), των οποίων η χωρητικότητα ανέρχεται σε 39,61 εκατομμύρια GT. Ο στόλος με ελληνική σημαία κατατάσσεται στην 8η θέση διεθνώς και δεύτερος στην ΕΕ (σε όρους DWT) . Οι Έλληνες πλοιοκτήτες ελέγχουν το 31,99% του παγκόσμιου στόλου δεξαμενοπλοίων αργού πετρελαίου, το 23,12% του παγκόσμιου στόλου πλοίων χύδην ξηρού φορτίου και το 15,17% του παγκόσμιου στόλου πλοίων μεταφοράς χημικών και παραγώγων πετρελαίου.

## 1.2 Λιμένες

Λιμένας ορίζεται σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ως «Εμπορική επιχειρήση τοποθετημένη δίπλα σε νερό , το οποίο είναι αρκετά βαθύ ώστε να επιτρέπει την κίνηση πλωτών σκαφών. Σε αυτές τις περιοχές δραστηριοποιούνται λιμενικές επιχειρήσεις οι οποίες αξιοποιούν την λιμενική υποδομή και ανωδομή , καθώς επίσης παρέχονται συμβατικές οδικές και σιδηροδρομικές υποδομές . Η λιμενική αγορά ρυθμίζεται ή διοικείται από κάποια Αρχή».

Οι σύγχρονες εξελίξεις στον χώρο της λιμενικής βιομηχανίας και η διεύθυνση των νέων τεχνολογιών στον τρόπο σύνδεσης των διαφορετικών μέσων μεταφοράς, στην αύξηση του μεγέθους των πλοίων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων αλλά και στον τουρισμό επηρεάζουν τη λειτουργία των λιμανιών και επιβάλλουν την προσαρμογή τους στις νέες απαιτήσεις της λιμενικής βιομηχανίας. Είναι σαφές ότι η υλοποίηση λιμενικών έργων και επενδύσεων είναι χρονοβόρες και απαιτούν μεγάλες δαπάνες.. Οι επενδύσεις αυτές αφορούν τους χώρους φορτοεκφόρτωσης των διαφόρων φορτίων αλλά και τους λιμένες αναψυχής, που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του σύγχρονου τουρισμού. Οι κάθε είδους επενδύσεις στη λιμενική βιομηχανία, μπορούν να ενισχύσουν τις λιμενικές, ναυτιλιακές, και τουριστικές δραστηριότητες που συνδέονται με την θάλασσα και μπορούν να αποτελέσουν πηγή οικονομικής ανάπτυξης της διεθνούς οικονομίας.

Οι ελληνικοί λιμένες μπορούν, και οφείλουν, να αποτελέσουν «οχήματα ανάπτυξης» για τη χώρα, τόσο σε επίπεδο τοπικών οικονομιών, όσο και σε εθνικό επίπεδο. Ιδιαίτερα σε συνθήκες οικονομικής κρίσης και ύφεσης, η αξιοποίηση των δυνατοτήτων των ελληνικών λιμένων είναι κρίσιμη παράμετρος στην αναπτυξιακή διαδικασία και την ενίσχυση της απασχόλησης. Αποτελεί αναγκαιότητα ένα ολοκληρωμένο λιμενικό σύστημα μεταφορών με σκοπό την αειφόρο ανάπτυξη, τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας, και την εδαφική συνοχή της χώρας.

Η παροχή διαφορετικών λιμενικών υπηρεσιών απαιτεί την ανάπτυξη πολλών και πολύπλοκων δραστηριοτήτων, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την ρύπανση και την

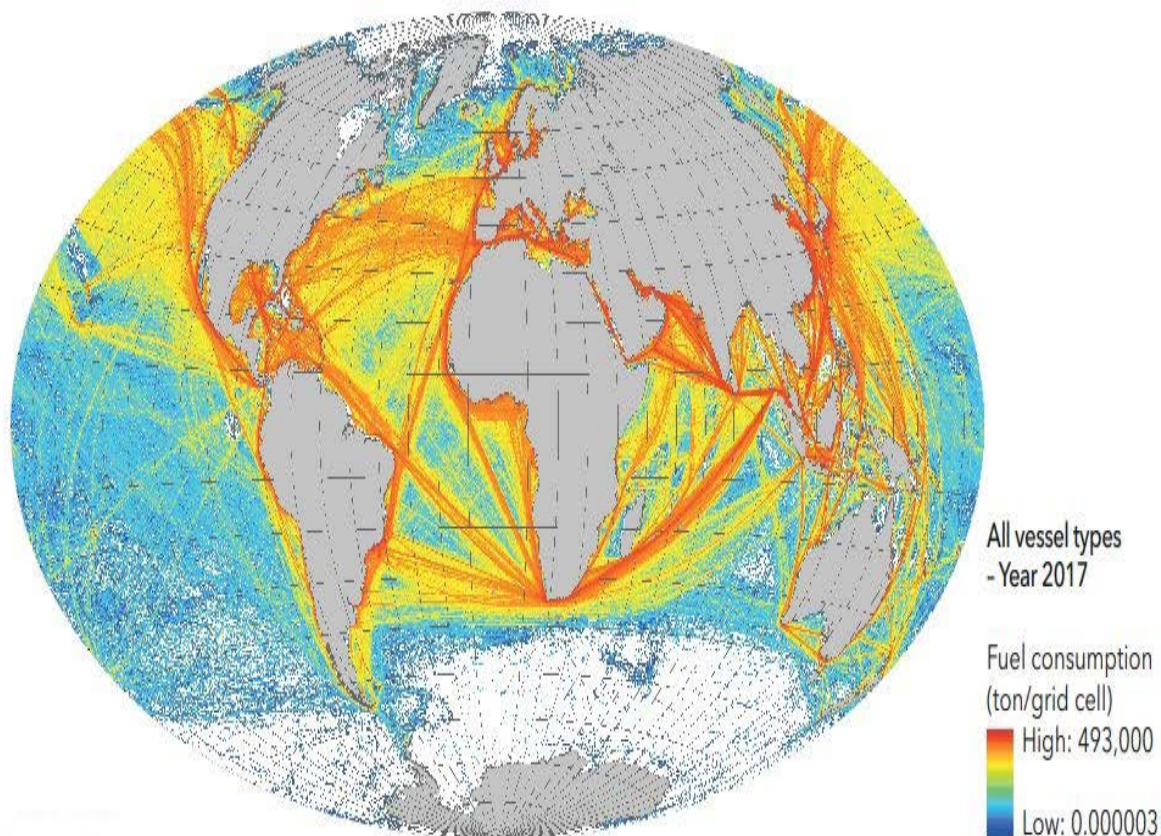


υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος, μέσα και έξω από την λιμενική περιοχή. Χρησιμοποιώντας σαν μέσο διαχωρισμού τον αποδέκτη των ρύπων, η ρύπανση χωρίζεται σε: ατμοσφαιρική ρύπανση, όταν οι ρύποι απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, ρύπανση εδαφών όταν οι ρύποι διοχετεύονται στο έδαφος και σε ρύπανση υδάτων, όταν οι ρύποι εισέρχονται στα ύδατα. Η σημαντικότερη και η πιο συνήθης πηγή δημιουργίας περιβαλλοντικής ρύπανσης στα λιμάνια είναι αυτή των πλοίων.

### 1.3 Επίδραση πλοίων στον ανθρώπινο και στο περιβάλλον

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Λιμένων και Λιμανιών (2010), οι εκπομπές από πλοία προέρχονται από την καύση ναυτικού καυσίμου σε κινητήρες πρόωσης, βοηθητικούς κινητήρες, βοηθητικούς λέβητες. Επομένως, η μείωση των εκπομπών από κινητήρες ντίζελ θαλάσσης είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα γύρω από τις λιμενικές περιοχές, αλλά η ρύθμιση αυτών των κινητήρων επικεντρώνεται κυρίως στα πρότυπα εκπομπών ΝΟx και καυσίμων. Τα πλοία σε κατάσταση διέλευσης, ελιγμών ή σε ελλιμενισμό παρουσιάζουν μοναδικές προκλήσεις κατά τον μετριάσμό των εκπομπών, αλλά αυτή η έρευνα επικεντρώνεται στις εκπομπές πλοίων από τους βοηθητικούς κινητήρες ενώ βρίσκονται στον ελλιμενισμό. Στον αγκυροβόλιο, οι κύριοι κινητήρες του πλοίου είναι κλειστοί, ενώ οι βοηθητικοί κινητήρες λειτουργούν για υπηρεσίες όπως κλιματισμός, μαγείρεμα, φωτισμός δραστηριότητες του πληρώματος και άλλα. Η ηλεκτρική ισχύ ποικίλει από πλοίο σε πλοίο από KW σε MW ανάλογα με τις ανάγκες του, καθώς και άμα εκφορτώνει μόνο του το φορτίο του ή όχι ή σε περίπτωση που το πλοίο καλείται να εγκαταλείψει το λιμάνι σε σύντομο χρονικό διάστημα οπότε οι βοηθητικοί λέβητες παραμένουν σε λειτουργία για να διατηρήσουν τους κύριους κινητήρες και τα συστήματα καυσίμων ζεστά.

Η απειλή για την δημόσια υγεία που προκαλεί η σωματιδιακή ρύπανση από τα πλοία, δεν έγκειται μόνο στο γεγονός ότι τι 70% των θαλασσιών μεταφορών πραγματοποιείται σε απόσταση έως 350 χιλιομέτρων από τις ακτές αλλά και στο γεγονός ότι κατά μέσο όρο το πλοίο βρίσκεται ελλιμενισμένο 100 μέρες ανά έτος. Η ημερήσια κατανάλωση είναι κατά μέσο όρο 5 MT καυσίμου. Η μέση κατανάλωση κάθε πλοίου φτάνει τα 0,55 τόνους ανά ώρα και συγκεκριμένα για κάθε Kwh παραγόμενης ενέργειας από Diesel μηχανή απαιτούνται 200g καυσίμου.

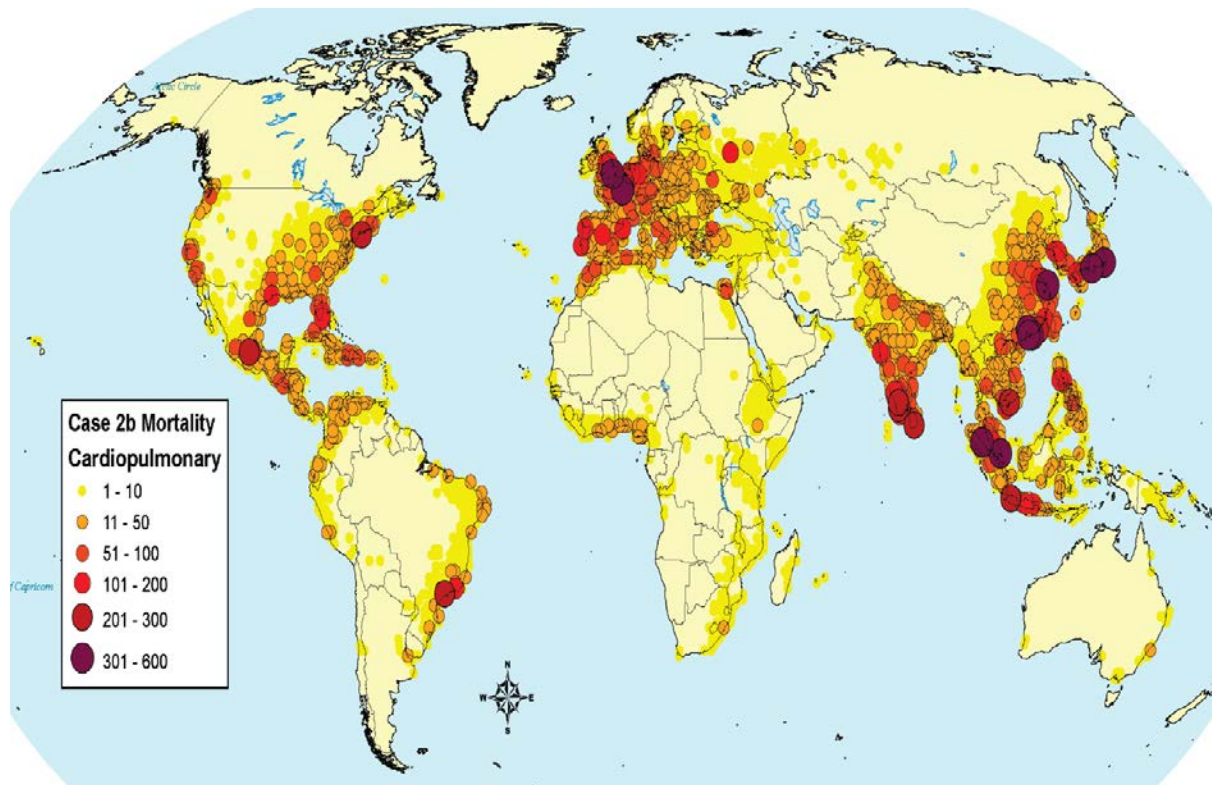


Σχήμα 1.1 Η πυκνότητα των θαλάσσιων μεταφορών με βάση την κατανάλωση καυσίμου το 2017

Τα πιο κύρια βλαβερά στοιχεία που περιέχουν τα καυσαέρια των βοηθητικών μηχανών είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), αιωρούμενα σωματίδια (PM), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) και υδρογονάνθρακες (HC). Κάθε χρόνο, τα πλοία εκπέμπουν περίπου 1,2 - 1,6 Tg PM με αεροδυναμικές διαμέτρους 10μm (PM<sub>10</sub>) ή λιγότερο, 5 - 6,9 Tg NO<sub>x</sub> και 4,7 - 6,5 Tg SO<sub>x</sub>.

Σωματίδια (PM): Τα σωματίδια είναι ένα σύνθετο μείγμα από οργανικές και ανόργανες ενώσεις που προκύπτουν από ατελή καύση, άκαυστες ποσότητες λιπαντικού, υπολείμματα άκαυστων σωματιδίων στα καύσιμα και στα λιπαντικά και ύπαρξη νερού. Μεγαλύτερο ποσοστό από 50% των σωματιδίων εξέρχεται στην ατμόσφαιρα υπό μορφή καπνού. Αρκετές μελέτες έχουν συνδέσει την πρόωγη θνησιμότητα με την έκθεση των πληθυσμών σε PM. Τα μικροσκοπικά στερεά ή υγρά σταγονίδια σε PM διαπερνούν τους ανθρώπινους πνεύμονες προκαλώντας φλεγμονή και επηρεάζουν τη ροή οξυγόνου στο αίμα. Ο καρδιοπνευμονικός και καρκίνος του πνεύμονα, το άσθμα και μια σειρά χρόνιων παθήσεων σχετίζονται στενά με το PM<sub>2.5</sub>. Παρόλο που οι εκπομπές PM δεν έχουν ρυθμιστεί ακόμη, η υπόθεση είναι ότι οι εκπομπές PM μειώνονται μέσω της βελτιωμένης απόδοσης του κινητήρα, της χρήσης

καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και μετά την επεξεργασία με χρήση πλυντηρίων.



Σχήμα 1.2 Παγκόσμιος χάρτης θανάτων λόγω καρδιοπαθειών

**Οξειδία του θείου (SO<sub>x</sub>):** Τα αέρια SO<sub>x</sub>, είναι ανόργανες χημικές ενώσεις. Προκαλούν ερεθισμό διεγείροντας νεύρα στο εσωτερικό της μύτης, στο λαιμό και στους αεραγωγούς των πνευμόνων. Έτσι, προκαλείται βήχας και ένα αίσθημα σφιξίματος στο στήθος ενώ υπάρχει και περίπτωση στένωσης των αεραγωγών. Αυτό το τελευταίο μπορεί να συμβεί σε άτομα που πάσχουν από άσθμα και χρόνιες παθήσεις στους πνεύμονες και των οποίων οι αεραγωγοί έχουν συχνά φλεγμονές και ερεθίζονται εύκολα. Η εκπομπή SO<sub>x</sub> στην ατμόσφαιρα δημιουργεί επίσης αερολύματα που μειώνουν την ορατότητα και συμβάλλουν στο σχηματισμό όξινης βροχής.

**Οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>):** Τα NO<sub>x</sub> παράγονται από το άζωτο και το οξυγόνο κατά την καύση καυσίμου σε κινητήρες εσωτερικής καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Το NO<sub>x</sub> οδηγεί στο σχηματισμό όξινης βροχής, μειώνει την ορατότητα όταν συνδυάζεται με σωματίδια στην ατμόσφαιρα και συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη μέσω του σχηματισμού όζοντος στην τροπόσφαιρα καθώς αντιδρά παρουσία του ηλιακού φωτός. Οι μεγάλες περιόδους έκθεσης στο επίπεδο του εδάφους στο όζον που σχηματίζεται από το NO<sub>x</sub> προκαλούν φλεγμονή του αναπνευστικού συστήματος που οδηγεί σε πνιγμό και μειωμένη ικανότητα των πνευμόνων.

Εκτός από τις εκπομπές αέρα, η λειτουργία των πλοίων ενώ στο λιμάνι οδηγεί περιστασιακά σε ενοχλητικό θόρυβο για τις γύρω κοινότητες. Με την αυξημένη ανάπτυξη και εγκατάσταση γύρω από τα λιμάνια, είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί το επίπεδο θορύβου από τα πλοία ενώ βρίσκονται στον ελλιμενισμό. Σύμφωνα με το (Lloyd's Register, 2010), οι κύριες πηγές θορύβου στα πλοία στο αγκυροβόλιο περιλαμβάνουν:

I. Εξάτμιση γεννήτριας ντίζελ: Αυτή είναι η κυρίαρχη πηγή θορύβου από τα πλοία που βρίσκονται στο αγκυροβόλιο. Η εξάτμιση του κινητήρα ντίζελ βρίσκεται συνήθως στην κορυφή της χοάνης, η οποία βρίσκεται σε ύψη πάνω από το γύρω τοπίο. Αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος μπορεί να εξαπλωθεί σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να απορροφηθεί ή να αντανακλάται από το περιβάλλον εάν οι κινητήρες δεν εξασθενίζουν καλά με σιγαστήρες.

II. Συστήματα εξαερισμού: Ο εξαερισμός για το μηχανοστάσιο, τις αποθήκες φορτίου, το σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, το μαγειρείο και άλλους χώρους πάνω σε ένα πλοίο συμβάλλει στο επίπεδο του θορύβου που προέρχεται από τα πλοία κατά την αγκυροβόλιο.

III. Δευτερέων θόρυβος: Ο θόρυβος από τα πλοία στο αγκυροβόλιο μπορεί επίσης να προέρχεται από δευτερεύουσες πηγές, όπως υδραυλικές αντλίες, εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης φορτίων, βαρούλκα και υφάλους.

## 1.4 Νομοθεσία και διεθνείς κανονισμοί

Το διεθνές περιβαλλοντικό δίκαιο γεννιέται ουσιαστικά μαζί με την περιβαλλοντική πολιτική κατά τη δεκαετία του 1960 όταν αρχίζουν να διατυπώνονται οι πρώτες επιστημονικές ανησυχίες για την κατάσταση του πλανήτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι «περιβαλλοντικά» νομικά και ρυθμιστικά μέτρα είχαν ληφθεί και σε πολύ προγενέστερες εποχές, αφού έχουμε μαρτυρίες από την αρχαία Κίνα, την αρχαία Ελλάδα, τον Μεσαίωνα, και πιο πρόσφατα κατά τις πρώτες δεκαετίες της Βιομηχανικής Επανάστασης. Όμως, το περιβαλλοντικό δίκαιο με την σύγχρονη του μορφή εμφανίζεται ουσιαστικά μετά το μέσο του 20ου αιώνα.

Βασικοί πυλώνες ως προς το περιβαλλοντικό δίκαιο

- Δικαίωμα στη ζωή και σε ένα καθαρό περιβάλλον του κάθε ανθρώπου. Το δικαίωμα του κάθε ανθρώπου σε ένα καθαρό περιβάλλον πηγάζει από το δικαίωμα στη ζωή καθώς θεωρείται ότι το περιβάλλον και η ποιότητα αυτού καθορίζει και τη ζωή του καθενός.
- Δικαίωμα στην ανάπτυξη. Ο κάθε άνθρωπος έχει δικαίωμα στη πρόσβαση σε βασικά αγαθά και υπηρεσίες και να διεκδικήσει ένα καλύτερο βιοτικό επίπεδο για τον ίδιο και την οικογένειά του.
- Αειφόρος Ανάπτυξη. Το τρίπτυχο οικονομίας, κοινωνίας και περιβάλλοντος.
- Το περιβάλλον (η βιοποικιλότητα, οι πόροι, οι λειτουργίες των οικοσυστημάτων) ως παγκόσμια κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας, δεν ανήκει σε κανέναν, αλλά ανήκει σε όλους. Η κατάσταση του περιβάλλοντος ως κοινή ανησυχία.
- Ισότητα μεταξύ γενεών (ο πλανήτης δεν μας ανήκει, τον κληρονομήσαμε από τους προγόνους μας για να τον κληροδοτήσουμε στους απογόνους μας) αλλά και ισότητα



μεταξύ ατόμων και ομάδων της ίδιας γενιάς, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τα δύο πρώτα δικαιώματα στη ζωή, στο καθαρό περιβάλλον αλλά και στην ανάπτυξη.

- Κοινές αλλά διαφοροποιημένες ευθύνες. Αν και το περιβάλλον αποτελεί κοινή ανησυχία όλων, κάποιες χώρες (οι βιομηχανοποιημένες) έχουν μεγαλύτερη ιστορική ευθύνη για την σημερινή κατάσταση του πλανήτη, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες πρέπει να βοηθηθούν έτσι ώστε να μπορέσουν να συμμετάσχουν στην προστασία εξασφαλίζοντας όμως και το δικαίωμα των πολιτών τους στην ανάπτυξη.
- Μη διαφοροποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το περιβάλλον και οι επιπτώσεις από την υποβάθμισή του δε γνωρίζουν πολιτικά/εθνικά σύνορα, δε διαφοροποιούν μεταξύ φτωχών και πλούσιων.
- Αρχή της προφύλαξης. Η μη ύπαρξη ακριβών επιστημονικών δεδομένων και η όποια αβεβαιότητα που μπορεί αυτό να συνεπάγεται δεν αποτελεί δικαιολογία για τη μη λήψη προληπτικών ή κατασταλτικών μέτρων.
- Υποχρέωση μη πρόκλησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σε όλα τα επίπεδα τοπικά και εθνικά, διασυνοριακά και παγκόσμια.
- Υποχρέωση εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η εκ των προτέρων εκτίμηση των επιπτώσεων συμβάλλει στην αποφυγή πιθανών προβλημάτων αλλά και στην εξεύρεση πιο περιβαλλοντικά φιλικών λύσεων. Η αρχή αυτή έχει εφαρμογή τόσο σε επίπεδο έργων όσο και σε επίπεδο πολιτικών.
- Αρχή της πρόληψης. Όταν γνωρίζουμε την πιθανότητα πρόκλησης περιβαλλοντικής υποβάθμισης, πρέπει να λαμβάνονται όλα εκείνα τα προληπτικά μέτρα, τα μέτρα ασφαλείας που είναι απαραίτητα για την αποφυγή της.
- Ο ρυπαίνων πληρώνει. Αν υπάρξει περιβαλλοντική υποβάθμιση και ρύπανση, το κόστος των κατασταλτικών μέτρων αλλά και των μέτρων αποκατάστασης του περιβάλλοντος πρέπει να επωμισθεί ο υπαίτιος. Η πληρωμή μπορεί να έχει πολλές μορφές: απευθείας πληρωμή, επιβολή φορολογίας, εμπορία δικαιωμάτων ρύπων, κοκ.
- Αρχή της επικουρικότητας. Όσο πιο κοντά εστιασμένη είναι η λύση κοντά στην πηγή του προβλήματος, τόσο πιο πολλές οι πιθανότητες αποτελεσματικότητας.
- Συμμετοχή του κοινού έτσι ώστε να διασφαλιστεί το πιο αποδεκτό αποτέλεσμα που θα έχει και την μεγαλύτερη πιθανότητα εφαρμογής.
- Διαφάνεια και Πρόσβαση στην πληροφορία έτσι ώστε να λαμβάνονται οι σωστές αποφάσεις με πλήρη γνώση των δεδομένων.
- Ειρηνική επίλυση διαφορών. Οι περιβαλλοντικές προκλήσεις απαιτούν συνεργασία κι όχι εμπλοκές που δυσχεραίνουν ακόμα περισσότερο την εξεύρεση και εφαρμογή των πλέον ενδεδειγμένων λύσεων.
- Εθνική Κυριαρχία – Κρατική ευθύνη. Το κάθε κράτος είναι κυρίαρχο στην επικράτεια του όμως τόσο τα περιβαλλοντικά προβλήματα όσο και οι λύσεις και τα μέτρα που απαιτούνται επιβάλλουν στο κάθε κράτος να θυσιάσει μέρος της αυτονομίας του και να συνεργαστεί για την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό πρέπει να το πράξει γιατί το κράτος έχει ευθύνη απέναντι στους πολίτες του, στους πόρους που διαθέτει αλλά και στην παγκόσμια κοινότητα στην οποία ανήκει.

Από την δημιουργία του το 1992, η σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή έχει δημιουργήσει σταδιακά μία παγκόσμια πολιτική ενάντια στις κλιματικές μεταβολές και τις επιπτώσεις που έχουν, με την πιο πρόσφατη πολύπλευρη ανταπόκριση που περιγράφεται στη Συμφωνία του Παρισιού το 2015. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την διεθνή ναυτιλία εναπόκεινται επίσης σε παγκόσμιο επίπεδο, αν και δεν καλύπτονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο στη Σύμβαση του 1997. Στο άρθρο 2.2 του πρωτόκολλο ορίζεται ότι τα μέλη θα επιδιώξουν τον περιορισμό ή μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τα καύσιμα των πλοίων μέσω του ΙΜΟ. Ο ΙΜΟ ενέκρινε ψήφισμα σχετικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στα πλοία τον Σεπτέμβριο του 1997 και μια αρχική στρατηγική τον Απρίλιο του 2018 όπου στοχεύει στον καθορισμό στόχων μείωσης εκπομπών σύμφωνα με τη Συμφωνία των Παρισιού. Η συμφωνία των Παρισιού εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2015, τέθηκε σε ισχύ τον Νοέμβριο του 2016 και έχει επικυρωθεί μέχρι σήμερα από 186 κράτη . Σχετικά με τη συμφωνία, τα μέρη δεσμεύονται να μειώσουν τις εκπομπές ταχέως για την επίτευξη του στόχου «Διατηρώντας την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας έως 2 °C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα και συνεχείς προσπάθειες για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στους 1,5 °C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα ». Μια ειδική έκθεση από την επιτροπή του Διακυβερνητικού Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (2018), που εκπονήθηκε από διακεκριμένους επιστήμονες του κλίματος κατόπιν αιτήματος των συμβαλλομένων μερών, προειδοποιεί ότι εφόσον η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι πέρα από 1,5 ° C θα επιδεινώσει σημαντικά τους κινδύνους για ξηρασία, πλημμύρες, ακραία ζέστη και φτώχεια για εκατοντάδες εκατομμύρια άνθρωποι. Επείγουσες και άνευ προηγουμένου αλλαγές απαιτούνται για την επίτευξη του στόχου, ο οποίος σύμφωνα με την έκθεση, είναι προσιτός και εφικτός, αν και βρίσκεται στη πιο φιλόδοξη πτυχή της συμφωνίας για τη διατήρηση θερμοκρασιών μεταξύ 1,5 °C και 2 °C. «Ο περιορισμός της θέρμανσης στους 1,5 °C είναι δυνατός, αλλά το περιθώριο στενεύουν ».

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του ΙΜΟ, το 2012, λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία για 2.2 τοις εκατό του ανθρωπογενούς διοξειδίου του άνθρακα. Οι εκπομπές και οι σχετικές εκπομπές θα μπορούσαν να αυξηθούν κατά 50 και 250 τοις εκατό έως το 2050 (ΙΜΟ, 2014). Αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό, δεδομένου του διεθνούς συμφωνημένου στόχου στη συμφωνία του Παρισιού για τον περιορισμό της παγκόσμιας μέσης αύξησης θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, τα οποία απαιτούν παγκόσμιες εκπομπές τουλάχιστον στο μισό από το επίπεδο του 1990 έως το 2050. Η εφαρμογή τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων για τα πλοία θα μπορούσε να αυξήσει την αποδοτικότητα και να μειώσει τις εκπομπές έως και 75% ακόμα θα μπορούσαν να επιτευχθούν περαιτέρω μειώσεις με την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών (ΙΜΟ, 2009). Τον Απρίλιο του 2018, η 72η σύνοδος της Επιτροπής Περιβάλλοντος (ΜΕΡC) , σε συνεδρίαση που παρακολούθησαν περισσότερα από 100 κράτη μέλη του ΙΜΟ, υιοθέτησε μια αρχική στρατηγική για τη μείωση των ρύπων. Η στρατηγική προβλέπει τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία και σταδιακή κατάργησή τους το συντομότερο δυνατό πριν από το 2100. Αυτό συμπληρώνει τις διεθνείς προσπάθειες για την αντιμετώπιση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων της Συμφωνίας των Παρισιού και της Agenda του 2030 για αειφόρο

ανάπτυξη, για την ανάληψη επείγουσας δράσης καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της. Επιπλέον, η στρατηγική ορίζει κατευθυντήριες αρχές, συμπεριλαμβανομένων των αρχών κατά της διάκρισης, της μη ευνοϊκής μεταχείρισης, της αρχής κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών ανάλογα των δυνατοτήτων που υπάρχουν και των διαφορετικών εθνικών περιστάσεων, όπως κατοχυρώνονται στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος.

Η στρατηγική προσδιορίζει τα υποψήφια βραχυπρόθεσμα, ενδιάμεσα και μακροπρόθεσμα μέτρα σύμφωνα με πιθανά χρονοδιαγράμματα και με τις επιπτώσεις τους στα κράτη, με ιδιαίτερη προσοχή στις ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών, ιδίως τις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες και μικρά νησιωτικά αναπτυσσόμενα κράτη. Προσδιορίζει επίσης υποστηρικτικά μέτρα, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης ικανοτήτων ως προς την τεχνική συνεργασία καθώς και την έρευνα και ανάπτυξη. Σύμφωνα με τον οδικό χάρτη του 2016, μια αναθεωρημένη στρατηγική πρόκειται να εγκριθεί το 2023. Βάσει βραχυπρόθεσμων μέτρων να αναπτυχθεί περαιτέρω και να συμφωνηθεί από τα κράτη μέλη το 2018-2023. Η αρχική στρατηγική περιλαμβάνει τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα ενεργειακής απόδοσης τόσο για τα νέα όσο και για τα υπάρχοντα πλοία, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης και βελτιστοποίησης της ταχύτητας, αλλά και χρήση εναλλακτικών καυσίμων χαμηλού και μηδενικού άνθρακα για τη θαλάσσια πρόωση και άλλες νέες τεχνολογίες. Σύμφωνα με τα μεσοπρόθεσμα μέτρα που θα συμφωνηθούν το 2023-2030, η στρατηγική περιλαμβάνει, ενδεχομένως, καινοτόμους μηχανισμούς μείωσης εκπομπών. Επίσης, περιλαμβάνει μέτρα που βασίζονται στην αγορά, για την παροχή κινήτρων στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα μακροπρόθεσμα μέτρα που πρέπει να ληφθούν μετά το 2030, στοχεύουν σε καύσιμα απελευθερωμένα από άνθρακα με σκοπό την απαλλαγή από τον άνθρακα στον ναυτιλιακό τομέα μετά το 2050. Η στρατηγική σημειώνει ότι «η τεχνολογική καινοτομία και η παγκόσμια εισαγωγή εναλλακτικών καυσίμων ή ακόμα και πηγών ενέργειας για τη διεθνή ναυτιλία θα είναι αναπόσπαστες» για την επίτευξη των στόχων.

Όλα αυτά τα μέτρα πρόκειται να έχουν ωφέλιμο αντίκτυπο στην ποιότητα της ατμόσφαιρας και στην ανθρώπινη υγεία, ειδικά σε κατοικημένες περιοχές κοντά σε λιμάνια όπου η μόλυνση είναι σημαντική. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι οι καινούργιες νομοθεσίες εξαναγκάζουν την ναυτιλιακή βιομηχανία να επενδύει σε νέες τεχνολογίες όχι μόνο για τη μείωση των ρύπων αλλά και για τη διαχείριση των απόβλητων και του θαλάσσιου έρματος.

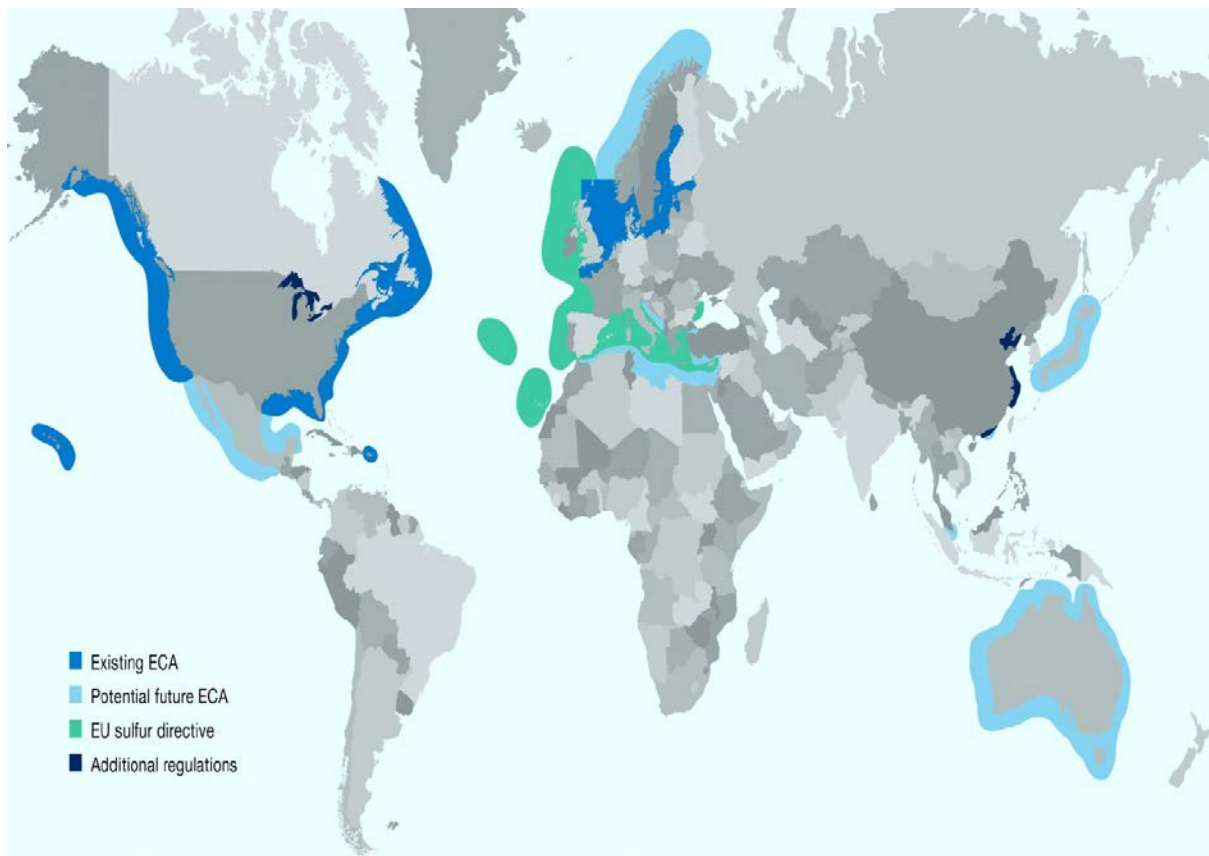
Μέγιστη περιεκτικότητα θείου στα ναυτικά καύσιμα	
IMO	
SECA'S	1.0% από το 2010
	0.1% από το 2015

Εκτός SECA'S	Από 4.5% σε 3.5% το 2012
	0.5% Από το 2020

Πίνακας 1.2 Κανονισμοί του IMO για την περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα

Marpol Annex VI NOx Emission Limits				
Tier	Date	NOx limit, g/kWh		
		n<130	130≤n<2000	n≥2000
Tier I	2000	17	45 n-0.2	9.8
Tier II	2011	14.4	44 n-0.23	7.7
Tier III	2016	3.4	9 n-0.2	1.96

Πίνακας 1.3 Κανονισμοί του παραρτήματος VI της Marpol για τις εκπομπές NOx σε ECA's ανάλογα με τη στροφές της μηχανής



Σχήμα 2.3 Η τωρινή κατάσταση και πιθανές τροποποιήσεις σχετικά με τους κανονισμούς στις παράκτιες περιοχές



Επιπροσθέτως, πέραν των κανονισμών για την αντιμετώπιση του προβλήματος μπορούν να πραγματοποιηθούν επιπλέον ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών ρύπων στην περιοχή του λιμένα. Σαφώς οι συγκεκριμένες ενέργειες περιέχουν τόσο τεχνολογικό όσο και νομοθετικό πλαίσιο και απαιτούν την συνδρομή των πλοιοκτητών καθώς και των λιμένων. Κάποιες από τις προαναφερόμενες ενέργειες σύμφωνα με διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί παρατίθενται παρακάτω:

### Πλοία

- Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης εναλλακτικών καυσίμων
- Χρήση νέων κινητήρων ικανών για κατανάλωση καθαρότερων καυσίμων
- Περιορισμός της ταχύτητας των πλοίων στις θαλάσσιες οδούς γύρω από τις περιοχές των λιμανιών
- Χρήση αιολικής ενέργειας μέσω «γιγάντιων αετών» (Sky Sails) δηλαδή πανιών μεγάλου υψομέτρου που εξοικονομούν έως και 20% καυσίμου
- Ειδικές βαφές γάστρας για τον περιορισμό της ανάπτυξης θαλασσίων οργανισμών και συνεπώς την επίτευξη της αποδοτικότερης δυνατής ροής του νερού γύρω από την γάστρα
- Βελτιωμένες προπέλες
- Βελτιστοποίηση δρομολόγησης σε σχέση με τι καιρικές συνθήκες (Weather routing)
- Μετατροπή πλοίου σε μπαταριόπλοιο

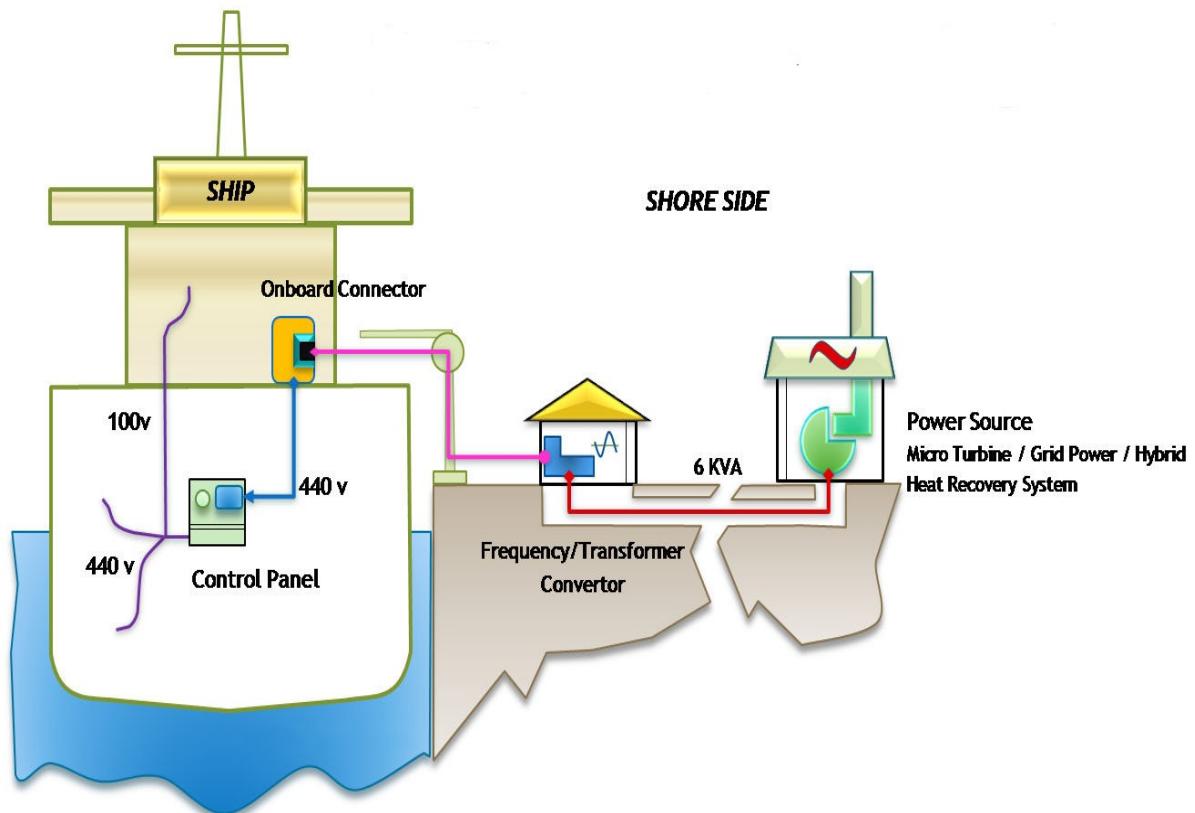
### Λιμένες

- Καθορισμός πρόσθετων περιοχών ελέγχου εκπομπών, οδηγώντας σε αυστηρότερα περιβαλλοντικά πρότυπα εκπομπών ρύπων
- Προτίμηση λιμενικών σκαφών συγκεκριμένων προδιαγραφών
- Ενίσχυση επιθεωρήσεων
- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά σε ελλιμενισμένα πλοία τα οποία δεν χρειάζεται πλέον να κάνουν χρήση των Diesel γεννητριών τους

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων

#### 2.1 Γενικές πληροφορίες



Σχήμα 2.1 Παρουσίαση εγκατάστασης για την τροφοδότηση των ενεργειακών αναγκών πλοίου από την ξηρά

Ο τίτλος Cold Ironing (CI) είναι στην ουσία ταυτόσημος με τους επίσης γνωστούς για την μέθοδο, Alternative Maritime Power (AMP) και Shore-to-Ship power supply. Το Cold Ironing είναι μία από τις προοπτικές που προτείνουν οι διάφορες οργανώσεις για τη μείωση των ρύπων και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον των πλοίων στα λιμάνια. Το CI αντικαθιστά τους βοηθητικούς κινητήρες στο αγκυροβόλιο. Αυτό είναι κατά την εκτέλεση εργασιών, επιθεώρησης επισκευής ή συντήρησης, φορτοεκφόρτωσης για κάποιο χρονικό διάστημα. Όταν αγκυροβολούν, τα πλοία χρειάζονται ηλεκτρικό ρεύμα για δραστηριότητες όπως φόρτωση, εκφόρτωση, θέρμανση, κλιματισμός, φωτισμός και για τα ηλεκτρονικά συστήματα περιλαμβανομένων των συστημάτων ανεφοδιασμού επί του σκάφους. Σήμερα, η ενεργειακή απαίτηση καλύπτεται από τους βοηθητικούς κινητήρες οι οποίοι εκπέμπουν καυσαέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οξειδία του θείου (SOX), οξειδία του αζώτου (NOX), αιωρούμενα σωματίδια (PM), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) και υδρογονάνθρακες (HC) που επηρεάζουν την ποιότητα του τοπικού αέρα και τελικά την υγεία και των εργαζόμενων του λιμένα και του πληρώματος του πλοίου καθώς και των κατοίκων της περιοχής. Επιπλέον

υπάρχει η ενόχληση από τον θορύβου. Ως εναλλακτική λύση για την ενεργειακή ισχύ, τα σκάφη μπορούν να συνδεθούν με χερσαία παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή συνδεδεμένη με το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο τα πλοία συνεχίζουν να λειτουργούν χωρίς τις βοηθητικές μηχανές όπου απαιτούν την κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων βαρέων καυσίμων εξαλείφοντας παράλληλα τις αρνητικές παρενέργειες.

Για την επίτευξη των επιθυμητών στόχων, οι πηγές ενέργειας θα πρέπει να είναι εξίσου φιλικές προς το περιβάλλον έτσι ώστε το τελικό οικολογικό αποτύπωμα της διασύνδεσης να είναι λιγότερο αρνητικό σε σχέση με την μη χρήση της μεθόδου. Ένα λιμάνι με τεχνολογία cold ironing λυσιπρόθετος, εκτός από το κλασικό δίκτυο ηλεκτροδότησης της περιοχής, μπορεί να τροφοδοτείται μερικώς ή και εξ ολοκλήρου από λιγότερο ρυπογόνους μονάδες παραγωγής όπως:

- Χερσαίοι Αιολικοί σταθμοί
- Θαλάσσιοι Αιολικοί σταθμοί (με ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες είτε στον πυθμένα είτε σε πλατφόρμες)
- Υδροταμιευτήρες για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας
- Μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας
- Μονάδες παραγωγής ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα
- Μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα
- Μονάδες παραγωγής ενέργειας από φυσικό αέριο

Κάθε σύστημα cold ironing είναι ένα αρκετά πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από τρία ξεχωριστά υποσυστήματα:

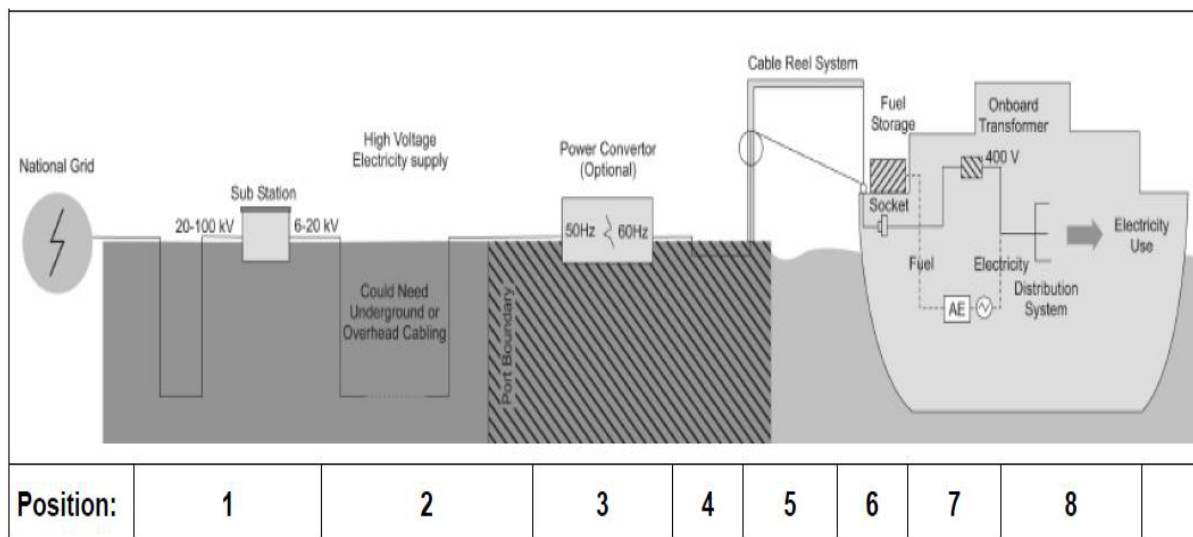
- Το χερσαίο σύστημα
- Τη σύνδεση πλοίου-στεριάς με τον εξοπλισμό διαμεσολάβησης
- Το σύστημα από τη μεριά του πλοίου

Για την επίτευξη της ορθής και ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος πρέπει να λειτουργούν αρμονικά τα τρία προαναφερθέντα μέρη.

Τη παρούσα χρονική στιγμή δεν υπάρχει κάποιο κατοχυρωμένο νομοθετικό πλαίσιο ως προς την λειτουργία, αλλά αναπτύσσονται συνεχώς καινούργια τεχνικά πρότυπα με σκοπό την διευκόλυνση τέτοιων εγχειρημάτων, από τους λιμένες και τους πλοιοκτήτες. Τα πρότυπα στοχεύουν στην ύπαρξη της απαιτούμενης ποιότητας και ασφάλειας στην παροχή κατά τη σύνδεση.

## 2.2 Κανονισμοί και πρότυπα

### Η πρόταση 2006/339/EC της Ε.Ε.



Σχήμα 2.2: Τυπική διάταξη παροχής ισχύος από την ξηρά όπως προτείνεται από το 2006/339/EC

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει μια τυπική διάταξη cold-ironing όπως παρουσιάζεται στην πρόταση 2006/339/EC της Ε.Ε. Τα κύρια στοιχεία του συστήματος είναι:

1. Μια σύνδεση ενός τοπικού υποσταθμού με το εθνικό δίκτυο τάσεως 20-100 kV που στον υποσταθμό θα μετασχηματίζεται σε 6-20 kV.
2. Καλώδια που θα μεταφέρουν την ισχύ των 6-20 kV από τον υποσταθμό στις αποβάθρες
3. Μετατροπή ισχύος όπου χρειάζεται
4. Καλώδια για να διανείμουν την ισχύ στο λιμάνι. Αυτά ,μπορεί να εγκατασταθούν υπόγεια στους ήδη υπάρχοντες αγωγούς ή σε καινούριους.
5. Ένα ειδικό σύστημα περιέλιξης των υψηλής τάσεως καλωδίων στην άκρη της αποβάθρας που θα δίνει τη δυνατότητα ανύψωσης των καλωδίων που οδηγούν στο πλοίο
6. Μια πρίζα στο πλοίο για τη σύνδεση καλωδίου
7. Ένας μετασχηματιστής στο πλοίο για να μετασχηματίζει την υψηλή τάση σε 400 V
8. Το ρεύμα διανέμεται μέσα στο πλοίο με τις γεννήτριες ανενεργές

Επίσης , αναφέρεται πως και άλλες παραλλαγές του συστήματος είναι πιθανές ανάλογα με το σκάφος που πρόκειται να συνδεθεί. Ένα μειονέκτημα της παραπάνω προτεινόμενης διάταξης είναι η έλλειψη μιας γαλβανικής απομόνωσης ανάμεσα στο δίκτυο της στεριάς και στο δίκτυο του πλοίου.

## Τα πρότυπα ISO/IEC/IEEE

Το διεθνές πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-1 θέτει τις απαιτήσεις για τις υψηλής τάσεως συνδέσεις με την ξηρά (High Voltage Shore Connections-HVSC) και είναι εφαρμόσιμη για πλοία με απαίτηση ισχύος από 1 MW και πάνω ή για πλοία με κύρια παροχή υψηλής τάσης, ενώ το ISO/IEC/IEEE 80005-3 ασχολείται με χαμηλής τάσεως συνδέσεις με την ξηρά (Low Voltage Shore Connections-LVSC) για σκάφη με μικρότερη ζήτηση ισχύος μικρότερη από 1 MW.

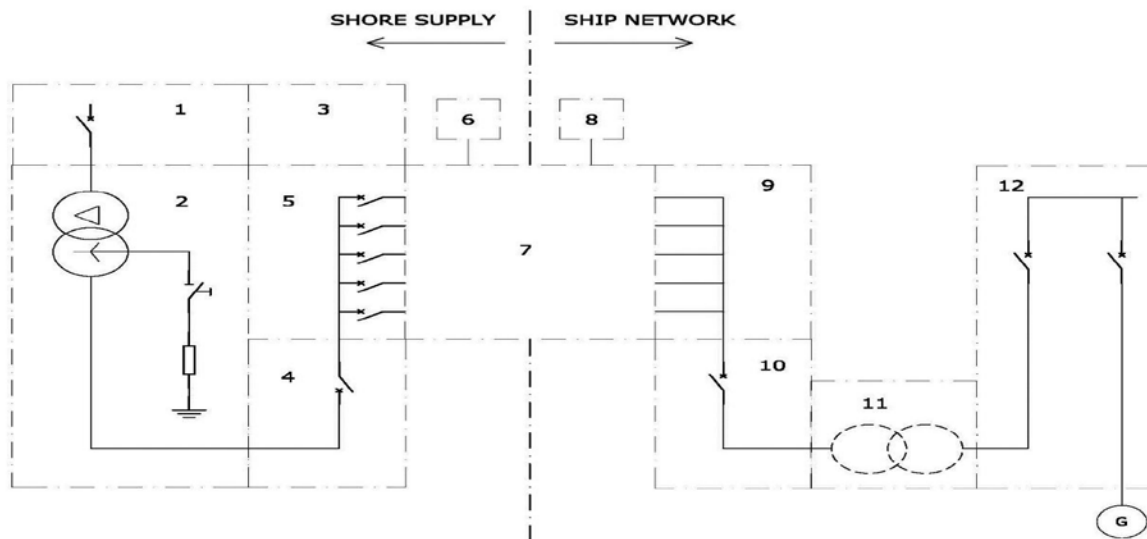
Αυτά τα δύο πρότυπα στοχεύουν να:

- Καθιερώσουν τις απαιτήσεις για διασφάλιση της συμβατότητας μεταξύ του εξοπλισμού της στεριάς και του εξοπλισμού του πλοίου
- Εγκαθιδρύσουν κατάλληλες διαδικασίες λειτουργίας
- Ενθαρρύνουν τη συμμόρφωση με αυτά ώστε όσο το δυνατόν περισσότερα πλοία να μπορούν να συνδεθούν σε όσο το δυνατόν περισσότερα λιμάνια

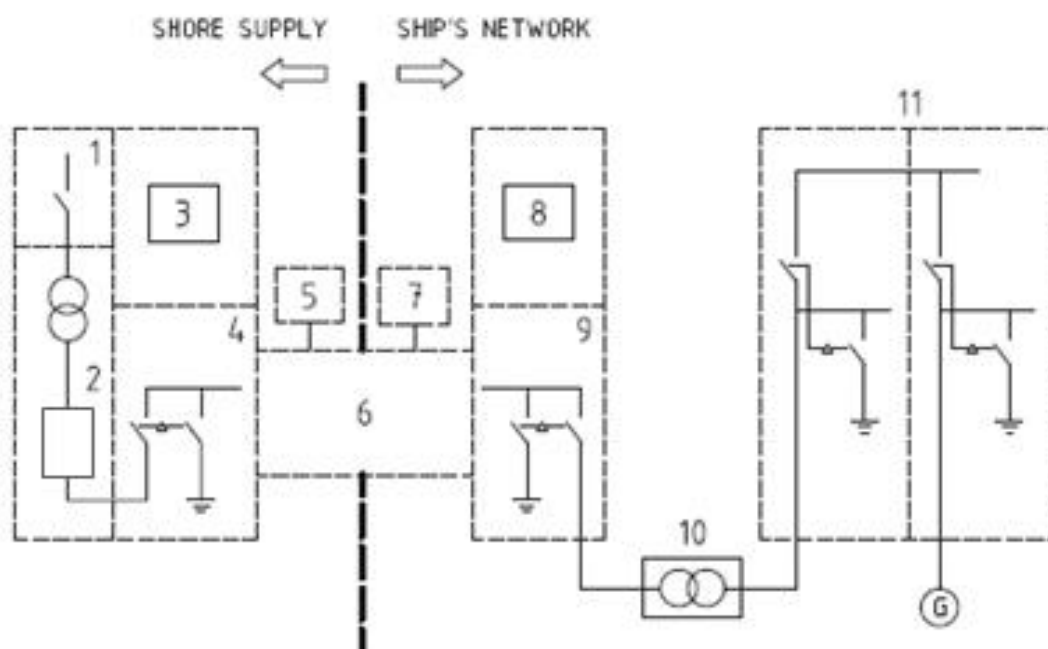
Τα πρότυπα αυτά εγγυώνται απλές συνδέσεις χωρίς να υπάρχει ανάγκη για τα πλοία να κάνουν προσαρμογές στον εξοπλισμό τους ανάλογα με το λιμάνι που δένουν. Πλοία που δεν συμβαδίζουν με τα πρότυπα δεν θα μπορούν να συνδεθούν σε λιμάνια που συμβαδίζουν.

Τα πρότυπα παρέχουν:

- Ποιότητα στην παροχή ισχύος
- Ηλεκτρικές απαιτήσεις
- Περιβαλλοντικές απαιτήσεις
- Ασφάλεια
- Απαιτήσεις για τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό
- Απαιτήσεις για τα πλοία
- Συμβατότητα μεταξύ της σύνδεσης από την ξηρά και του εξοπλισμού των πλοίων
- Βύσματα και υποδοχές
- Επαληθεύσεις και δοκιμές



Σχήμα 2.3: Διάταξη ενός συστήματος LVSC όπως παρουσιάζεται στο ISO/IEC/IEEE 80005-3



Σχήμα 2.4: Διάταξη ενός συστήματος HVSC όπως παρουσιάζεται στο ISO/IEC/IEEE 80005-1

Τα πρότυπα προτείνουν παρόμοιες διατάξεις για υψηλής και χαμηλής τάσης συνδέσεις. Η κύρια διαφορά είναι ο εξοπλισμός γείωσης και οι σχετικές δικλίδες ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στα HVSC. Τα παραπάνω σχέδια αποτελούν μια τυπική διάταξη ενός συστήματος LVSC και HVSC αντίστοιχα όπως προτείνεται από το ISO/IEC/IEEE 80005-3 και ISO/IEC/IEEE 80005-1. Τα κύρια στοιχεία αυτής της διάταξης είναι:

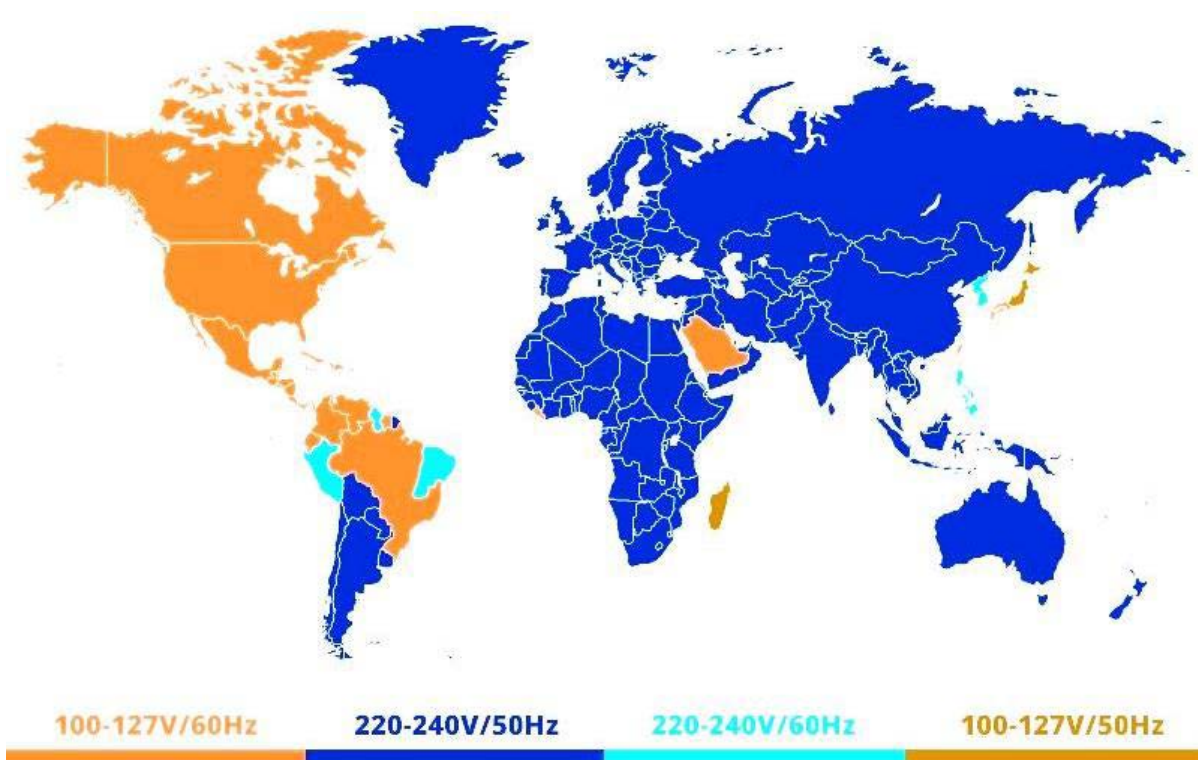
1. Σύστημα παροχής από την ξηρά
2. Μετασχηματιστής στην πλευρά της ξηράς και αντίσταση γείωσης στον ουδέτερο ή/και σύστημα ΙΤ
3. Προστατευτική ασφάλεια στη μεριά της ξηράς
4. Διακόπτης κυκλώματος στη στεριά
5. Διακόπτες τροφοδότησης στη στεριά
6. Σύστημα ελέγχου στην ξηρά
7. Σύνδεση ξηράς πλοίου και εξοπλισμός διεπαφής
8. Σύστημα ελέγχου στο πλοίο
9. Προστατευτική ασφάλεια στο πλοίο
10. Διακόπτης σύνδεσης του πλοίου με την ακτή
11. Μετασχηματιστής στο πλοίο (εάν χρειάζεται)
12. Πίνακας διανομής στο πλοίο

Ένα κοινό στοιχείο των συστημάτων LVSC και HVSC είναι η χρήση μετασχηματιστή απομόνωσης ως τελευταίο στοιχείο πριν την σύνδεση ανάμεσα στο πλοίο και στο λιμάνι. Κάθε πλοίο συνδέεται σε διαφορετικό μετασχηματιστή ώστε να επιτευχθεί γαλβανική απομόνωση και με αυτόν τον τρόπο να προστατεύεται το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου από τυχόν ανωμαλίες σε αυτό της ακτής. Διάφορα προβλήματα γείωσης και τυχαία ρεύματα που έχουν σχέση με διάφορες δραστηριότητες του λιμανιού μπορεί να επηρεάσουν την προστασία του πλοίου από βραχυκυκλώματα γείωσης εκτός και αν το δίκτυο της ακτής έχει τη δικιά του ζώνη γείωσης που παρέχεται από ένα μετασχηματιστή που έχει αντίσταση γείωσης στον ουδέτερο. Ο μετασχηματιστής απομόνωσης πρέπει να είναι της μορφής ΔΥΝ (τρίγωνο-αστέρας με ουδέτερο αγωγό) με τον αστέρα να είναι από τη μεριά του πλοίου. Ο ουδέτερος αγωγός του μετασχηματιστή απομόνωσης πρέπει να γειωθεί μέσω μιας ουδέτερης αντίστασης γείωσης. Αυτή μπορεί να παραλειφτεί όταν χρησιμοποιείται σύστημα ΙΤ. Όταν απαιτείται μετατροπή της συχνότητας του ρεύματος που παρέχεται από την ακτή, ένα δευτερεύον τριγωνικό τύλιγμα του μετασχηματιστή, σε συνδυασμό με έναν γειωμένο μετασχηματιστή με αντίσταση στην πρωτεύουσα πλευρά, ταιριαστά ώστε να αποσβήνονται πιθανά κυκλοφορούντα ρεύματα, επιτρέπονται με δεδομένο ότι οι υπόλοιπες απαιτήσεις του προτύπου πληρούνται. Η συνέχεια της αντίστασης γείωσης στον ουδέτερο πρέπει συνεχώς να παρακολουθείται. Σε περίπτωση απώλειας της συνέχειας ο διακόπτης στην ξηρά πρέπει να ανοίξει. Οι αγωγοί γείωσης που τερματίζονται στα κουτιά ελέγχου της ακτής θα πρέπει να συνδεθούν με το πλοίο ώστε να δημιουργηθεί ένας ισοδυναμικός δεσμός μεταξύ του πλοίου και της ακτής. Αυτό μπορεί να απαιτεί σύνδεση με τον ζυγό γείωσης του πλοίου ή/και σύνδεση με τη γάστρα του πλοίου.

## 2.3 Διαδικασία διασύνδεσης

### Εθνικό δίκτυο

Οι τιμές των τάσεων και των συχνοτήτων του ηλεκτρικού δικτύου δεν είναι σταθερές σε όλο τον κόσμο και διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα. Η ονομαστική τάση λειτουργίας που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση πλοίου-λιμανιού δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα πλοία καθώς η πρωτοβάθμια τάση διανομής παίρνει τις τιμές 11000 V , 6600 V, 660 V και 400 V και η τάση που εφαρμόζουν τα πλοία να διαμορφώνεται στα 110-220 V. Η χρήση υψηλότερης τάσης επιτρέπει τη χρήση καλωδίου δισύνδεσης με μικρότερη διάμετρο, άρα και μικρότερο βάρος, οπότε επιτυγχάνεται ευκολότερος ο χειρισμός και αλλατώνεται η διάρκεια της διασύνδεσης. Ως προς την συχνότητα υπάρχουν μόνο δύο πιθανές τιμές αυτές των 50 Hz και 60 Hz. Παρακάτω παρουσιάζεται το πώς διαμορφώνεται ο παγκόσμιος χάρτης ανάλογα τις τιμές των τάσεων και των συχνοτήτων.



Σχήμα 2.5: Χάρτης που παρουσιάζει την χρησιμοποιούμενη τάση και συχνότητα ανά τον κόσμο

Το μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος είναι βασισμένο στο λιγνίτη, διότι βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα.

- Το σταθερό και σχετικά υψηλό ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του, κυρίως λόγω του μεγάλου πλήθους των ελληνικών νησιών και των δυσκολιών διασύνδεσής τους με το Διασυνδεδεμένο Σύστημα.

- Το σταθερό ποσοστό υδροηλεκτρικών εγκατεστημένων μονάδων, οι οποίες απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για την κατασκευή φραγμάτων και υδάτινων ταμιευτήρων.



- Η εμφάνιση και η σταδιακή αύξηση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου μετά την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα.

- Η συνεχής αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων μετατροπής αιολικής και ηλιακής ενέργειας σε ΗΕ που σηματοδοτεί τη νέα εποχή για τη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή. Απόδειξη της προαναφερθείσας αύξησης αποτελεί το γράφημα της εγκατεστημένης ισχύος των ΑΠΕ για το διάστημα 2012-2013, στο οποίο, αν και η περίοδος είναι μόλις ένα έτος, η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ παρουσιάζει αύξηση της τάξης του 40%, φθάνοντας τα 4237MW. Αναλυτικά, για τον Αύγουστο του 2013 η ισχύς των εγκατεστημένων αιολικών πάρκων έφθασε τα 1520MW, των Φ/Β τα 2363MW και των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών τα 218MW. Τέλος, οι εγκαταστάσεις παραγωγής ΗΕ με καύσιμο τη βιομάζα και το βιοαέριο άγγιξαν τα 46MW και οι μονάδες ΣΗΘΥΑ τα 90MW

Σύμφωνα με τα μηνιαία δελτία ενέργειας του ΑΔΜΗΕ, η συνολική καθαρή εγχώρια παραγωγή ΗΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ανήλθε για το έτος 2012 σε 48.77 TWh. Η κυριότερη πηγή καυσίμου ήταν ο εγχώριος λιγνίτης που κάλυψε το 57% του συνόλου των αναγκών. Ακολουθεί το φυσικό αέριο προερχόμενο από εισαγωγές από τη Ρωσία (Gazprom- Export), την Τουρκία (Botas) και σε μορφή LNG από την Αλγερία (Sonatrach) με ποσοστό 29%. Η υδροηλεκτρική παραγωγή συμμετείχε με 8%. Τα Φ/Β, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα συμμετείχαν με 6%. Τέλος, το πετρέλαιο συνεισέφερε με ποσοστό 0.16%. Ακολουθεί το διάγραμμα της καθαρής παραγωγής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος για το διάστημα 2004 έως και 2012 [12] [13].

## Εξοπλισμός στα λιμάνια

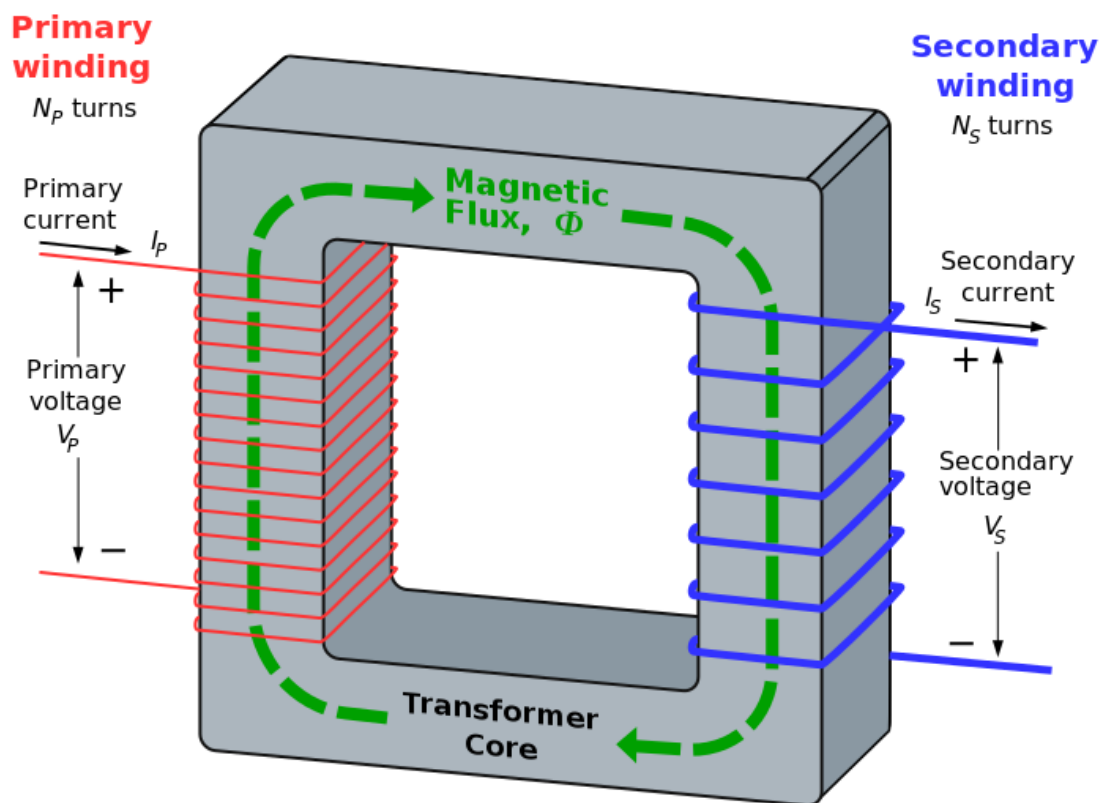
### Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής είναι το στοιχείο που είναι υπεύθυνο για την αλλαγή της τάσης (αύξηση ή μείωση) ενός ηλεκτρικού κυκλώματος εναλλασσόμενου ρεύματος, διατηρώντας παράλληλα την ισχύ της εισόδου. Λειτουργεί με βάση την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, σύμφωνα με την οποία μια τάση δημιουργείται σε ένα σώμα που εκτίθεται σε ένα μεταβλητό μαγνητικό πεδίο, δημιουργώντας ένα επαγόμενο ρεύμα όταν το σώμα είναι αγωγίμο.

Ένας μετασχηματιστής αποτελείται από:

- Ένας μαγνητικός πυρήνας, που σχηματίζεται από σιδηρομαγνητικά μεταλλικά φύλλα, με σκοπό να διατηρεί τη μαγνητική ροή μέσα σε αυτό προκειμένου να αποφευχθούν οι ηλεκτρικές απώλειες.
- Μια είσοδος ή πρωτεύουσα περιέλιξη, που σχηματίζεται από ένα χαλκό σύρμα που περιβάλλει ένα σκέλος του πυρήνα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των στροφών στην περιέλιξη, τόσο υψηλότερη θα είναι η επαγόμενη τάση.
- Μία ή δύο έξοδοι (ή δευτερεύουσες περιελίξεις) σχηματίζονται επίσης από σύρματα χαλκού που περιβάλλουν το καθένα ένα πόδι του πυρήνα, με καθορισμένο αριθμό στροφών.

Υπάρχουν επίσης και άλλα στοιχεία όπως ρελέ ασφαλείας, πίνακες ελέγχου και συσκευές σχεδιασμένες να αλλάζουν τη σχέση μετασχηματισμού του μετασχηματιστή.



Σχήμα 2.6 Μετασχηματιστής

Οι μετασχηματιστές μπορεί να είναι τριφασικοί και έτσι μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη ισχύ με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Σε αυτήν την περίπτωση έχουν τρεις περιελίξεις στο πρωτεύον πόδι, καθώς και τρεις περιελίξεις στο δευτερεύον σκέλος. Για κάθε μία από τις περιελίξεις υπάρχουν δύο επιλογές διαμόρφωσης: το αστέρι (Y), το οποίο μπορεί να έχει προσβάσιμη ουδέτερη ή η διαμόρφωση δέλτα / τριγώνου (Δ).

Τα container ships τυπικά λειτουργούν είτε με τριφασικά, 60 Hz και είτε με μια διανομή τάσης από 440 V ή 6.6 kV. Αυτό απαιτεί έναν μετασχηματιστή που θα κατεβάσει την τάση. Η επιθυμητή τάση θα είναι της τάξεως των 6.6 kV για να μειώσει το μέγεθος και την ποσότητα των χάλκινων καλωδίων που θα πρέπει να εγκατασταθούν.

Για την χωρητικότητα του μετασχηματιστή πρέπει να έχουν υπολογιστεί οι τρέχουσες αλλά και οι μελλοντικές απαιτήσεις των πλοίων. Στα container ships, τα ειδικά εμπορευματοκιβώτια ψυγεία (reefers) καλύπτουν μια σημαντική μερίδα του φορτίου. Τα νέα πλοία τείνουν προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης χωρητικότητας σε reefer.



Σχήμα 2.7 Μετασχηματιστής

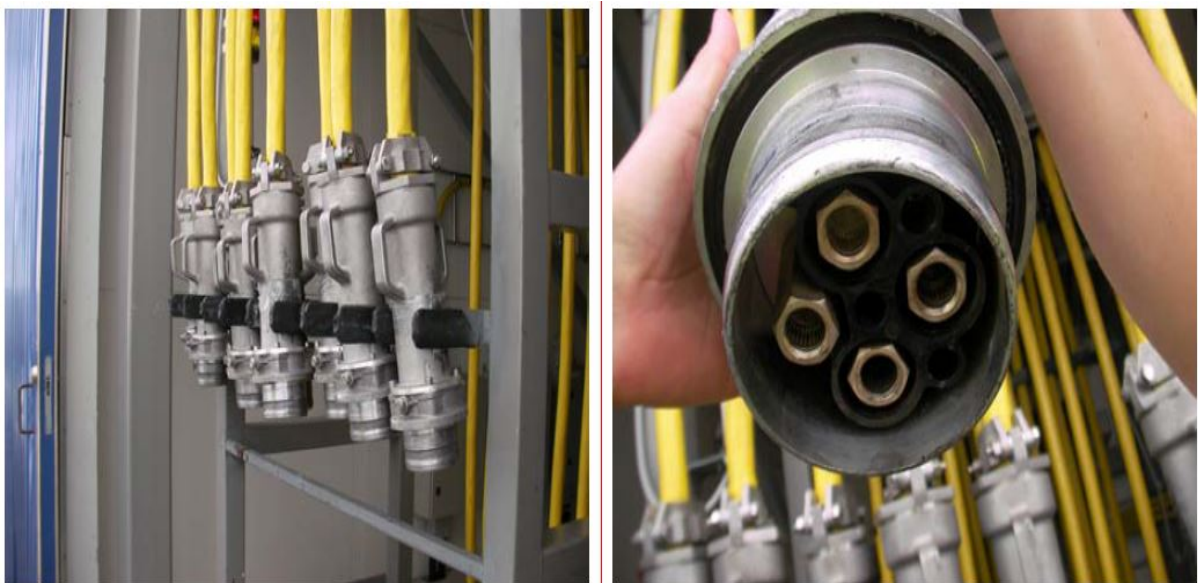
Οι τριφασικοί μετασχηματιστές τριών περιελίξεων χρησιμοποιούνται ευρέως στις μέρες μας και ένας από αυτούς πρόκειται να εφαρμοστεί στο κύκλωμα του HVSC για τη ρύθμιση της ενέργειας που λαμβάνεται από την πηγή του εθνικού δικτύου και για την προσαρμογή του στις ανάγκες του ελλιμενισμένου πλοίου. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες εφαρμογές για αυτούς τους μετασχηματιστές. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διόρθωση συστημάτων ως προς τη ρύθμιση της ταχύτητας των κινητήρων των πλοίων. Αυτοί οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές ταχύτητας εμφανίζονται περισσότερο σε μεγάλους κινητήρες έναντι της χρήσης μηχανικών ρυθμιστών. Ο κύριος λόγος για αυτήν την προοδευτική υποκατάσταση είναι το γεγονός ότι οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές είναι πιο ακριβείς από τους μηχανικούς (οι ηλεκτρονικοί επιτρέπουν μόνο παραλλαγή της ταχύτητας περίπου 0,25%, ενώ οι μηχανικοί μπορούν να φτάσουν σε παραλλαγή έως και 5%). Καθώς αυτοί οι κινητήρες θαλάσσης πρέπει να λειτουργούν με σταθερό αριθμό στροφών ανά λεπτό, ένας ακριβής κανονισμός ταχύτητας είναι πραγματικά σημαντικός.

## Switchgear στον μετασχηματιστή για προστασία του εξερχόμενου καλωδίου

Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα παροχής ενέργειας, switchgear ονομάζεται ο συνδυασμός των ηλεκτρικών διακοπών και ασφαλειών αποσύνδεσης που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο, την προστασία και την απομόνωση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Χρησιμοποιείται τόσο ως μηχανισμός απενεργοποίησης, όσο και για τον καθαρισμό βλαβών. Αυτός ο εξοπλισμός είναι σημαντικός γιατί είναι απευθείας συνδεδεμένος με την αξιοπιστία της παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας. Τυπικά το switchgear βρίσκεται σε κάθε μια από τις 2 πλευρές (υψηλής και χαμηλής τάσης) των μεγάλων μετασχηματιστών.

Ένα τέτοιο σύστημα είναι απαραίτητο λοιπόν ανάμεσα στην έξοδο του μετασχηματιστή και τα καλώδια που πάνε στην μπροστινό μέρος της αποβάθρας. Προστατευτική μετεγκατάσταση απαιτείται για την προστασία του μετασχηματιστή και των καλωδίων τροφοδοσίας.

### Καλώδια και Αγωγοί



Σχήμα 2.8 Το κτίριο διευθέτησης καλωδίων και το βύσμα σύνδεσης

Τα καλώδια και οι αγωγοί είναι όμοια με αντίστοιχα για το υπόλοιπο λιμάνι. Για να διατηρηθούν σε λειτουργικό μέγεθος, τα καλώδια είναι τυπικά σχεδιασμένα να παρέχουν 4 MVA ενέργειας. Έτσι, δύο καλώδια μπορούν να παρέχουν 8 MVA. Το προτιμότερο μέσο για τον έλεγχο του κυκλώματος είναι οι οπτικές ίνες παρά ο χαλκός.

Το μέγεθος των αγωγών είναι σχεδιασμένο και αυτό ανάλογα με τις απαιτήσεις. Συχνά ένας αγωγός χρησιμοποιείται για κάθε καλώδιο ενέργειας με ένα ξεχωριστό αγωγό για επικοινωνία και έλεγχο.



## Εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας



Σχήμα 2.9 Εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας

Οι εγκαταστάσεις αυτές (receptacle pits) είναι διασυνδεδεμένες με τα κοντινά switchgears με κλειδιά τύπου “Kirk”. Η διαδικασία συνδέσεως τους είναι γενικά η ακόλουθη:

- Όταν το βύσμα από το πλοίο εισέλθει στην εγκατάσταση, τότε το κλειδί μπορεί να αφαιρεθεί. Αυτό κλειδώνει το βύσμα στην υποδοχή αποτρέποντας το από το να κινηθεί. Το ίδιο συμβαίνει και με τα υπόλοιπα βύσματα.
- Τα κλειδιά μεταφέρονται τότε στο πλησιέστερο switchgear που είναι συνήθως συνεχώς τροφοδοτούμενο από το switchgear του μετασχηματιστή. Όλα τα κλειδιά μπαίνουν στην κλειδαρότρυπες στον διακόπτη και περιστρέφονται. Τότε ο διακόπτης μπορεί να κλείσει. Κλείνοντας, ο διακόπτης κρατά τα κλειδιά εγκλωβισμένα.
- Η ηλεκτρική ενέργεια στο πλοίο συγχρονίζεται τότε με την ενέργεια αυτήν στην ξηρά. Όταν επιτευχθεί αυτός ο συγχρονισμός, ο διακόπτης στο πλοίο κλείνει και αρχίζει να λαμβάνει ενέργεια. Οι κινητήρες μπορούν να απενεργοποιηθούν πλέον οποιαδήποτε στιγμή.

Σύγχρονοι λιμένες έχουν τοποθετήσει εγκαταστάσεις υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας κάθε 65 μέτρα για να παράσχουν ευελιξία μη γνωρίζοντας που ακριβώς κατά μήκος της

αποβάθρας θα δέσει το πλοίο αλλά και που είναι τοποθετημένα τα καλώδια του κάθε πλοίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα 5 με 6 εγκαταστάσεις σε κάθε αποβάθρα.



Σχήμα 2.10 Το κουτί σύνδεσης στο πλοίο

Οι τελευταίες σκέψεις που γίνονται επί του θέματος, αφορούν τον συνυπολογισμό της θέσης ελλιμενισμού του πλοίου. Οι συνδέσεις είναι συνήθως τοποθετημένες κοντά στην πρύμνη του πλοίου. Για τον λόγο αυτό, η τοποθέτηση δύο εγκαταστάσεων κοντά στην πλώρη και δυο κοντά στην πρύμνη κάθε θέσης ελλιμενισμένου πλοίου, θα εξυπηρετεί δέσιμο τόσο από την αριστερή όσο και από την δεξιά πλευρά του πλοίου.

## **Εξοπλισμός στο πλοίο**

### **Διανομή, Μετασχηματισμός και Συγχρονισμός της ενέργειας στο Πλοίο**

Τα περισσότερα πλοία διαθέτουν συστήματα διανομής 440 V. Τα σύγχρονα μεγάλα ποντοπόρα φέρουν ως τάσης διανομής τα 6.6 kV. Μοιραία, όλα τα πλοία θα πρέπει να λειτουργούν ουσιαστικά με κάποια από τις δύο αυτές τάσεις σε συχνότητα 60 Hz.

Μια διανομή τάσεως της τάξης των 440 V, δυστυχώς, δεν είναι ιδανική για την παροχή ενέργειας από την ξηρά λόγω της μεγάλης απαίτησης σε ένταση ρεύματος. Για την μείωση προβλημάτων όπως η πτώση της τάσης, η παροχή στην αποβάθρα θα πρέπει να έχει

υψηλότερη τάση, όπως 6.6 kV, και έναν μετασχηματιστή που να την κατεβάζει, τοποθετημένο στην άκρη της αποβάθρας ή στο πλοίο με σκοπό να παρέχει τα απαιτούμενα 440 V.

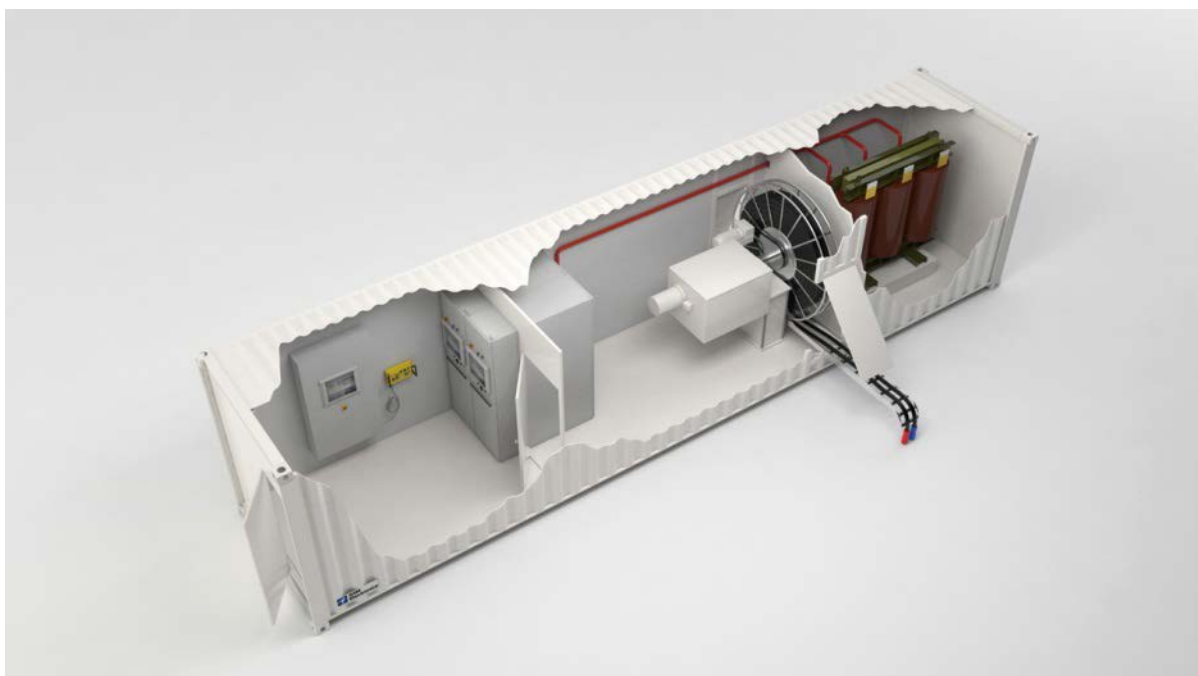
Σε πολλά λιμάνια, κατά την εκτέλεση της μεθόδου του cold ironing, έγινε χρήση ενός συστήματος φορτηγίδας (μπάριζα) που περιείχε τον μετασχηματιστή και το σύστημα διαχείρισης των καλωδίων. Λόγω όμως λειτουργικών θεμάτων όπως η αποθήκευση της φορτηγίδας και ο χειρισμός 9 καλωδίων παροχής απευθείας από τον άνθρωπο, στα περισσότερα αποφασίστηκε η μη επαναχρησιμοποίηση της.

Είναι γενικά αποδεκτό πλέον ότι ο μετασχηματιστής και το σύστημα διαχείρισης των καλωδίων θα πρέπει να πλευρίζουν το πλοίο. Τα πλοία που ξεκινούν τώρα να υιοθετούν την μέθοδο του cold ironing, ακολουθούν αυτό το σκεπτικό.

Για να γίνει η μετάβαση από την ηλεκτροδότηση του πλοίου από τους κινητήρες, στην ηλεκτροδότηση από την ξηρά, χρησιμοποιείται μια από τις ακόλουθες δύο μεθόδους. Η εσωτερική ηλεκτροδότηση του πλοίου μπορεί να απενεργοποιηθεί και να γίνει η σύνδεση με την ηλεκτροδότηση από την ξηρά ή το πλοίο μπορεί να παραμείνει ενεργοποιημένο και συγχρονισμένο με την ενέργεια από την στεριά για μια ασφαλέστερη μεταφορά ενέργειας χωρίς αυξομειώσεις. Στα κρουαζιερόπλοια, η αναγκαία ασφαλέστερη αυτή παροχή είναι κρίσιμη λόγω των επιπτώσεων στα συστήματα του πλοίου σε περίπτωση απώλειας ενέργειας. Είναι λιγότερο κρίσιμη όμως στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όπου σημαντική μερίδα του φορτίου αποτελούν τα reefers τα οποία μπορούν αντέξουν μια σύντομη διακοπή της ηλεκτροδότησης. Ωστόσο, οι διακοπές στην παροχή είναι επιβλαβείς στην αξιοπιστία του εξοπλισμού. Συνεπώς, ακόμα και τα container ships κινούνται προς την κατεύθυνση της ενσωμάτωσης εξοπλισμού για συγχρονισμό με cold ironing.

### **Εύκαμπτα Καλώδια με Βύσματα και Σύστημα Διαχείρισης Καλωδίων**

Η πιο πρακτική θέση για τα καλώδια και για το σύστημα διαχείρισης τους είναι πάνω στο πλοίο. Σε προηγούμενες εγκαταστάσεις χρειαζόταν αξιοσημείωτη προσπάθεια για το ανέβασμα των καλωδίων στο ηλεκτρολογικό δωμάτιο του πλοίου. Ακόμα και με γερανό χειριζόμενο από ειδικευμένο χειριστή, τα μεγάλα καλώδια είναι στην καλύτερη περίπτωση, άβολα. Για τον λόγο αυτό, η εταιρία Cavitoc κατασκευάζει συστήματα ενός ή δύο καλωδίων ανάλογα με χωρητικότητα και τις απαιτήσεις.



Σχήμα 2.11 Ειδικό εμπορευματοκιβώτιο με ενσωματωμένο σύστημα διαχείρισης καλωδίων και switchgear

## 2.4 Υπάρχουσες εφαρμογές

Τα συστήματα σύνδεσης με την ακτή έχουν χρησιμοποιηθεί από τη δεκαετία του '80 για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα εμπορικά πλοία. Τα επιβατηγά πλοία, επειδή δένουν πάντα στην ίδια θέση στο λιμάνι, κάνοντας τη σύνδεση σχετικά εύκολη, ήταν τα πρώτα πλοία στα οποία εφαρμόστηκε. Στρατιωτικά λιμάνια, στα οποία τα πλοία συνηθίζουν να παραμένουν για μεγάλες περιόδους, χρησιμοποιούν επίσης τέτοια συστήματα για δεκαετίες. Σήμερα, και άλλοι τύποι πλοίων όπως κρουαζιερόπλοια, Ro/Ro και containerships συνδέονται στα ηλεκτρικά δίκτυα της ξηράς.

Το 2000, το λιμάνι του Gothenburg ήταν το πρώτο λιμάνι που εισήγαγε χερσαία τροφοδοσία υψηλής τάσης για φορτηγά πλοία. Πριν από τη δημιουργία αυτής της σύνδεσης υψηλής τάσης, η θύρα είχε ήδη προσφέρει (και εξακολουθεί να προσφέρει) παραθαλάσσια ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής τάσης από το 1989 έως τρία πλοία επιβατών / RoRo (ROPAX).

Πολλά λιμάνια σε όλον τον κόσμο παρέχουν ρεύμα σε πλοία που έχουν ίδια συχνότητα λειτουργίας με το δίκτυό τους, δηλαδή 60 Hz στις Η.Π.Α. 50 Hz στην Ευρώπη. Τελευταία, όλο και περισσότερα λιμάνια εγκαθιστούν συστήματα cold-ironing προσαρμοσμένα με έναν μετατροπέα συχνότητας έτσι ώστε να είναι σε θέση να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε όλα τα σκάφη.



Ports	Country	Connection voltage (kV)	Frequency (Hz)
Goteborg	Sweden	0,4/6,6/10	50
Stockholm	Sweden	0,4/0,69	50
Helsingborg	Sweden	0,4/0,44	50
Pitea	Sweden	6	50
Antwerp	Belgium	6,6	50/60
Zeebrugge	Belgium	6,6	50
Rotterdam	Netherlands	6,6	50
Oslo	Norway	6,6	50
Bergen	Norway	0,44/0,69	50/60
Hamburg	Germany	6/6,6/10/11	50/60
Lubeck	Germany	6	50
Kotka	Finland	6,6	50
Oulu	Finland	6,6	50
Kemi	Finland	6,6	50
Livorno	Italy	6,6/11	50/60
Marseille	France	11	50
Los Angeles	USA	0,44/6,6	60
Long Beach	USA	6,6	60
Seattle	USA	6,6/11	60
San Francisco	USA	6,6/11	60
Pittsburg	USA	0,44	60
Juneau	USA	6,6/11	60
San Diego	USA	6,6/11	60

Πίνακας 2.1 Λιμάνια που έχει εφαρμοστεί η χρήση CI

### **Το λιμάνι της Αμβέρσας**

Στο λιμάνι της Αμβέρσας έχει αναπτυχθεί σύνδεση CI για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από την Independent Maritime Terminal, το οποίο ανήκει στην εταιρεία Independent Container Lines. Η ανάπτυξη του συστήματος ξεκίνησε από την ICL. Ο αρχικός στόχος του έργου ήταν η βελτίωση των συνθηκών εργασίας επί του πλοίου και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ελλιμενισμένων πλοίων.

Η λιμενική αρχή της Αμβέρσας και η φλαμανδική κυβέρνηση έχουν επιδοτήσει μαζί το 45% του κόστους αυτού του έργου, το οποίο ανέρχεται συνολικά σε 1,1 εκατομμύρια ευρώ. Η φλαμανδική κυβέρνηση παρείχε πάνω από 400.000 ευρώ ενώ η λιμενική αρχή της Αμβέρσας 96.000 ευρώ.

Αυτά τα έξοδα καλύπτουν την εγκατάσταση ενός 1 MVA στον τερματικό σταθμό της Αμβέρσας και την τοποθέτηση του απαραίτητου βοηθητικού εξοπλισμού σε τρία πλοία. Καθώς η χωρητικότητα του υφιστάμενου δικτύου τροφοδοσίας στο τερματικό ήταν αρκετά υψηλή, το κόστος αυτού του έργου μπορεί να αξιολογηθεί ως σχετικά χαμηλό.

Το σύστημα είναι μοναδικό στο ότι μπορεί να αλλάξει μεταξύ 50 και 60 Hz, σε αντίθεση με τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ. Το σύστημα παρέχει στα σκάφη 6,6 kV στα 50 Hz ή στα 60 Hz μέσω ενός μόνο καλωδίου. Στην εγκατάσταση στην ακτή η τάση του δικτύου μειώνεται πριν από τη μετατροπή συχνότητας και, στη συνέχεια, αυξάνεται ξανά, επιτρέποντας τη χρήση ενός μόνο καλωδίου υψηλής τάσης. Στο πλοίο η τάση μεταμορφώνεται ξανά για να ταιριάζει με την τάση των ενσωματωμένων συστημάτων.

Το καλώδιο και το σύστημα σύνδεσης έχουν τοποθετηθεί εκ νέου υπόγεια στην προκουαία. Τα πλοία που επισκέπτονται έχουν εφοδιαστεί με σύστημα κυλινδροκεφαλής, εξαλείφοντας την ανάγκη για γερανό. Το μονό καλώδιο κατεβαίνει στην προκουαία, όπου συνδέεται χειροκίνητα. Μετά τη σύνδεση του καλωδίου, μπορεί να πραγματοποιηθεί συγχρονισμός ισχύος.

### **Το λιμάνι της Λονγκ Μπιτς**

Στο αμερικανικό λιμάνι του Λονγκ Μπιτς, το CI αναπτύχθηκε από τους λιμενικούς φορείς και την British Petroleum (BP) και τέθηκε σε λειτουργία το 2008. Αυτή η εθελοντική συνεργασία προέκυψε από διαπραγματεύσεις για τη συμφωνία μίσθωσης τερματικών. Αυτό το έργο CI είναι ξεχωριστό καθώς είναι η πρώτη σύνδεση ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή στον κόσμο που έχει αναπτυχθεί για δεξαμενόπλοια. Δύο δεξαμενόπλοια έχουν εφοδιαστεί με τον απαραίτητο εξοπλισμό.

Λόγω ζητημάτων ασφάλειας, η τροφοδοσία CI σε δεξαμενόπλοια ήταν μια πρόκληση. Καθώς τα δεξαμενόπλοια γενικά μεταφέρουν πολύ εύφλεκτα φορτία, η τοποθέτηση και η λειτουργία του συστήματος CI έπρεπε να σχεδιαστούν έτσι ώστε να μην διακυβεύεται η ασφάλεια. Οι αυστηροί κανονισμοί που ισχύουν για τα δεξαμενόπλοια οδήγησαν σε μεγαλύτερη δοκιμαστική περίοδο σε σύγκριση με άλλες κατηγορίες σκαφών που έχουν συνδεθεί.

Ένας μετασχηματιστής ισχύος που είναι εγκατεστημένος στον αγωγό τερματικού λαδιού χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της τοπικής τάσης δικτύου σε 6,6 kV στα 60 Hz. Τα πλοία λαμβάνουν 10 MVA μέσω τριών καλωδίων, τα οποία ξεδιπλώνονται από το αγκυροβόλιο.

Η Alaska Tanker Company (που ανήκει στην BP) έχει εξοπλίσει δύο από τα πλοία τους που επισκέπτονται τακτικά το λιμάνι για να συνδέσουν τον τερματικό σταθμό BP, ο οποίος προμηθεύει τοπικά διυλιστήρια με αργό πετρέλαιο. Το κοινό έργο, που υλοποιήθηκε σε εθελοντική βάση, ολοκληρώθηκε με κόστος 23,7 εκατομμύρια δολάρια - 17,5 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ από το λιμάνι και 6,2 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ από την BP.

Η θύρα διεξάγει επίσης δοκιμές σε μια άλλη τεχνική μείωσης εκπομπών (το σύστημα αποσκευών) σε τερματικό χύδην και σε τερματικούς σταθμούς που δεν είναι κατάλληλοι για CI από την άποψη της υποδομής.

### **Το λιμάνι του Σιάτλ**

Στο λιμάνι του Σιάτλ, το CI εισήχθη για κρουαζιερόπλοια το 2005 από την Princess Cruise Lines. Η εταιρεία τοποθέτησε ένα αγκυροβόλιο με CI και έχει εξοπλίσει δύο κρουαζιερόπλοια με τον απαραίτητο εξοπλισμό.

Το σύστημα μπορεί να παρέχει τόσο 6,6 kV όσο και 11 kV στα 60 Hz, χρησιμοποιώντας έναν μετασχηματιστή διπλής τάσης για να μετατρέψει τα 27 kV από το τοπικό δίκτυο. Λόγω της υψηλής ζήτησης ισχύος των κρουαζιερόπλοιων, αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί τέσσερα καλώδια υψηλής τάσης. Αυτά παρέχονται από τον τερματικό σταθμό και έτσι πρέπει να ανυψωθούν στα πλοία με γερανό.

Η κατασκευή της υποδομής στην ακτή ήταν εφικτή στο Σιάτλ, επειδή η Princess Cruises επένδυσε 1,8 εκατομμύρια δολάρια για να καλύψει τα έξοδα της αποβάθρας και επειδή η Seattle City Light ήταν πρόθυμη να συνεργαστεί με την Princess και το λιμάνι του Σιάτλ για να φέρει εις πέρας το έργο. Το κόστος μετασκευής των πλοίων ήταν 1 εκατομμύριο δολάρια ΗΠΑ (500.000 δολάρια ανά σκάφος). Το κόστος κεφαλαίου της City Light αντισταθμίστηκε εν μέρει με επιχορήγηση 50.000 \$ από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ.

Το 2006 ένα δεύτερο αγκυροβόλιο εφοδιάστηκε με παρόμοιο σύστημα CI και τρία κρουαζιερόπλοια που εκμεταλλεύτηκε η Holland America Line ήταν εξοπλισμένα για να λαμβάνουν ηλεκτρική ενέργεια στην ακτή. Το συνολικό κόστος αυτού του έργου ακτοπαραγωγής στο λιμάνι του Σιάτλ ήταν 4,8 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, τα οποία πληρώθηκαν από την Holland America Line. Το κόστος υποδομής εδάφους ήταν 1,5 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ και η μετασκευή κοστίζει 3,3 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ (1,1 εκατομμύρια δολάρια ανά σκάφος).

Το σύστημα OPS τροφοδοτείται από υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, πράγμα που σημαίνει ότι οι εκπομπές τόσο των ατμοσφαιρικών ρύπων όσο και του CO<sub>2</sub> είναι ουσιαστικά μηδενικές.

## 2.5 Εκτιμώμενο κόστος

Οι επενδύσεις σε αποβάθρες κοντά σε κατοικημένη ή βιομηχανική περιοχή, υψηλής τάσης (6-20 kV) μπορεί συχνά να είναι άμεσα διαθέσιμη ή μόλις σε λίγα χιλιόμετρα. Στα περισσότερα λιμάνια υπάρχει πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα σε διαφορετικά επίπεδα τάσης. Είναι σημαντικό, ωστόσο, να γνωρίζουμε δεόντως τα ζητήματα διαθεσιμότητας, διότι το κόστος παροχής ισχύος υψηλής τάσης μπορεί να ποικίλλει σημαντικά εάν απαιτείται επένδυση σε σταθμούς μετασχηματιστών.

Κατά την εκτίμηση του κόστους και των απαιτήσεων του συστήματος, τα ακόλουθα έχουν μεγάλη σημασία .

Λιμένας:

- Το κόστος παροχής ισχύος υψηλής τάσης
- Οποιαδήποτε ανάγκη για μετασχηματιστές
- Πίνακας και πίνακας ελέγχου
- Η πιθανή ανάγκη για μετατροπέα συχνότητας
- Το μήκος των υπόγειων αγωγών καλωδίων και κανάλι

Εν πλω:

- Μετασχηματιστής
- Ηλεκτρικό σύστημα διανομής
- Πίνακας και πίνακας ελέγχου
- Σύστημα κυλίνδρου καλωδίου (επίσης δυνατό στην προκυμαία, ανάλογα με το σχεδιασμό)
- Τροφοδοσία και μετατροπή συχνότητας ως βασικοί παράγοντες

Τα δύο αντικείμενα με τη μεγαλύτερη επίδραση στο κόστος εγκατάστασης CI είναι η μετατροπή συχνότητας και η τροφοδοσία υψηλής τάσης στην προκυμαία. Σε σύγκριση με αυτά τα κόστη, αυτά των υπόγειων καλωδιώσεων και κανάλια είναι περιορισμένα, όπως επιβεβαιώνει η διαθέσιμη βιβλιογραφία. Μια μελέτη σκοπιμότητας σχετικά με τη χρήση CI στο τερματικό σταθμό του Ρότερνταμ Euromax παραθέτει σημαντικά διαφορετικές εκτιμήσεις κόστους από αυτές που διατίθενται για το λιμάνι του Γκέτεμποργκ.

Το κόστος διαφορετικών διατάξεων μπορεί επίσης να ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με την επιλεγμένη λύση. Η ανάγκη για ενσωματωμένο μετασχηματιστή και πιθανή χρήση φορτηγίδων αυξάνει σημαντικά το κόστος. Ενώ η εγκατάσταση μιας σύνδεσης χαμηλής τάσης σε ένα πλοίο εξαλείφει την ανάγκη για μετασχηματιστή επί του σκάφους, μπορεί όμως να απαιτεί γερανό για την αποστολή καλωδίων. Η πιο σύγχρονη λύση, κατασκευασμένη σύμφωνα με το επικείμενο πρότυπο IEC / ISO / IEEE, θα είναι μια σύνδεση υψηλής τάσης με σκάφη.

Το κόστος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τοπικό δίκτυο σε τερματικό λιμένα κυμαίνεται από 300.000 έως 4 εκατομμύρια δολάρια ανά θέση, ανάλογα με τη θέση του λιμένα, τη ζήτηση ισχύος, την τάση και τη συχνότητα και τον τύπο του πλοίου. Μια μελέτη σκοπιμότητας για το λιμάνι του Ρότερνταμ υπολόγισε 4 εκατομμύρια ευρώ ανά αγκυροβόλιο, ενώ στο λιμάνι του Γκέτεμποργκ ο αριθμός ήταν μόνο ένα κλάσμα αυτού (255.000 ευρώ για 2 θέσεις), λόγω της ήδη διαθέσιμης τροφοδοσίας υψηλής τάσης, η έλλειψη της ανάγκης για μετατροπέα συχνότητας και τις περιορισμένες απαιτήσεις ισχύος των σκαφών RoRo. Στο λιμάνι του Λονγκ Μπιτς, το εκτιμώμενο κόστος ανά αγκυροβόλιο ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και την τοποθεσία κουκέτας, που κυμαίνονται από 1 έως 4 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. Μελέτες από το λιμάνι του Άμστερνταμ και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή δείχνουν ότι οι επενδύσεις για κρουαζιερόπλοια είναι πιθανό να είναι περίπου 6 εκατομμύρια ευρώ ανά αγκυροβόλιο.

Το κόστος για τροποποιήσεις στο πλοίο μπορεί να κυμαίνεται από 300.000 έως 1-2 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του σκάφους και την ανάγκη για ενσωματωμένο μετασχηματιστή. Υπάρχει επίσης μια σημαντική διαφορά μεταξύ των έργων μετασκευής και νέων κατασκευών, με το πρώτο να κοστίζει μερικές φορές έως και 150 έως 200% των τελευταίων.

Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των περιβαλλοντικών μέτρων δίδεται από την αναλογία μεταξύ κόστους και οφέλους τους, η οποία εκφράζεται σε όρους αποφυγής εκπομπών. Αυτό το κριτήριο επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών μέτρων. Στην περίπτωση του CI, η αποδοτικότητα κόστους μπορεί να βελτιωθεί λαμβάνοντας μέτρα για τη μείωση του κόστους ή / και επιλέγοντας καθαρότερη ηλεκτρική ενέργεια. Μερικά παραδείγματα:

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός ωρών που χρησιμοποιείται ένα σύστημα CI ετησίως, τόσο χαμηλότερο είναι το κόστος ανά μονάδα εκπεμπόμενου ρύπου. Ο διπλασιασμός του αριθμού των ωρών στο αγκυροβόλιο θα αυξήσει την αποδοτικότητα κόστους κατά περίπου έναν παράγοντα 2. Εάν δεν απαιτείται μετατροπέας συχνότητας, το κόστος των επενδύσεων μπορεί να είναι περίπου 10% έως 30% χαμηλότερο, ανάλογα με την τοπική κατάσταση. Εάν υπάρχει ισχύς υψηλής τάσης, το κόστος επένδυσης ανά θέση θα είναι πολύ χαμηλότερο, καθώς η παροχή υψηλής τάσης απαιτεί γενικά σημαντικές επενδύσεις. Με τη μείωση της κατανάλωσης ισχύος επί του πλοίου, τόσο το λειτουργικό κόστος όσο και το κόστος επένδυσης μπορούν να εξοικονομηθούν. Επιλογή αποτελεί να μην εξοπλιστεί ολόκληρος ο λιμένας με CI, αλλά να περιοριστεί σε συγκεκριμένο αριθμό θέσεων και να διασφαλιστεί ότι αυτές θα έχουν το κατάλληλο μέγεθος .

Το κύριο κόστος και η εξοικονόμηση του CI είναι τα εξής:

- Εξοικονόμηση βοηθητικού καυσίμου κινητήρα
- Εξοικονόμηση κόστους συντήρησης
- Κόστος πάγιων χρεώσεων
- Τέλη και φόροι ηλεκτρικής ενέργειας

Το μέσο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που αναφέρεται σε μελέτες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ετήσια κατανάλωση και τις απαιτήσεις μέγιστης ισχύος. Παρόλο που αρκετές μελέτες αναφέρουν περίπου 0,05 ευρώ ανά kWh χωρίς φόρους, τα διαθέσιμα στοιχεία για τις βιομηχανικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας δείχνουν υψηλότερες τιμές. Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ετήσια κατανάλωση. Οι φόροι ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρουν σημαντικά σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη οι φορολογικοί συντελεστές κυμαίνονται από μηδέν έως 0,03 € / kWh.

Το πάγιο τέλος είναι ένα σταθερό ποσό που καταβάλλεται στον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για τέλος σύνδεσης, το επίπεδο του οποίου εξαρτάται από τη μέγιστη κατανάλωση ενέργειας. Μια μελέτη σκοπιμότητας του Άμστερνταμ αναφέρει κόστος περίπου 300.000-400.000 ευρώ για σύνδεση CI για κρουαζιερόπλοια με 90 κλήσεις λιμένων ετησίως.

«Η Επιτροπή θα ασχοληθεί με το ζήτημα της φορολογίας και οι αρμόδιοι φορείς τυποποίησης πλησιάζουν ένα συμφωνημένο πρότυπο για τις συνδέσεις πλοίων προς ξηρά». Joe Borg, Ευρωπαίος Επίτροπος Θαλάσσιων Υποθέσεων και Αλιείας (2004-2009).

Χρησιμοποιώντας ισχύ που παράγεται στην ξηρά αντί να λειτουργούν οι βοηθητικοί κινητήρες ντίζελ, οι φορείς εκμετάλλευσης σκαφών απολαμβάνουν ένα όφελος κόστους καυσίμου, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται πάρα πολύ από την τρέχουσα τιμή καυσίμου. Η μετάβαση σε 0,1% καύσιμα θείου στην ΕΕ το 2010 και στην Καλιφόρνια το 2012 βελτιώνει σημαντικά την αποδοτικότητα κόστους του CI, καθώς αυτό συνεπάγεται τη χρήση θαλάσσιου πετρελαίου (MGO) που είναι περίπου 200 δολάρια ΗΠΑ ανά τόνο ακριβότερη από το βαρύ μαζούτ (HFO). Τα πλοία πρέπει να διατηρούν τους βοηθητικούς κινητήρες τους για επίσκεψη σε λιμάνια χωρίς CI και για χρήση στη θάλασσα, αλλά η μειωμένη χρήση των κινητήρων εξοικονομεί κόστος συντήρησης, κατά μέσο όρο, 1,6 ευρώ ανά ώρα λειτουργίας ανά κινητήρα.

Όλες οι διαθέσιμες μελέτες και η υπάρχουσα εμπειρία δείχνουν ότι η χρήση CI θα αυξήσει το συνολικό κόστος των πλοίων στο αγκυροβόλιο. Αν και οι δαπάνες για κατανάλωση ενέργειας μπορούν γενικά να αντισταθμιστούν με τα οφέλη της εξοικονόμησης καυσίμου, ειδικά για τα μεγαλύτερα πλοία που καλούν συχνά, οι επενδύσεις στην ακτή θα είναι δύσκολο να ανακτηθούν, ακόμη και σε περιπτώσεις όπου αυτές είναι μέτριες. Όπως και με άλλα στοχευμένα μέτρα, ωστόσο, αυτές οι επενδύσεις αποφέρουν οφέλη, με τη μορφή μειωμένων εκπομπών και βελτιωμένων συνθηκών εργασίας. Ωστόσο, τα ποσοτικά συμπεράσματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τιμές των καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας. Με την αύξηση των τιμών των καυσίμων, το CI θα γίνει φθηνότερο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Λιμένας Λαυρίου

#### 3.1 Γενικές πληροφορίες

Η Λαυρεωτική εκτείνεται στα νοτιοανατολικά της Αττικής. Η περιοχή παρουσιάζει ίχνη κατοίκησης ήδη από τη Νεολιθική περίοδο, καθώς πάντα προσείλκυε τους ανθρώπους το πλούσιο μεταλλοφόρο υπέδαφός της. Πιθανότατα η ίδια η ονομασία "Λαύριο" προέρχεται από το υπέδαφος αυτό, από τη λέξη "λαύρα" ή "λαύρη" που σημαίνει στενωπός, λιθόστρωτη οδός και, κατά τον Όμηρο, διάδρομος, πάροδος. Από την αρχαιότητα, οπότε διακόπηκε η εκμετάλλευση των μεταλλείων, μέχρι και τα μέσα του 19ου αιώνα δεν υπάρχουν σημαντικά δείγματα κατοίκησης. Στην πραγματικότητα, η πόλη του Λαυρίου είναι μία σύγχρονη πόλη, η οποία ιδρύθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα από τους Ευρωπαίους εκμεταλλευτές των μεταλλείων. Σήμερα στο Λαύριο κατοικούν γύρω στις 10.000-11.000 ανθρώπους, ενώ το καλοκαίρι ο πληθυσμός της ευρύτερης περιοχής αυξάνεται σημαντικά λόγω των εξοχικών κατοικιών. Μέχρι πριν από μία 20ετία το Λαύριο ήταν μια αμιγώς βιομηχανική πόλη, με πληθυσμό που ξεπερνούσε τους 20.000 κατοίκους. Κάθε σημείο της Λαυρεωτικής, είτε εντός της πόλης του Λαυρίου είτε εκτός, έχει να μας πει κάτι σημαντικό για τη ελληνική βιομηχανική και αρχιτεκτονική εξέλιξη.

Το λιμάνι του Λαυρίου έχει καθοριστεί ως ένα από τα λιμάνια εθνικής σημασίας αναλαμβάνοντας ουσιαστικό και συμπληρωματικό ρόλο προς τον Λιμένα του Πειραιά και το ευρύτερο σύστημα Λιμένων της Αττικής. Σήμερα, το λιμάνι εξυπηρετεί πολλαπλές δραστηριότητες, οι οποίες αφορούν την ακτοπλοΐα, τους τομείς σκαφών αναψυχής, την αλιεία, τον εμπορικό τομέα, καθώς και την αξιοποίηση χερσαίων εκτάσεων.

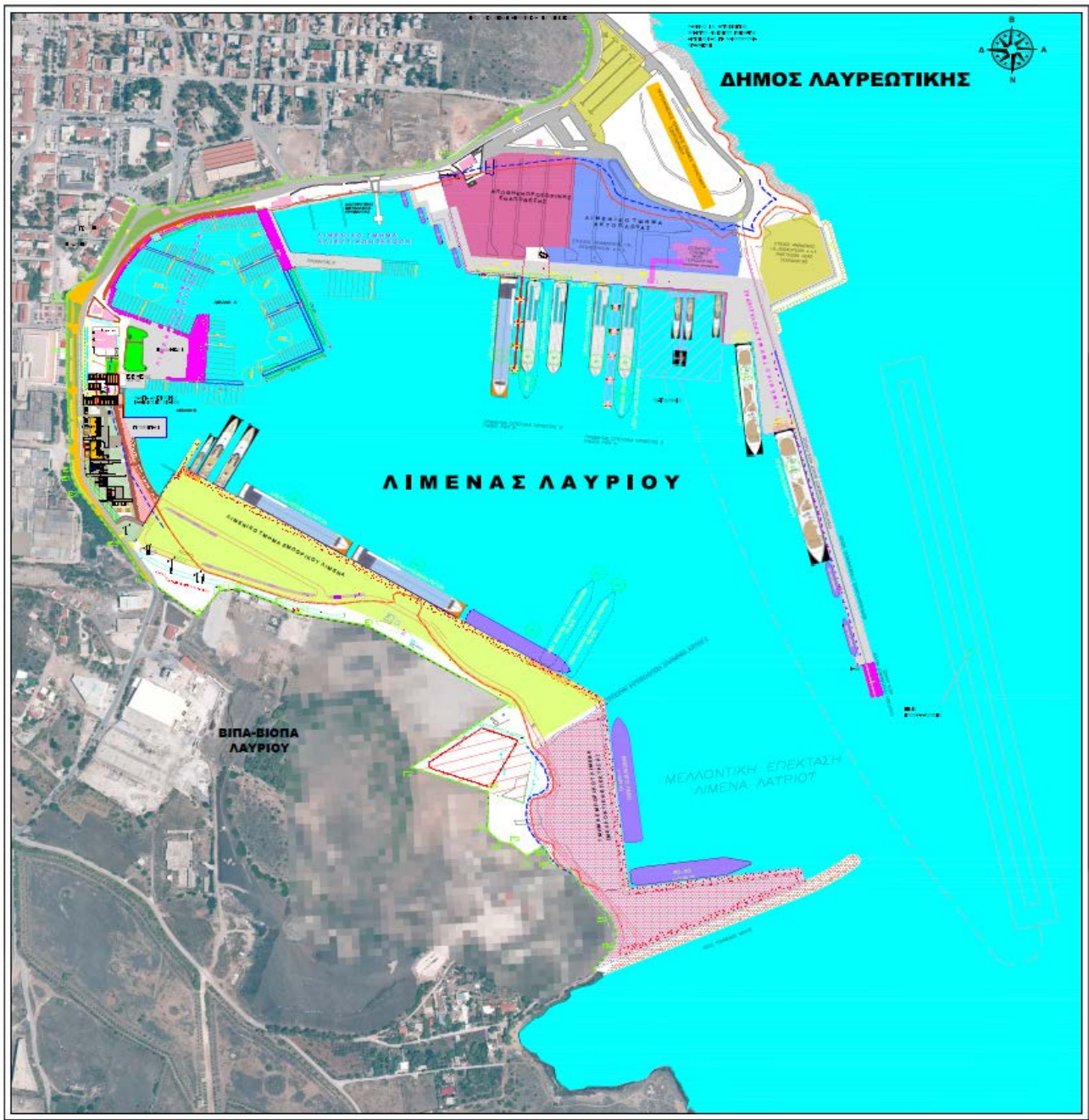
Η είσοδος του λιμανιού έχει πλάτος 206 μ. και βάθος 20 μ., ενώ η λιμενολεκάνη έχει διάμετρο 350 μ. και βάθος 12μ. Στα κρηπιδώματα του βορειοανατολικού τομέα του λιμανιού φιλοξενείται η ακτοπλοΐα, διαθέτοντας 9 θέσεις / ράμπες πρυμνοδέτησης, ενώ δύο σύγχρονα finger piers προσφέρουν τη δυνατότητα πλαγιο-πρυμνοδέτησης για τέσσερα πλοία. Ο βορειοανατολικός προσήνεμος μόλος μήκους 350 μ. προσφέρεται για την πλαγιοδέτηση τουλάχιστον δύο πλοίων ταυτόχρονα. Στον βορειοανατολικό τομέα εξυπηρετούνται επίσης πλοία κρουαζιέρας, στη διάθεση των οποίων υπάρχει Επιβατικός Σταθμός εμβαδού 2.700 τ.μ. όπου υπάρχουν οι υποδομές των απαραίτητων ελέγχων (διαβατηριακός, αστυνομικός, τελωνειακός) που υπαγορεύονται από την προσαρμογή στον Κώδικα ISPS και στη συνθήκη ΣΕΝΓΚΕΝ.

Στη διάθεση των εμπορικών πλοίων υπάρχει ο νοτιοανατολικός προσήνεμος μόλος μήκους 190 μ. και τα νότια κρηπιδώματα μήκους 680 μ., με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η φορτοεκφόρτωση τουλάχιστον τριών πλοίων ταυτόχρονα. Στο νότιο μέρος του λιμανιού, υπάρχουν επίσης μεγάλες εκτάσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εναπόθεση φορτίων κάθε είδους. Στο λιμάνι δραστηριοποιείται ο σύνδεσμος φορτο-εκφορτωτών, ρυμουλκά



ενώ υπάρχει η Υπηρεσία πλοήγησης καθώς και ιδιώτες ιδιοκτήτες λαντζών, οι οποίοι εξυπηρετούν τα διερχόμενα πλοία από το αγκυροβόλιο του Λαυρίου.

Στο Λιμάνι του Λαυρίου υπάρχει επίσης ανεξάρτητο Αλιευτικό Καταφύγιο και «μαρίνα» σκαφών αναψυχής, δυναμικότητας 200 θέσεων. Οι εμπορικές δραστηριότητες του λιμένος μοιράζονται σε δύο τομείς. Στον βόρειο τομέα υπάρχει Τελωνειακή Αποθήκη και προσεγγίζουν πλοία τύπου Ro-Ro, ενώ στον νότιο τομέα του λιμανιού προσεγγίζουν κάθε είδους πλοία, μεταφοράς εμπορευμάτων και χύδην φορτίων.

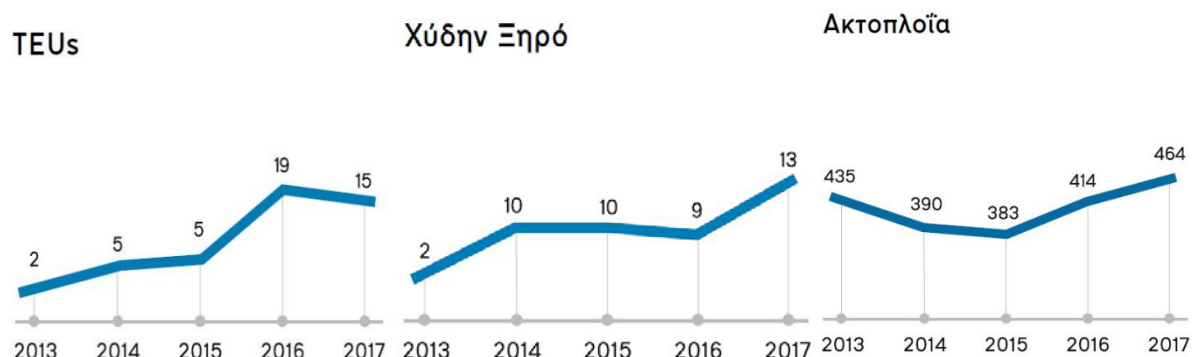


Σχήμα 3.1 Χάρτης του λιμένα Λαυρίου



### 3.2 Μελέτη στατιστικών στοιχείων από την κίνηση των πλοίων στο λιμάνι του Λαυρίου

Αρχικά μελετήθηκε η διακίνηση των TEUs, του χύδην φορτίου και των επιβατών τα τελευταία χρόνια. Στους τομείς της ακτοπλοΐας και του χύδην φορτίου που έχουν τη μεγαλύτερη δραστηριότητα στο λιμάνι παρατηρήθηκε αύξηση.



Διάγραμμα 3.1 Ετήσια στοιχεία διακίνησης στο λιμάνι Λαυρίου τη περίοδο 2013-2017

Λαύριο	2017	2016	Μεταβολή 2017/2016	2013	Μεταβολή 2017/2013
Εμπορευματοκιβώτια (TEUs)	15.463	18.939	-18,4%	2.012	+668,5%
Χύδην Ξηρό Φορτίο (Tons)	13.687	9.094	+50,5%	2.510	+445,4%
Ακτοπλοΐα (Επιβάτες)	464.402	414.798	+12%	435.829	+6,6%

Πίνακας 3.1 Αναλυτικά στοιχεία διακίνησης τη περίοδο 2013-2017

Στη συνέχεια προκειμένου να προσδιοριστεί η ζήτηση ισχύος και ο αριθμός των θέσεων ελλιμενισμού CI, έγινε ανάλυση των αφίξεων των πλοίων. Η συλλογή δεδομένων έγινε από το λιμεναρχείο του Λαυρίου για τη περίοδο Σεπτέμβριος 2019-Αύγουστος 2020. Πρώτον, για κάθε κατηγορία πλοίου που προσεγγίζει το λιμάνι του Λαυρίου, εντοπίστηκε ο αριθμός των διαφορετικών πλοίων και ο συνολικός αριθμός αφίξεων στην διάρκεια του έτους.

Category	No. of different ships	No. of calls
Passenger Ship/Ro-Ro	13	1061
Tanker	3	30
Bulk Carrier	86	107

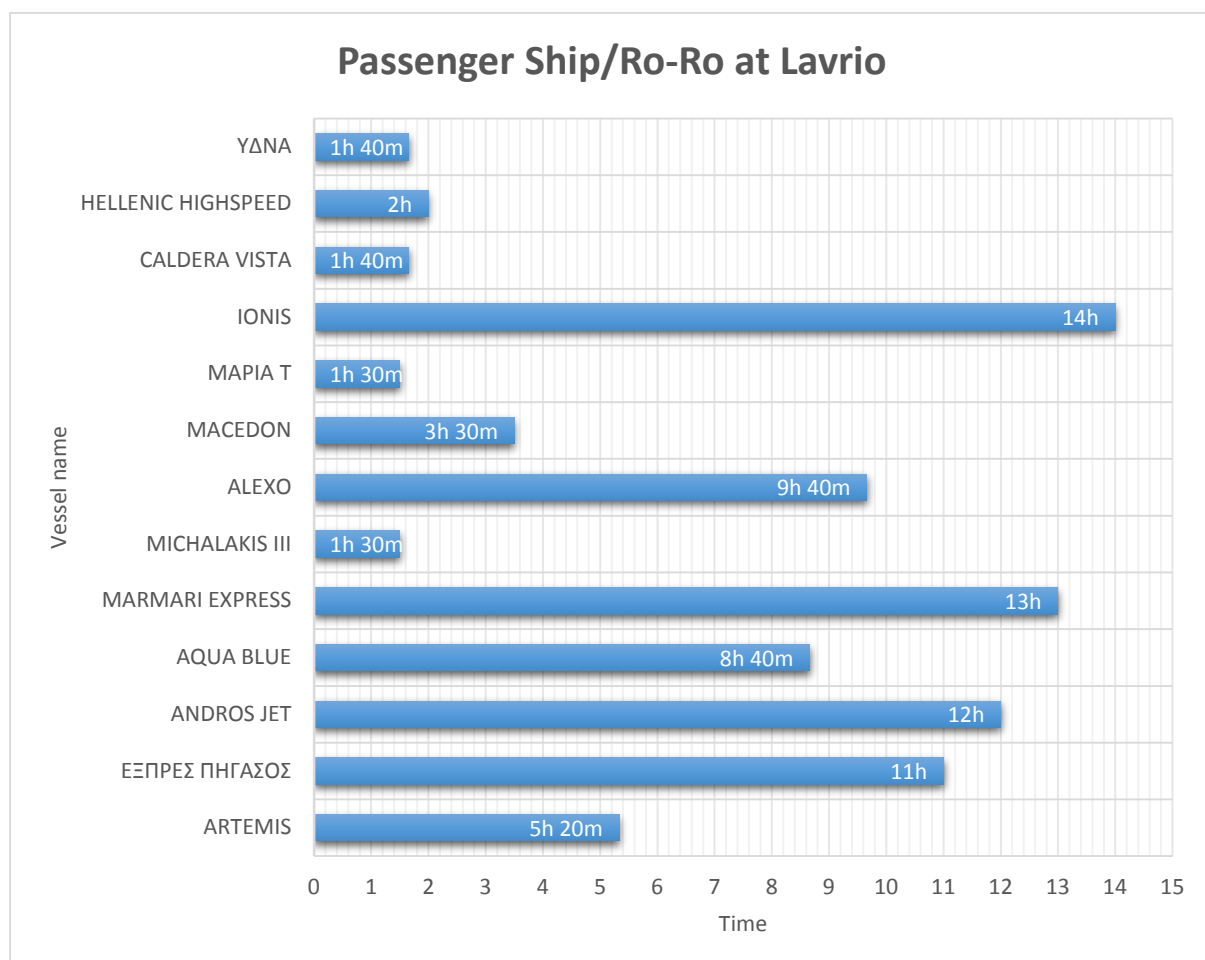
Ro-Ro	5	16
Cruises	4	4

Πίνακας 3.2 Αριθμός διαφορετικών πλοίων και σύνολο αφίξεων ανά κατηγορία πλοίου στο Λαύριο

Η μελέτη έχει χωριστεί σε δύο κατηγορίες. Αρχικά μελετάται το τμήμα ακτοπλοΐας και στη συνέχεια το εμπορικό.

### 3.2.1 Τμήμα ακτοπλοΐας

Το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει είναι η συλλογή όσο περισσότερων πληροφοριών γίνεται σχετικά με τα πλοία που επισκέπτονται το λιμάνι, τον αριθμό και την ονομαστική ισχύ των γεννητριών που έχουν εγκατεστημένες, τις ανάγκες τους για ηλεκτρική ισχύ κατά την παραμονή τους στο λιμάνι και τη συχνότητα και την κύρια τάση που λειτουργούν τα ηλεκτρικά τους συστήματα.. Τα πλοία έχουν σταθερά δρομολόγια αλλά υπάρχει μικρή διακύμανση ως προς την ώρα παραμονής. Έτσι έχει τεθεί μία σταθερή ώρα για κάθε πλοίο.



Διάγραμμα 3.2 Επιβατηγά πλοία που επισκέπτονται το Λαύριο συναρτήσει του χρόνου παραμονής

Ο οργανισμός λιμένος του Γκέτεμποργκ ισχυρίζεται ότι η σύνδεση και η αποσύνδεση είναι μια διαδικασία που διαρκεί λιγότερο από δέκα λεπτά για να ολοκληρωθεί. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός είναι ο βέλτιστος χρόνος χωρίς να υπάρχουν επιπλοκές. Στην πραγματικότητα, ο συνολικός χρόνος σύνδεσης και αποσύνδεσης μπορεί να είναι πολύ υψηλότερος λόγω του συντονισμού που απαιτείται μεταξύ του πληρώματος πλοίου και λιμένα, με τους χρόνους να ποικίλουν και να εκτιμώνται από μία έως και μιάμισης ώρας. Μπορεί επίσης να επηρεαστεί εάν ένα πλοίο θα λάβει πραγματικά την ακτογραμμή βάσει της διαθεσιμότητας ελλιμενισμού, αστοχίας εξοπλισμού και άλλων συμβάντων που ενδέχεται να περιορίσουν τον συνολικό χρόνο χρήσης της εγκατάστασης CI. Από την αναγραφόμενη ώρα έχει αφαιρεθεί ένα μισάωρο σε κάθε επίσκεψη που λαμβάνουμε υπόψη ως χρόνος σύνδεσης και αποσύνδεσης.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αφαιρεθούν από την μελέτη όσα πλοία έχουν χρόνο παραμονής μικρότερο από δύο ώρες. Για τα πλοία που έχουν επιλεγεί παρατίθεται πίνακας όπου αναγράφονται οι βασικές διαστάσεις τους, η συνολική χωρητικότητά τους και τα στοιχεία των γεννητριών τους.

Όνομα πλοίου	L (m)	B (m)	GRT	SDWT (t)	M.E (KW)	D/G (KW)	No. D/G	Hotelling Load (kW)	Hotelling Load (kVA)	Voltage (V)	Frequency (Hz)
ARTEMIS	89.8	14	1612	325	-	480	3	160	200	380	50
ΕΞΠΡΕΣ ΠΗΓΑΣΟΣ	125.7	18.5	4863	2250	11032	1320	4	440	550	415	60
ANDROS JET	59.9	17.8	2695	184	-	-		-	-	-	50
AQUA BLUE	137	22.1	12891	2250	15510	1430	3	475	594	440	60
MARMARI EXPRESS	96.4	16.6	1863	911	5295	850	2	340	425	380	50
ALEXO	155	25	20594	13090	6600	1160	3	385	482	400	60
MACEDON	90.1	15.4	1711	457	2647	480	3	160	200	380	50
IONIS	96.3	17.4	2440	880	5884	540	3	180	225	380	50
HELLENIC HIGHSPEED	100.3	17.1	4662	340	6875	1050	3	350	438	415	50

Πίνακας 3.3 Κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι του Λαυρίου

Για το ANDROS JET υπάρχει έλλειψη στοιχείων αλλά θα θεωρήσουμε σύμφωνα με τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου ότι Hotelling Load ισούται με 160 kW, η τάση με 415 V και η συχνότητα ίση με 50 Hz. Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι όλα τα πλοία είναι χαμηλής τάσης και ότι η συχνότητα παίρνει τιμές 50 Hz στα 2/3 των φορών και 60 Hz τις υπόλοιπες. Επίσης, για τον υπολογισμό της ισχύος σε kVA, δηλαδή της φαινόμενης ισχύος, θεωρούμε επαγωγικό συντελεστή 0.8

Όνομα πλοίου	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος
ARTEMIS	7	6	7	8	7	5	3	0	7	9	9	10
ΕΞΠΡΕΣ ΠΗΓΑΣΟΣ	12	11	13	11	11	12	0	0	0	0	0	0
ANDROS JET	4	4	3	4	4	4	4	5	5	4	3	0
AQUA BLUE	0	0	0	0	0	0	10	12	13	15	15	18
MARMARI EXPRESS	30	31	30	31	0	0	0	17	15	28	31	31
ALEXO	5	5	4	4	4	4	5	3	5	4	4	4
MACEDON	30	7	0	0	31	29	31	19	18	29	31	31
IONIS	0	0	0	0	0	0	24	0	0	26	31	30
HELLENIC HIGH SPEED	0	0	0	0	0	0	7	8	2	0	0	0
Total	88	64	57	58	57	54	84	64	65	115	124	124

Πίνακας 3.4 Αριθμός αφίξεων ανά μήνα

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι υπάρχει αυξημένη κίνηση τους θερινούς μήνες καθώς και ότι το πλοίο MACEDON που εκτελεί καθημερινά δρομολόγιο για Κέα-Κύθνο τους μήνες Οκτώβριο με Δεκέμβριο ήταν σε δεξαμενισμό. Τέλος παρατηρείται μείωση της τάξης του 25% στις αφίξεις για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο όπου ήταν η περίοδος που εμφανίστηκε ο κορονοϊός. Παρά τα παραπάνω δεν θα γίνουν τροποποιήσεις στα δεδομένα, διότι θα εξεταστεί σαν δυσμενή σενάριο για την αξιοπιστία της μελέτης.

Έχοντας το σύνολο των αφίξεων υπολογίζεται σε καθημερινή βάση πόσες θέσεις ελλιμενισμού χρειάζονται. Επίσης από την κατανάλωση του κάθε πλοίου αλλά και τον συνολικό χρόνο παραμονής στο λιμάνι, υπολογίζεται η συνολική ετήσια απαίτηση ρεύματος αλλά και η μέγιστη απαίτηση που πρέπει να καλυφθεί σε ημερήσια βάση.

Ημερήσιες αφίξεις πλοίων στο λιμάνι	Αρ. Ημερών	Ποσοστό στο έτος	Μέγιστη απαίτηση ρεύματος(kW)	kWh/χρόνο
0	5	0.013	0	0
1	72	0.197	475	1313778
2	100	0.274	915	2035053
3	98	0.268	1200	2286986
4	63	0.172	1380	2340530
5	28	0.076	1540	2353491

Πίνακας 3.5 Ανάλυση ημερήσιων αφίξεων

Από τον παραπάνω πίνακα αντλούμε πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των θέσεων υποδοχής που πρέπει να κατασκευαστούν στο λιμάνι καθώς και την μέγιστη απαιτούμενη ισχύ σε κάθε περίπτωση. Για τις συνολικές κιλοβατώρες, τις μέρες που υπήρχαν περισσότερα πλοία από τις θέσεις επιλέχθηκαν αυτά με την μεγαλύτερη απαίτηση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλη απόκλιση στις κιλοβατώρες για τις θέσεις υποδοχής 3,4 και 5 καθώς καλύπτονται πρώτα τα πλοία που έχουν μεγάλη απαίτηση και στη συνέχεια τα μικρότερα.

### 3.2.2 Εμπορικός τομέας

Για τον εμπορικό τομέα η συλλογή δεδομένων έγινε από το λιμεναρχείο του Λαυρίου με συμβολή του marinetraffic για τη περίοδο Νοέμβριος 2019-Οκτώβριος 2020, όπου δόθηκαν η ημερομηνία άφιξης και η διάρκεια παραμονής στο λιμάνι. Στη μελέτη έχουν υπολογισθεί όσα πλοία παραμείναν στο λιμάνι για διάρκεια μεγαλύτερη των δύο ωρών. Για τα παραπάνω πλοία βρέθηκαν οι βασικές διαστάσεις τους (L,B,GRT,SDWT, M.E Power). Από την μελέτη αφαιρέθηκαν τα κρουαζιερόπλοια διότι έχουν πολύ μεγάλη απαίτηση και οι επισκέψεις δεν επαρκούν ώστε να καλυφθούν τα έξοδα της εγκατάστασης.

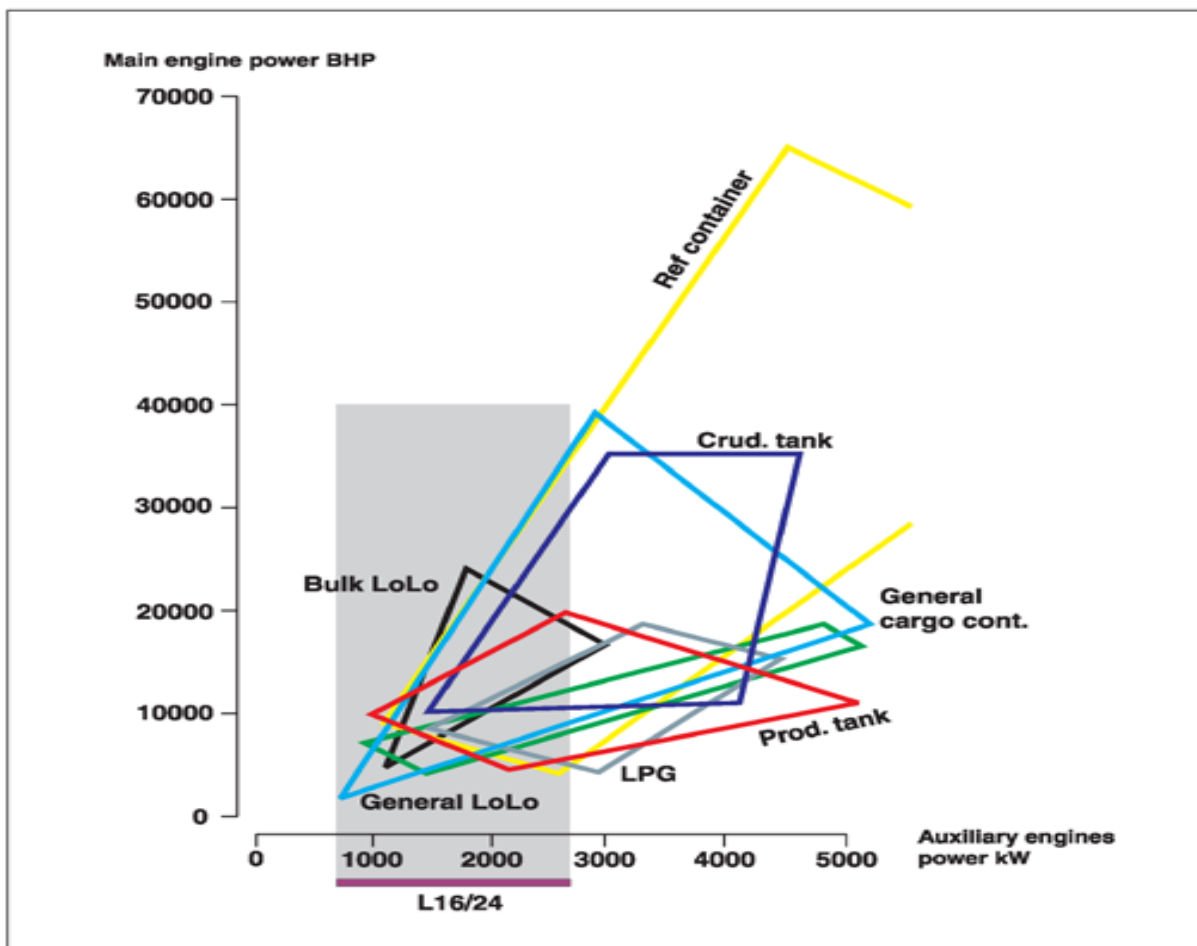
#### Bulk Carrier

Τα Bulk Carrier, είναι ένα εμπορικό πλοίο ειδικά σχεδιασμένο για τη μεταφορά μη συσκευασμένου φορτίου χύδην, όπως κόκκοι, άνθρακας, μεταλλεύματα και τσιμέντο στις δεξαμενές φορτίου του. Από τότε που κατασκευάστηκε το πρώτο πλοίο που εξειδικεύονταν στη μεταφορά χύδην φορτίων το 1852, οι οικονομικές συγκυρίες τελειοποίησαν την ανάπτυξη τέτοιων πλοίων, αυξάνοντας τη χωρητικότητα και το μέγεθός τους. Τα τελευταία χρόνια είναι ειδικά σχεδιασμένα για την μεγιστοποίηση της χωρητικότητας, της ασφάλειας, της αποδοτικότητας και της ανθεκτικότητας.

## Ζήτηση Ισχύος

Τα Bulk Carrier γενικά, είναι πλοία που έχουν χαμηλές ενεργειακές ανάγκες. Επειδή το λιμάνι του Λαυρίου επισκέπτονται μικρά πλοία τα οποία έχουν τους δικούς τους γεραμούς για να εξυπηρετούν τις ανάγκες φόρτωσης και εκφόρτωσης έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η ισχύς. Τα περισσότερα χρησιμοποιούν δίχρονους κινητήρες και βοηθητικούς κινητήρες ντίζελ για την κάλυψη των αναγκών τους.

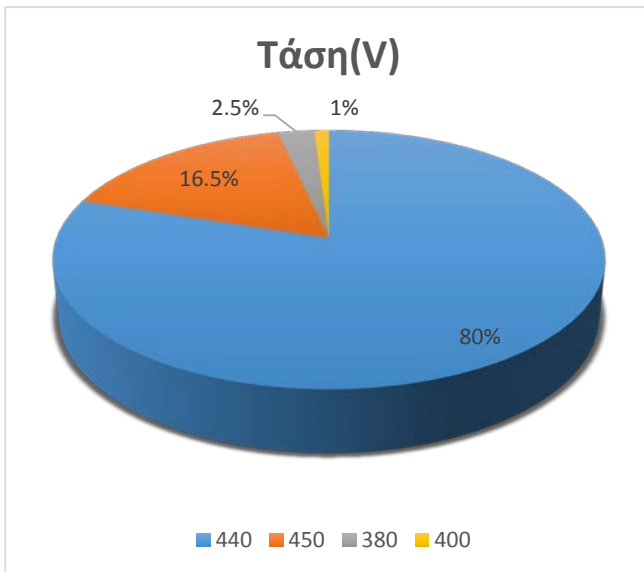
Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απαίτησης, βρέθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των πλοίων. Από την ισχύς της κύριας μηχανής και τη σχέση  $P_{e_M} = 100 + 0.55 * P_{MCR}^{0.7}$  υπολογίζεται το μέσο ηλεκτρικό φορτίο για κάθε ηλεκτρογεννήτρια. Από όμοια πλοία θεωρήθηκε ότι υπάρχουν τρεις ηλεκτρογεννήτριες και όταν είναι στο λιμάνι λειτουργεί η μία στο 80% της ισχύς της. Ακόμα έγινε έλεγχος στις τιμές απαίτησης ισχύος για βοηθητικά συστήματα, από το παρακάτω διάγραμμα της MAN (διάγραμμα 3.2) για πλοία General Cargo. Από τα διάγραμμα λήφθηκε υπόψη προσαύξηση 20% στον αρχικό τύπο.



Διάγραμμα 3.3 Απαίτηση ισχύος για βοηθητικά συστήματα

### Τάση και συχνότητα συστήματος

Η συντριπτική πλειονότητα των πλοίων λειτουργεί με χαμηλή τάση 440 V και με συχνότητα στα 60 Hz.



Διάγραμμα 3.4 Κύρια τάση λειτουργείας



Διάγραμμα 3.5 Συχνότητα λειτουργείας

### Αφίξεις Bulk Carriers στο Λαύριο

Στο λιμάνι του Λαυρίου από τις 107 αφίξεις οι 84 είχαν διάρκεια μεγαλύτερη των δύο ωρών, εκ των οποίων τα 60 ήταν διαφορετικά πλοία. Από αυτά τη μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση έχει το ANNE SOFIE όπου καταναλώνει 487,7 kW την ώρα. Το σύνολο των κιλοβατώραν που καταναλώθηκαν ανέρχεται στις 886259,3 kWh.

#### Tanker

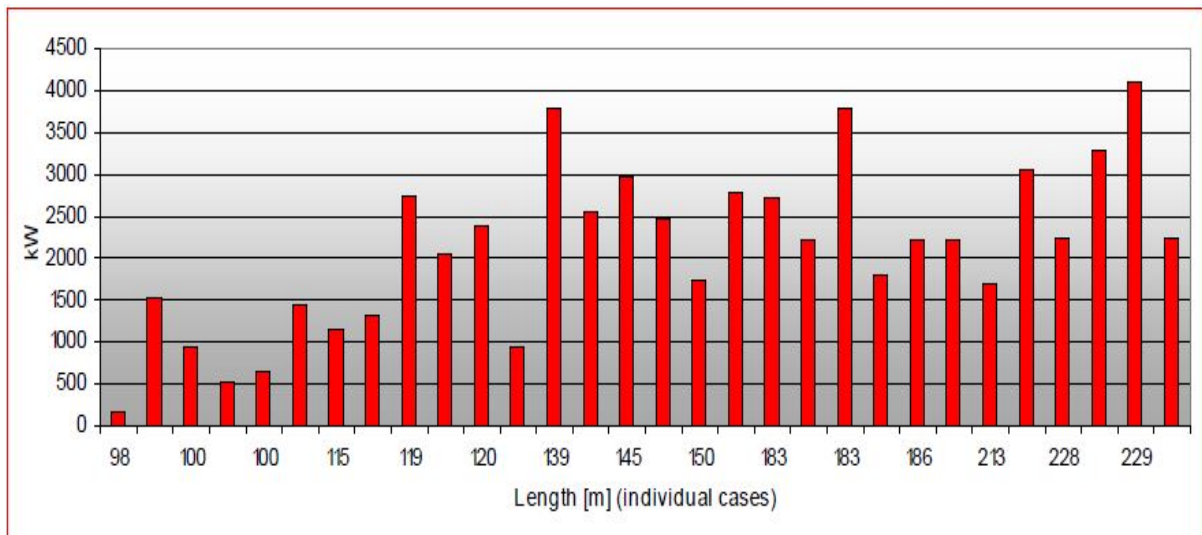
Tanker είναι ένα πλοίο σχεδιασμένο να μεταφέρει υγρά φορτία χύδην (χύμα). Τα δεξαμενόπλοια αυτά ποικίλλουν σε μέγεθος. Ξεκινούν από μερικές εκατοντάδες τόνους, τα οποία εξυπηρετούν μικρά λιμάνια, ως βοηθητικά λιμένας ή ναυστάθμου και φτάνουν μέχρι μερικές εκατοντάδες χιλιάδες τόνους, τα οποία χρησιμοποιούνται για μεταφορές μεγάλων ποσοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις.

#### Ζήτηση Ισχύος

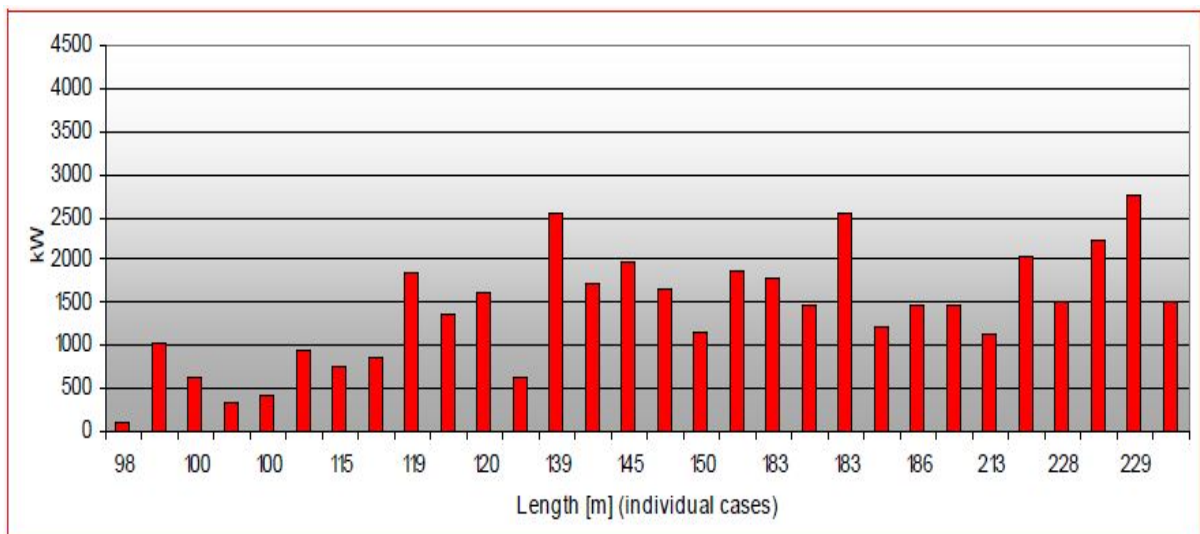
Τα Tanker είναι πλοία που έχουν υψηλές ενεργειακές ανάγκες λόγω της χρήσης του δικτύου σωληνώσεων που έχει καθώς και για την εκφόρτωση όπου απαιτείται η χρήση αντλιών. Στο λιμάνι του Λαυρίου γίνεται μόνο η διαδικασία της εκφόρτωσης για την κάλυψη των αναγκών της ευρύτερης περιοχής. Τα περισσότερα χρησιμοποιούν δίχρονους κινητήρες και βοηθητικούς κινητήρες ντίζελ για την κάλυψη των αναγκών τους.



Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απαίτησης, βρέθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των πλοίων. Από την ισχύς της κύριας μηχανής και τη σχέση  $Pe_M=100+0.55*P_{MCR}^{0.7}$  υπολογίζεται το μέσο ηλεκτρικό φορτίο για κάθε ηλεκτρογεννήτρια. Από όμοια πλοία θεωρήθηκε ότι υπάρχουν τρεις ηλεκτρογεννήτριες και όταν είναι στο λιμάνι λειτουργούν οι δύο στο 80% της ισχύς τους σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα της ABB. Ακόμα έγινε έλεγχος στις τιμές απαίτησης ισχύος για βοηθητικά συστήματα, από το παραπάνω διάγραμμα της MAN (διάγραμμα 3.2) για πλοία Product Tanker. Από τα διάγραμμα λήφθηκε υπόψη προσαύξηση 30% στον αρχικό τύπο.



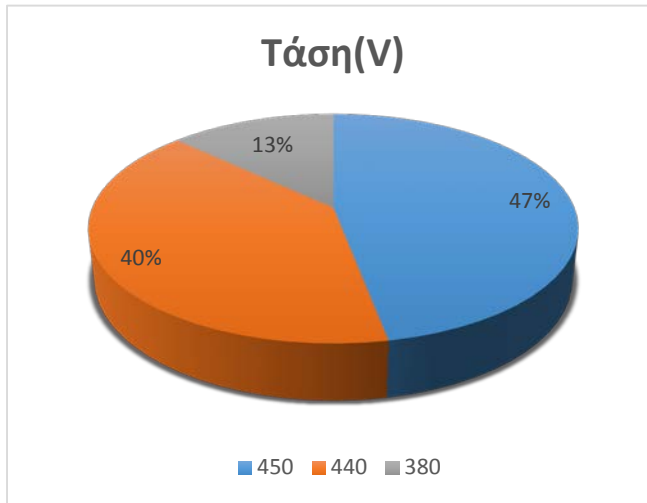
Διάγραμμα 3.6 Συνολικά εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς επί του σκάφους



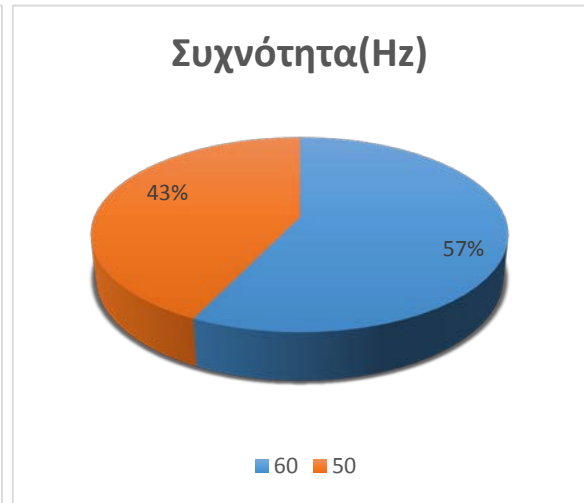
Διάγραμμα 3.7 Μέση κατανάλωση ενέργειας στο λιμάνι

### Τάση και συχνότητα συστήματος

Όλα τα πλοία λειτουργούν με χαμηλή τάση 380-450 V και η συχνότητα στα περισσότερα είναι στα 60 Hz.



Διάγραμμα 3.8 Κύρια τάση λειτουργείας



Διάγραμμα 3.9 Συχνότητα λειτουργείας

### Αφίξεις Tanker στο Λαύριο

Το λιμάνι του Λαυρίου επισκέφτηκαν 3 διαφορετικά Product Tanker με τον συνολικό αριθμό αφίξεων να ανέρχεται στις 30, όπου όλες είχαν διάρκεια μεγαλύτερη των δύο ωρών. Από αυτά τη μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση έχει το ELER όπου καταναλώνει 429 kW την ώρα. Το σύνολο των κιλοβατώραν που καταναλώθηκαν ανέρχεται στις 286.320 kWh.

### RoRo

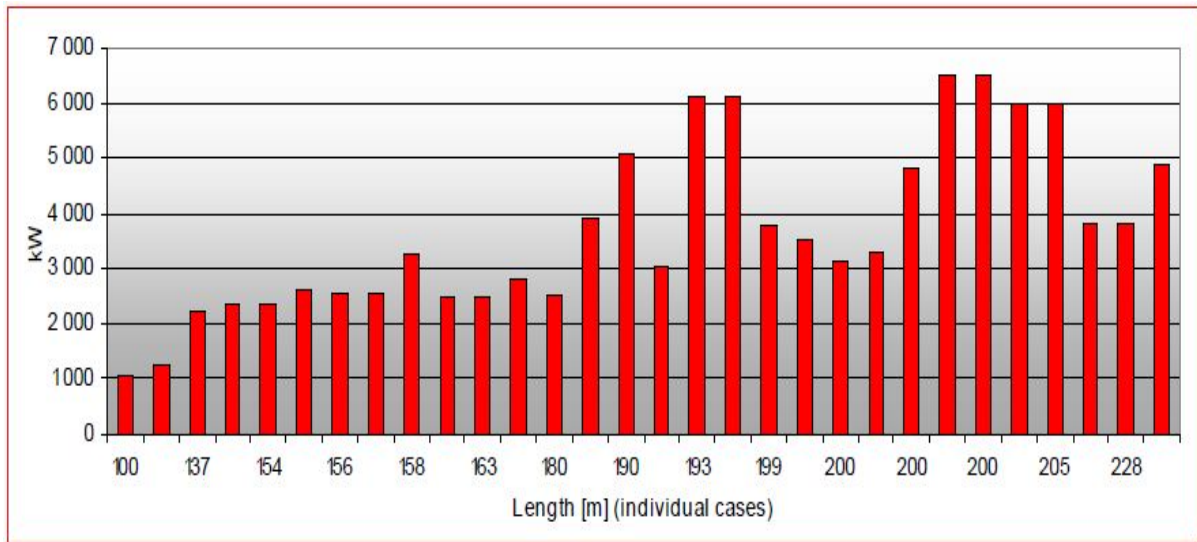
Το πλοίο RoRo (roll-on/roll-off) είναι τύπος εμπορικού πλοίου, σχεδιασμένο για την μεταφορά τροχοφόρων φορτίων, όπως αυτοκίνητα, φορτηγά, ημιρυμουλκούμενα, ρυμουλκούμενα και βαγόνια. Η φόρτωσή τους γίνεται είτε με ίδια μέσα, είτε με τροχοφόρες πλατφόρμες. Τα πλοία Ro-Ro χρησιμοποιούν ράμπες, είτε ενσωματωμένες, είτε επίγειες, για τη φόρτωση των οχημάτων, οι οποίες βρίσκονται είτε στην πλώρη, είτε στην πρύμνη, είτε και στις δύο.

### Ζήτηση Ισχύος

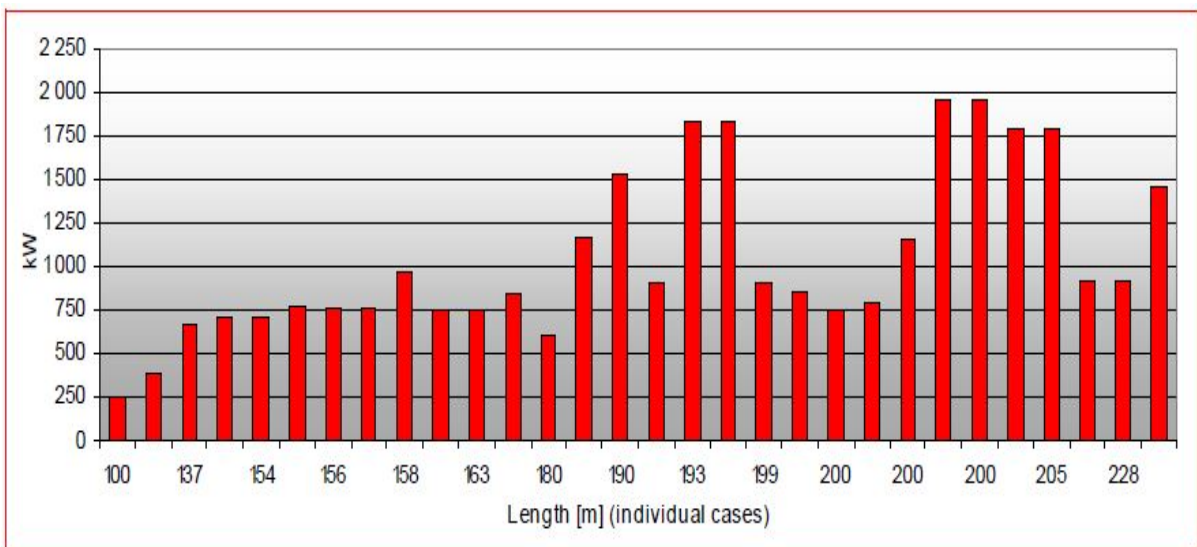
Τα RoRo γενικά είναι πλοία που έχουν χαμηλές ενεργειακές ανάγκες λόγω της χρήσης ραμπών που έχουν εγκατεστημένες για την φόρτωση-εκφόρτωση σε αντίθεση με τα Container που χρησιμοποιούν γερανούς. Τα περισσότερα χρησιμοποιούν δίχρονους κινητήρες και βοηθητικούς κινητήρες ντίζελ για την κάλυψη των αναγκών τους.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απαίτησης, βρέθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των πλοίων. Από την ισχύς της κύριας μηχανής και τη σχέση  $P_{eM}=100+0.55*P_{MCR}^{0.7}$  υπολογίζεται το μέσο ηλεκτρικό φορτίο για κάθε ηλεκτρογεννήτρια. Από όμοια πλοία θεωρήθηκε ότι υπάρχουν τρεις ηλεκτρογεννήτριες και όταν είναι στο λιμάνι λειτουργεί η μία στο 60% της

ισχύς της σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα της ABB. Ακόμα έγινε έλεγχος στις τιμές απαίτησης ισχύος για βοηθητικά συστήματα, από το παραπάνω διάγραμμα της MAN (διάγραμμα 3.2) για πλοία General Cargo Container. Σύμφωνα με το διάγραμμα δεν θα ληφθεί κάποια προσαύξηση.



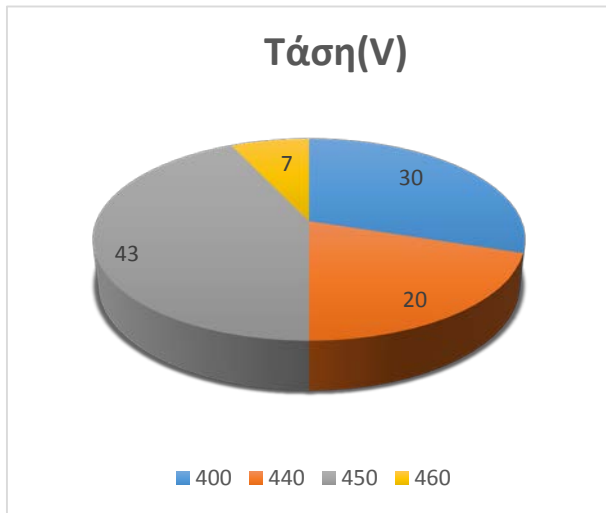
Διάγραμμα 3.10 Συνολικά εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς επί του σκάφους



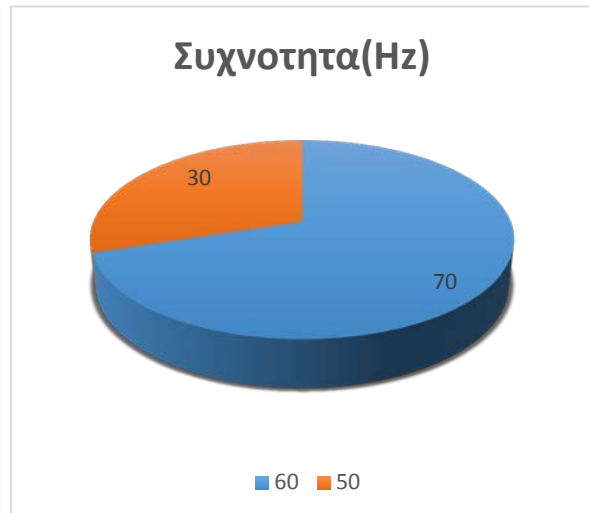
Διάγραμμα 3.11 Μέση κατανάλωση ενέργειας στο λιμάνι

### Τάση και συχνότητα συστήματος

Όλα τα πλοία λειτουργούν με χαμηλή τάση 400-460 V και η συχνότητα στα περισσότερα είναι στα 60 Hz.



Διάγραμμα 3.12 Κύρια τάση λειτουργίας



Διάγραμμα 3.13 Συχνότητα λειτουργίας

### Αφίξεις RoRo στο Λαύριο

Το λιμάνι του Λαυρίου επισκέφτηκαν 4 διαφορετικά RoRo με τον συνολικό αριθμό αφίξεων να ανέρχεται στις 19, όπου όλες πλην μίας είχαν διάρκεια μεγαλύτερη των δύο ωρών. Από αυτά τη μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση έχει το AKRITAS όπου καταναλώνει 313.2 kW την ώρα. Το σύνολο των κιλοβατώραν που καταναλώθηκαν ανέρχεται στις 210.816 kWh.

Παρακάτω είναι ο συγκεντρωτικός πίνακας σύμφωνα με τον οποίο θα γίνει η χρηματοοικονομική ανάλυση καθώς και η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού. Στις συνολικές kWh έχουν υπολογισθεί τα πλοία με τη μεγαλύτερη απαίτηση όταν ήταν δύο πλοία παράλληλα δεμένα στο λιμάνι. Τέλος παρατηρούμε ότι μεγαλύτερη κινητικότητα έχουν τα Bulk Carrier.

Κατηγορία πλοίου	Μέγιστη απαίτηση σε kVA	Συνολικές kWh/χρόνο
Bulk Carrier	610	886.259
Tanker	537	286.320
RoRo	392	210.816
Total		1.383.395

Πίνακας 3.6 Συγκεντρωτικός πίνακας της ζήτησης ισχύος των εμπορικών πλοίων

### 3.3 Τεχνικοοικονομική μελέτη του τομέα της ακτοπλοΐας ανάλογα με τις θέσεις υποδοχής που δημιουργηθούν

Η ανάλυση αρχικά έγινε για τον τομέα ακτοπλοΐας όπου μελετήθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια για τις πόσες θέσεις υποδοχής θα δημιουργηθούν ώστε η εγκατάσταση να είναι η πιο επικερδής. Από τα σενάρια έχει αποκλειστεί το να γίνει μία θέση, καθώς είναι άνισο ως προς τις ναυτιλιακές εταιρείες στο θέμα του ανταγωνισμού. Ακόμα δεν συμβάλει στο να εγκαταστήσουν τον απαραίτητο μηχανισμό για την ηλεκτρική τροφοδότηση από την στιγμή που δεν κρίνεται επικερδές διότι το λιμάνι δεν μπορεί να εγγυηθεί συνεχόμενη χρήση μέσα στο έτος. Επίσης απορρίφθηκε το να δημιουργηθούν πέντε θέσεις υποδοχής λόγω μικρής διαφοράς ως προς τις κιλοβατώρες σε σχέση με τις τέσσερις θέσεις. Ας σημειωθεί ακόμα ότι είναι πιθανό οι τέσσερις θέσεις να καλύπτουν εξολοκλήρου τις ημερήσιες ανάγκες λόγω της διαφοράς ώρας μεταξύ αναχώρησης και άφιξης των πλοίων.

Για τις θέσεις υποδοχής που μελετήθηκαν έγινε πρώτα τεχνική μελέτη της εγκατάστασης και κοστολόγηση αυτής και σε συνέχεια υπολογίστηκαν οι οικονομικοί δείκτες της εκάστοτε περίπτωσης. Με την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης και την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού πραγματοποιήθηκε ανάλυση σχετικά με την επέκταση στον εμπορικό τομέα .

#### Σενάριο πρώτο

Σε αυτή τη περίπτωση εξετάστηκε το σενάριο του να δημιουργηθούν δύο θέσεις υποδοχής για την σύνδεση των πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι με το ηλεκτρικό δίκτυο της στεριάς για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών τους αναγκών κατά τον ελλιμενισμό. Η μέση ονομαστική ισχύς είναι στα 330 kVA με τη μέγιστη να ανέρχεται στα 594 kVA. Όπως αναλύθηκε παραπάνω, τα τρία από τα εννιά πλοία που επισκέπτονται το λιμάνι λειτουργούν στα 60 Hz. Αυτό σημαίνει ότι είναι απαραίτητη η χρήση μετατροπέα συχνότητας που θα μετατρέπει τη συχνότητα του δικτύου της στεριάς που είναι 50 Hz στα 60 Hz. Τέλος λειτουργούν όλα με χαμηλή τάση οπότε είναι αναγκαίος μετασχηματιστής για να ρίχνει την τάση από μεσαία που είναι το δίκτυο της ΔΕΗ.

Για την διαστασιολόγηση του μεγέθους του εξοπλισμού που απαιτείται, θα εξεταστεί το χειρότερο σενάριο. Όπως παρατηρείται η μέγιστη ζήτηση ισχύος είναι 1076 kVA όπου διαμορφώνεται με την παράλληλη άφιξη των πλοίων AQUA BLUE και ALEXO που έχουν 594 kVA και 482 kVA αντίστοιχα. Οι μετασχηματιστές για κάθε θέση ελλιμενισμού θα καθοριστούν από τα αναφερθέντα φορτία σε kVA. Ως αποτέλεσμα, επιλέγονται οι ακόλουθοι μετασχηματιστές. Η πρώτη θέση υποδοχής θα είναι εξοπλισμένη με μετασχηματιστή που έχει ονομαστική ισχύ 750 kVA, για να μπορεί να φιλοξενήσει το πλοίο με τις υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος συν κάποιας προσαύξησης που μπορεί να προκύψει μελλοντικά. Η δεύτερη θέση θα μπορεί να καλύψει όλα τα πλοία πλην των δύο μεγαλύτερων τα οποία εξυπηρετούν την ίδια γραμμή οπότε δεν συμπίπτουν ποτέ στο λιμάνι και έχει ονομαστική ισχύ 500 kVA.

Για την επίτευξη αυτής της ονομαστικής ισχύος θα χρειαστούν δύο μετατροπείς συχνότητας. Στις δύο θέσεις υποδοχής συμβαίνει να τροφοδοτούνται ταυτόχρονα δύο πλοία με 60 Hz οπότε πρέπει να καλύπτεται το σύνολο της ισχύος. Η επιλογή είναι ο PCS 100 SFC-750 με μέγιστη ισχύ 750 kVA και ο PCS 100 SFC-500 της ABB όπου είναι αντίστοιχου μεγέθους με τους μετασηματιστές. Οι επιλεγμένες μονάδες μετατροπών έχουν είσοδο τάσης 200-480 V και έξοδο τάσης 400-480 V. Ως εκ τούτου, θα τοποθετηθούν πρώτα οι μετασηματιστές και θα έχουν την αντίστοιχη ονομαστική ισχύ εξόδου και μείωση της τάσης ρεύματος από 20kV σε 400 V.

Θα χρειαστεί καλώδιο για τη σύνδεση του υποσταθμού του λιμανιού με τον κάθε υποσταθμό που είναι ο μετασηματιστής και ο μετατροπέας συχνότητας, με το εξωτερικό δίκτυο διανομής της ΔΕΗ. Η συνολική απόσταση που πρέπει να καλυφτεί από τον υποσταθμό που έρχεται το ρεύμα από την ΔΕΗ μέχρι τους επιμέρους υποσταθμούς είναι 400 μέτρα. Για τη σύνδεση των μετασηματιστών που βρίσκονται στις αποβάθρες με τα πλοία θα χρησιμοποιηθούν δυο εναέρια καλώδια 50 μέτρων το καθένα. Τα εναέρια καλώδια πρέπει να έχουν αρκετό περιθώριο για να είναι άνετη η σύνδεση με το εκάστοτε πλοίο και να μην υπάρχει κίνδυνος τεντώματος και αποκοπής. Χρησιμοποιούνται δυο εναέρια καλώδια γιατί έτσι προτείνει το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 80005-3 για συνδέσεις χαμηλών τάσεων.

Η επιλογή της διατομής των καλωδίων γίνεται ανάλογα με το ρεύμα που διέρχεται από αυτά, το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση  $I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$ , όπου S είναι η φαινόμενη ισχύς που διέρχεται από αυτά και V η τάση στην οποία λειτουργούν. Για τα καλώδια μέχρι τους υποσταθμούς, τα δυο υπόγεια και τα δυο εναέρια, ο υπολογισμός θα γίνει για S=725 και S=500 kVA, που είναι το μέγιστο φορτίο που μπορεί να αντέξει ο μετατροπέας συχνότητας άρα και το μέγιστο φορτίο στο οποίο πρόκειται να δουλέψει το όλο σύστημα. Ως προς την τάση, για το καλώδιο σύνδεσης του υποσταθμού με το εξωτερικό δίκτυο, V=20 kV, που είναι η τάση του δικτύου. Για τα καλώδια μεταξύ υποσταθμών και πλοίου η τάση είναι V=0.44 kV

Το εγχείρημα της μετατροπής του λιμανιού του Λαυρίου σε φιλικό προς το περιβάλλον λιμάνι μέσω της εγκατάστασης συστήματος cold-ironing έχει προφανώς ένα σημαντικό κόστος. Τα κύρια ηλεκτρολογικά στοιχεία που απαρτίζουν τέτοιου είδους εγκαταστάσεις είναι οι frequency converters, οι μετασηματιστές και τα καλώδια τροφοδοσίας. Από αυτά τα τρία είδη κατά φθίνουσα τιμή τα πιο ακριβά είναι πρώτα οι converters, μετά οι μετασηματιστές και τελευταία τα καλώδια.

Ύστερα από έρευνα στην αγορά για εύρεση όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων και κοντά στην πραγματικότητα τιμών για τα προαναφερθέντα ηλεκτρολογικά στοιχεία, διαπιστώθηκε ότι:

- Ένας frequency converter κοστίζει περίπου 200.000€ ανά 1MVA ισχύος.
- Ένας μετασηματιστής κοστίζει περίπου 30.000€ ανά 1MVA ισχύος.
- Τα καλώδια μεσαίας αλλά και χαμηλής τάσης κοστίζουν από 20€ έως 30€ ανά μέτρο και η τιμή διαφέρει 1€ με 2€ ανά διατομή. Οπότε μπορεί να θεωρηθεί τιμή 25€ ανά μέτρο για τους υπολογισμούς.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία για την περίπτωση του Λαυρίου καταλήγουμε στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες.

<b>Installation Cost</b>			
System Size		1250 kVA	
<b>Substations</b>			
		Cost in euro €	%
Buildings	180m <sup>2</sup>	36.000	4.34
	170m <sup>2</sup>	34.000	4.09
Frequency converters	1 × 750 kVA	170.000	20.47
	1 × 500 kVA	130.000	15.66
Transformers	1 × 750 kVA	25.000	3.01
	1 × 500 kVA	17.000	2.05
Switchgears		125.000	15.05
Circuit breakers, switchboards, cables		75.000	9.03
Cooling ventilation, fire detection, lighting, alarm		25.000	3.01
Connection boxes	2	51.000	6.14
<b>Power distribution</b>			
20 kV cables	400m	12.000	1.45
1 kV cables	500m	55.000	2.65
Total estimated cost		755.000	
Total estimated cost + 15% uncertain costs		868.250	

Πίνακας 3.7 Κόστος εγκατάστασης δύο θέσεων υποδοχής για τον τερματικό σταθμό επιβατών του λιμανιού του Λαυρίου

<b>Maintenance and operating costs</b>		
	Number of employees	Annual wage / person €
Electrician - Engineers	1	24.000
Technicians	4	14.000
Total annual operating cost	80.000	
Maintenance cost	3% of the total installation cost	
Total annual cost estimation	104.909	

Πίνακας 3.8 Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης

### Σενάριο δεύτερο

Σε αυτή τη περίπτωση εξετάστηκε το σενάριο του να δημιουργηθούν τρεις θέσεις υποδοχής. Η διαφορά με το προηγούμενο σενάριο είναι η δημιουργία άλλης μίας θέσης η οποία θα έχει δυνατότητα να δίνει ρεύμα και στις δύο συχνότητες. Για την διαστασιολόγηση του μεγέθους του εξοπλισμού που απαιτείται, θα εξεταστεί το χειρότερο σενάριο. Όπως παρατηρείται η μέγιστη ζήτηση ισχύος είναι 1500 kVA όπου διαμορφώνεται με την παράλληλη άφιξη των πλοίων AQUA BLUE, ALEXO και MARMARI EXPRESS που έχουν 594 kVA, 482 kVA και 425 kVA αντίστοιχα. Σε αυτό το σενάριο η συνδεσμολογία της εγκατάστασης διαφέρει από την

προηγούμενη καθώς θα υπάρχει ένας μετατροπέας συχνότητας στον βασικό υποσταθμό και μετά θα πηγαίνει σε τρεις επιμέρους υποσταθμούς όπου θα βρίσκονται οι μετασχηματιστές. Οι μετασχηματιστές για κάθε θέση ελλιμενισμού θα καθοριστούν από τα αναφερθέντα φορτία σε kVA. Ως αποτέλεσμα, επιλέγονται οι ακόλουθοι μετασχηματιστές. Η πρώτη θέση υποδοχής θα είναι εξοπλισμένη με μετασχηματιστή που έχει ονομαστική ισχύ 750 kVA, για να μπορεί να φιλοξενήσει το πλοίο με τις υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος συν κάποιας προσαύξησης που μπορεί να προκύψει μελλοντικά. Η δεύτερη και η τρίτη θέση θα μπορούν να καλύψουν όλα τα πλοία πλην των δύο μεγαλύτερων τα οποία εξυπηρετούν την ίδια γραμμή οπότε δεν συμπίπτουν ποτέ στο λιμάνι και έχουν ονομαστική ισχύ 500 kVA.

Για την επίτευξη της ηλεκτροδότησης θα χρειαστεί ένας μετατροπέας συχνότητας που θα καλύπτει το σύνολο της εγκατάστασης και θα έχει ισχύ 1750 kVA. Ο μετατροπέας συχνότητας θα είναι ο PCS 100 SFC-1750 με μέγιστη ισχύ 1750 kVA της ABB. Ο επιλεγμένος μετατροπέας έχει είσοδο τάσης 200-480 V και έξοδο τάσης 400-480 V. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την τοποθέτηση ενός μετασχηματιστή εισόδου που θα χαμηλώνει την τάση του δικτύου από τα 20 kV στα 400 V και θα έχει αντίστοιχη ισχύ με αυτή του μετατροπέα στα 1750 kVA και ενός μετασχηματιστή εξόδου που θα επαναφέρει την τάση στα 20 kV για την οικονομικότερη μεταφορά του ρεύματος.

Η αύξηση της τρέχουσας τάσης στα 20kV γίνεται με σκοπό τη διανομή της ισχύς εξόδου από τον κύριο υποσταθμό έως τις θέσεις ελλιμενισμού, σε υψηλή τάση καθώς ελαχιστοποιείται το ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μέσω των καλωδίων. Όπως παρατηρείται από τον παρακάτω τύπο:

$$P = V \times I$$

Όπου, το P είναι η πραγματική κατανεμημένη ισχύς σε kW, το V είναι η τάση ρεύματος και I το ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μέσω των αγωγών των καλωδίων. Όπως παρατηρείται, μπορεί να επιτευχθεί η ίδια ισχύ αυξάνοντας την τάση ρεύματος και μειώνοντας το ηλεκτρικό ρεύμα. Κατά συνέπεια, απαιτούνται καλώδια με μικρότερες διατομές και το συνολικό κόστος μειώνεται σημαντικά.

Ο υποσταθμός που είναι τοποθετημένος ο μετατροπέας θα κατασκευαστεί πλησίον του κεντρικού υποσταθμού του λιμανιού. Η συνολική απόσταση που πρέπει να καλυφτεί από τον υποσταθμό μέχρι τους επιμέρους υποσταθμούς είναι 650 μέτρα. Η σύνδεση πλοίου υποσταθμού θα θεωρηθεί αντίστοιχη με το προηγούμενο σενάριο όπως και η διαστασιολόγηση υπολογίστηκε με τον ίδιο τρόπο.

Installation Cost			
System Size		1750 kVA	
Substations			
		Cost in euro €	%
Building	230 m <sup>2</sup>	48.000	4.44
Frequency converters	1 × 1750 kVA	350.000	32.36
Converter's supply transformer	1 × 1750 kVA	42.500	3.93



Converter's output transformer	1 × 1750 kVA	42.500	3.93
Switchgears		140.000	12.94
Cooling ventilation, fire detection, lighting, alarm		30.000	2.77
<b>Power distribution</b>			
20 kV cables	650m	19.500	1.80
1 kV cables	300m	33.000	3.05
<b>Shore side substations</b>			
Building	3 × 60 m <sup>2</sup>	30000	2.77
Transformers	1 × 750 kVA	25.000	2.31
	2 × 500 kVA	34.000	3.14
Circuit breakers, switchboards, cables		100.000	9.25
Connection boxes	3	76.000	7.03
Total estimated cost		940.500	
Total estimated cost + 15% uncertain costs		1.081.575	

Πίνακας 3.9 Κόστος εγκατάστασης τριών θέσεων υποδοχής για τον τερματικό σταθμό επιβατών του λιμανιού του Λαυρίου

Maintenance and operating costs		
	Number of employees	Annual wage / person €
Electrician - Engineers	1	24.000
Technicians	4	14.000
Total annual operating cost	80.000	
Maintenance cost	3% of the total installation cost	32.447
Total annual cost estimation	112.447	

Πίνακας 3.10 Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης

### Σενάριο τρίτο

Σε αυτή τη περίπτωση εξετάστηκε το σενάριο του να δημιουργηθούν τέσσερις θέσεις υποδοχής. Όπως έχει αναφερθεί τα τρία στα εννιά πλοία χρειάζονται μετατροπή συχνότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση του προηγούμενου σεναρίου συν της προσθήκης μίας επιπλέον θέσης στην οποία δεν χρειάζεται μετατροπή συχνότητας. Για την επιπλέον θέση θα κατασκευαστεί υποσταθμός που θα περιέχει μετασχηματιστή με ονομαστική ισχύ 500 kVA, ο οποίος θα τροφοδοτείται απευθείας από τον υποσταθμό που έρχεται το ρεύμα από τη ΔΕΗ. Τα υπόλοιπα προκύπτουν σύμφωνα με τη μεθοδολογία που έχει αναφερθεί.

Installation Cost			
System Size		1750 kVA	
<b>Substations</b>			
		Cost in euro €	%
Building	230 m <sup>2</sup>	48.000	4.17
Frequency converters	1 × 1750 kVA	350.000	30.37

Converter's supply transformer	1 × 1750 kVA	42.500	3.69
Converter's output transformer	1 × 1750 kVA	42.500	3.69
Switchgears		140.000	12.15
Cooling ventilation, fire detection, lighting, alarm		30.000	2.60
<b>Power distribution</b>			
20 kV cables	900m	27.000	2.34
1 kV cables	400m	44.000	3.82
<b>Shore side substations</b>			
Building	4 × 60 m <sup>2</sup>	40000	3.47
Transformers	1 × 750 kVA	25.000	2.17
	3 × 500 kVA	51.000	4.43
Circuit breakers, switchboards, cables		100.000	8.68
Connection boxes	4	102.000	8.85
Total estimated cost		1.002.500	
Total estimated cost + 15% uncertain costs		1.152.300	

Πίνακας 3.11 Κόστος εγκατάστασης τεσσάρων θέσεων υποδοχής για τον τερματικό σταθμό επιβατών του λιμανιού του Λαυρίου

Maintenance and operating costs		
	Number of employees	Annual wage / person €
Electrician - Engineers	1	24.000
Technicians	5	14.000
Total annual operating cost	94.000	
Maintenance cost	3% of the total installation cost	34.569
Total annual cost estimation	128.569	

Πίνακας 3.12 Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης

### Τιμή της kWh

Το λιμάνι Λαυρίου ανήκει στους μεγάλους πελάτες της ΔΕΗ. Κατά συνέπεια η τιμή της kWh ορίζεται έπειτα από διακανονισμό των δύο φορέων. Η τιμή της θα οριστεί στα 0,07 €/kWh. Στη συνέχεια έγινε υπολογισμός του κόστους για τα πλοία.

Για την εύρεση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του πλοίου σε ευρώ ανά kWh για τα πλοία που μελετήθηκαν βρέθηκε η ειδική κατανάλωση καυσίμου SFOC, η οποία ποικίλει μεταξύ 210-240 g/kWh με μεγαλύτερη συχνότητα την τιμή 230 g/kWh. Σε αυτήν την τιμή θα γίνει προσαύξηση 25% λόγω του ποσοστού λειτουργίας στο λιμάνι αλλά και λόγω παλαιότητας των ηλεκτρογεννητριών. Τελική τιμή είναι 287.5 g/kWh.

Στη συνέχεια βρέθηκαν η μέση τιμή του τόνου MGO κατά τη διάρκεια του χρόνου τη περίοδο μεταξύ Σεπτεμβρίου 2019 και Φεβρουαρίου 2020. Επιλέχθηκε αυτό το διάστημα για τον υπολογισμό της τιμής του καυσίμου διότι στη συνέχεια υπήρχε απότομη πτώση του πετρελαίου λόγω της πανδημίας. Οι τιμές των καυσίμων προκύπτουν από τον μέσο όρο των

20 μεγαλύτερων λιμανιών ανεφοδιασμού παγκοσμίως. Σε αυτά τα λιμάνια συγκαταλέγεται ο Πειραιάς. Η τιμή ανέρχεται στα 647.5 \$ ή 540 €.



Διάγραμμα 3.14 Μέση τιμή του MGO στα 20 μεγαλύτερα λιμάνια

Για τις συγκεκριμένες τιμές η τιμή παραγωγής της kWh από το πλοίο ανέρχεται στα 0,1553 €/kWh. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη τα κόστη συντήρησης για τους βοηθητικούς κινητήρες. Το κόστος ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, για παράδειγμα δίχρονη ή τετράχρονη, μάρκα και μέγεθος κινητήρα. Ώρες λειτουργίας και οι ώρες λειτουργίας ανά έτος θα επηρεάσουν επίσης το κόστος συντήρησης. Τα πλοία που χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα από την ακτή εξακολουθούν να έχουν κόστη συντήρησης ωστόσο συγκριτικά είναι σημαντικά λιγότερα. Σύμφωνα με τη μελέτη της Entec για το 2005, η συντήρηση και το λειτουργικό κόστος για βοηθητικούς κινητήρες εκτιμάται σε περίπου 0,003 € / kWh ανάλογα με τη ποσότητα ενέργειας σε kW που παράγει κάθε σκάφος μέσω των γεννητριών ντίζελ του. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη το κόστος της κατανάλωσης λιπαντικού το οποίο ανέρχεται στα 4000 € / τόνο λιπαντικού. Οι γεννήτριες έχουν κατανάλωση λαδιού περίπου 0,35 gr / kWh. Με βάση όλα τα παραπάνω, το συνολικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας των βοηθητικών κινητήρων είναι στα 0,0044 €/kWh. Άρα η τελική τιμή ανέρχεται στα 0.1597 €/kWh.

Το λιμάνι θα πουλάει τη kWh στα 0,13 € με σκοπό την κάλυψη των εξόδων του αλλά και για να αφήνει περιθώριο απόσβεσης της επένδυσης από την πλευρά των πλοιοκτητών.

Η μοναδική πηγή εισόδων για το λιμάνι από την τοποθέτηση CI είναι η πώληση του ρεύματος. Παρατηρείται ότι τα ετήσια λειτουργικά έξοδα είναι αρκετά υψηλά συγκριτικά με τα έσοδα του λιμανιού.

Σενάρια επένδυσης	Κόστος επένδυσης	Έσοδα από πώληση kWh	Ετήσια έξοδα
Δύο θέσεις υποδοχής	868.250	122.103	104.909
Τρεις θέσεις υποδοχής	1.081.575	137.220	112.447
Τέσσερις θέσεις υποδοχής	1.152.300	140.432	128.569

Πίνακας 3.13 Κόστος εγκατάστασης για τον εμπορικό τομέα του Λαυρίου

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το πιο εφικτό σενάριο από χρηματοοικονομικής σκοπιάς για μελέτη σε συνδυασμό με τον εμπορικό τομέα ο οποίος θα έχει μειωμένα έξοδα λόγω του προσωπικού είναι για τρεις θέσεις υποδοχής. Το συγκεκριμένο σενάριο προτιμάται έναντι των δύο και για οικολογικούς λόγους.

### 3.4 Τεχνικοοικονομική μελέτη του εμπορικού τομέα

#### Σενάριο εμπορικού τομέα

Σε αυτήν τη περίπτωση αναλύθηκε η κατασκευή μίας θέσης υποδοχής στον εμπορικό τομέα του λιμανιού. Η σύνδεση με την εγκατάσταση του υπόλοιπου λιμανιού κρίνεται δαπανηρή λόγω των έργων που πρέπει να γίνουν αλλά και το κόστος των καλωδίων για απόσταση 3500 m ή για τα υποθαλάσσια που είναι στα 500 m. Οπότε έγινε ξεχωριστή μελέτη με την διαφορά ότι στα λειτουργικά θα προστεθούν δύο τεχνίτες συν το αναλογικό κόστος συντήρησης, καθώς τα άλλα υπάγονται στον εμπορικό τομέα.

Στον εμπορικό τομέα υπάρχει υποσταθμός της ΔΕΗ, οπότε η τεχνική σχεδίαση που έγινε είναι αντίστοιχη αυτής του πρώτου σεναρίου. Δηλαδή στην κατασκευή ενός ενιαίου υποσταθμού όπου εντός αυτού θα είναι ο μετασχηματιστής και ο μετατροπέας συχνότητας. Η μέγιστη απαίτηση είναι τα 610 kVA για το πλοίο ANNE SOFIE . Η επιλογή του μετατροπέα είναι ο PCS 100 SFC-750 με μέγιστη ισχύ 750 kVA της ABB και μετασχηματιστής αντίστοιχου μεγέθους. Η τάση λειτουργίας των πλοίων είναι χαμηλή οπότε δεν χρειάζεται μετασχηματιστής εξόδου μετά τον μετατροπέα για την επαναφορά του ρεύματος.

Installation Cost			
System Size		750 kVA	
Substations			
		Cost in euro €	%
Buildings	180m2	36.000	6.95
Frequency converter	1 × 750 kVA	170.000	32.81
Transformers	1 × 750 kVA	25.000	4.83
Switchgears		95.000	18.34
Circuit breakers, switchboards,cables		58.000	11.20
Cooling ventilation,fire detection,lighting,alarm		18.000	3.47
Connection boxes	1	25.500	4.92

Power distribution			
20 kV cables	400 m	12.000	2.32
1 kV cables	100m	11.000	2.12
Total estimated cost		450.500	
Total estimated cost + 15% uncertain costs		518.075	

Πίνακας 3.14 Κόστος εγκατάστασης για τον εμπορικό τομέα του λιμανιού του Λαυρίου

Maintenance and operating costs		
	Number of employees	Annual wage / person €
Technicians	2	14.000
Total annual operating cost	28.000	
Maintenance cost	3% of the total installation cost	15.542
Total annual cost estimation	43.542	

Πίνακας 3.15 Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης

### 3.5 Τεχνικοοικονομική ανάλυση Λαυρίου

#### Τελικό σενάριο

Η εγκατάσταση θα είναι ο συνδυασμός της ανάλυσης που έγινε για τις τρεις θέσεις υποδοχής και αυτής για τον εμπορικό τομέα. Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης θα θεωρηθεί το άθροισμα των δύο προηγούμενων και είναι στα 1.599.650 €.

Πολλοί μέθοδοι αξιολόγησης των επένδυσων παρουσιάζονται σε χρηματοοικονομικά εγχειρίδια και δημοσιεύσεις και αξιοποιούνται προκειμένου να αναλυθούν οι διάφοροι τύποι επενδυτικών σχεδίων. Σε γενικές γραμμές, οι πιο συχνές χρησιμοποιούμενες τεχνικές και μέθοδοι είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η καθαρή παρούσα αξία (NPV). Αλλα μέθοδοι είναι η επιστροφή επί της επένδυσης (ROI) και η περίοδος αποπληρωμής (PP) μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως πολύτιμες χρηματοοικονομικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για οικονομική αξιολόγηση. Για την συγκεκριμένη μελέτη επιλέχτηκαν οι δείκτες NPV και IRR.

Στα χρηματοοικονομικά, η καθαρή παρούσα αξία (NPV) ισχύει για μια σειρά ταμιακών ροών που συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους. Η παρούσα αξία μιας χρηματοροής εξαρτάται από το χρονικό διάστημα μεταξύ τις στιγμής που πραγματοποιείται και του τώρα. Εξαρτάται επίσης από το προεξοφλητικό επιτόκιο. Ο NPV αντιπροσωπεύει τη χρονική αξία των χρημάτων. Παρέχει μια μέθοδο για την αξιολόγηση και τη σύγκριση κεφαλαιακών έργων ή χρηματοοικονομικών προϊόντων με τις ταμειακές ροές που κατανέμονται με την πάροδο του χρόνου, όπως σε δάνεια, επενδύσεις, πληρωμές από ασφαλιστήρια συμβόλαια συν πολλές άλλες εφαρμογές. Η μέθοδος NPV εκφράζεται χρησιμοποιώντας το τον ακόλουθο τύπο :

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

όπου  $r$  είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο,  $CF_t$  είναι η ταμειακή ροή σε κάθε περίοδο  $t$  και  $T$  είναι η χρονική διάρκεια της επένδυσης (η οποία είναι συχνά η διάρκεια ζωής του έργου).

Η μέθοδος του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) δείχνει την απόδοση ενός επενδυτικού προγράμματος. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών μετά από φόρους οι οποίες προέρχονται από το πρόγραμμα, με το αρχικό κόστος του προγράμματος. Με άλλα λόγια ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης υπολογίζεται ως εξής: εξισώνοντας την παρούσα αξία της αναμενόμενης καθαρής εισροής μετρητών με την παρούσα αξία της εκροής μετρητών. Η μέθοδος IRR εκφράζεται χρησιμοποιώντας το τον ακόλουθο τύπο :

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

όπου IRR είναι το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης,  $CF_t$  είναι η ταμειακή ροή σε κάθε περίοδο  $t$  και  $T$  είναι η χρονική διάρκεια της επένδυσης (η οποία είναι συχνά η διάρκεια ζωής του έργου).

Νεκρό σημείο (break even point) ονομάζεται το ποσό ακριβώς των πωλήσεων (κύκλου εργασιών), που μια επιχείρηση καλύπτει το σύνολο των εξόδων της, σταθερά και μεταβλητά, μη πραγματοποιώντας ούτε κέρδος ούτε ζημιά. Η συγκεκριμένη έννοια αποτελεί σημαντικό αντικείμενο μελέτης και ανάγεται στη σφαίρα ανάλυσης των πωλήσεων μιας επιχείρησης. Εκφράζεται ως αξία επί των πωλήσεων (μας δείχνει πόση είναι η χρηματική αξία των πωλήσεων που πρέπει να κάνει η επιχείρηση ώστε να μην έχει ούτε κέρδος ούτε ζημιά), ως ποσοστό επί των πωλήσεων (μας δείχνει σε ποιο ποσοστό επί των πωλήσεων που έκανε ή αναμένεται να κάνει η επιχείρηση, δεν έχει ούτε κέρδος ούτε ζημιά), ως ποσότητα πωλήσεων (μας δείχνει πόσα τεμάχια από το παραγόμενο προϊόν πρέπει να πουλήσει η επιχείρηση ώστε να μην έχει ούτε κέρδος αλλά ούτε και ζημιά) και ως χρόνος (πόσο χρόνο αναμένεται ότι θα χρειαστεί η επιχείρηση ώστε να πουλήσει τον απαραίτητο αριθμό μονάδων προϊόντος, τέτοιοι ώστε να μην έχει ούτε κέρδος ούτε ζημιά).

## Περιγραφή επένδυσης

Η επενδυτική πρόταση συνίσταται από τα εξής μέρη:

- Την κατασκευή τριών θέσεων ελλιμενισμού στον ακτοπλοϊκό τομέα και μίας θέσης στον εμπορικό, καθώς και την αγορά του απαραίτητου εξοπλισμού από την ABB για την ηλεκτροδότηση πλοίων από στεριά στο λιμάνι του Λαυρίου
- Την αύξηση του εργατικού προσωπικού στο συγκεκριμένο χώρο για την κάλυψη των αναγκών της διασύνδεσης στεριάς-πλοίου αλλά και την συντήρηση της εγκατάστασης

Η παραγγελία του εξοπλισμού γίνεται το 2020 και η παραλαβή μαζί με την εγκατάσταση πραγματοποιείται το 2021 μαζί με την εξόφληση ολόκληρου του ποσού.

## Συνολικό κόστος της επένδυσης

Τα αρχικά κόστη της επένδυσης θα αναφέρονται εφεξής ως CAPEX (Capital Expenditure).

Η αγορά του εξοπλισμού ανέρχεται στα 1.599.650 € και αποτελεί το CAPEX της επενδυτικής κίνησης. Το τίμημα θα εξοφληθεί το έτος 2021 κατά σύμβαση.

Στα κόστη δεν περιλαμβάνονται Πάγια Περιουσιακά Στοιχεία και Έξοδα Ιδρύσεως και Οργανώσεως καθώς το έργο αναλαμβάνεται από ήδη υπάρχουσα εταιρία.

## Τρόποι χρηματοδότησης

Μέσω Ευρωπαϊκής χρηματοδότησης παρέχεται ένα επενδυτικό κεφάλαιο της τάξεως του 50% του κόστους αγοράς της εγκατάστασης. Αυτό το ποσοστό μεταφράζεται σε 800.000 €. Το εναπομένον ποσό επιλέγεται να διατεθεί μέσω Ιδίων Κεφαλαίων.

## Βασικές Παραδοχές

### Φορολογία και Κόστος Κεφαλαίου

Ο συντελεστής φορολογίας εισοδήματος βρίσκεται στο 29%. Δεν υπάρχουν φορολογικές εξαιρέσεις πλην των προβλεπόμενων από το Νόμο αποσβέσεων.

Το προεξοφλητικό επιτόκιο, επιλέγεται να τοποθετηθεί στο 8%, και διατηρείται σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια των ετών.

### Μερίσματα και Πλεονάζοντα Κεφάλαια

Τα μερίσματα δεν λαμβάνονται υπόψη. Επιπλέον δεν λαμβάνονται υπόψη πιστώσεις μετόχων και πιστώσεις προμηθευτών.

Τυχόν πλεονάζοντα κεφάλαια κρατούνται για επανεπένδυση



## **Παραδοχές αναφορικά με τα Έσοδα και τα Έξοδα**

Έγιναν συγκεκριμένες παραδοχές σχετικά με τα αναμενόμενα έσοδα και έξοδα. Αυτές που σχετίζονται με τα έσοδα αφορούν την ποσότητα ρεύματος που θα δοθεί, ενώ αυτές που σχετίζονται με τα έξοδα αφορούν τα σταθερά έξοδα Τα χρηματοοικονομικά έξοδα, αποσβέσεις και φόρος εισοδήματος εξετάζονται ξεχωριστά.

### **Έσοδα**

Αρχική παραδοχή τίθεται η πώληση, στα προς ηλεκτροδότηση πλοία, της ποσότητας που έχει υπολογιστεί, κάθε έτος. Αυτή ανέρχεται στους 3.670.381 kWh το 2021, με ποσοστιαία αύξηση 2% ο τομέας της ακτοπλοΐας και 4% ο εμπορικός τομέας, τα επόμενα χρόνια της επένδυσης.

### **Έξοδα**

Τα κόστη λειτουργίας δομούνται από τα κόστη στελέχωσης του γραφείου και των επιδιορθώσεων και συντήρησης, Το σύνολο των Κοστών Λειτουργίας είναι 155.989 € για το 2021, και αναμένεται αύξηση τους κατά 0.5% ετησίως.

### **Οικονομικοί Δείκτες**

Η Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value - NPV) της επένδυσης για διάρκεια 25 ετών (2021 – 2045) ανέρχεται στα 380.030€, με προεξοφλητικό επιτόκιο 8%.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR) της επένδυσης για διάρκεια 25 ετών (2021 – 2045) φτάνει το 12.85%.

Η Περίοδος Αποπληρωμής (Payback Period) πραγματοποιείται σε διάστημα 10 ετών.

### **Break Even Point**

Ο αριθμός των πωληθέντων κιλοβατώραν για τις οποίες τα Μικτά Κέρδη καλύπτουν πλήρως τα Λειτουργικά Κόστη είναι 2.599.816 για το 2020.

### **Sensitivity Analysis**

Η οικονομική ανάλυση στηρίζεται εν γένει σε υπολογισμούς και παραδοχές που βασίζονται, με την σειρά τους, σε πρακτικές και επιστημονικές αρχές. Ο σκοπός είναι να προσδιορισθεί το κόστος της επένδυσης, αναμενόμενα ετήσια έσοδα και έξοδα με βάση προσδοκίες ως προς την ποσότητα των κιλοβατώραν που θα πωληθούν στο μέλλον όπως προκύπτει από σχετική έρευνα αγοράς.

Στην παρούσα Μελέτη εκτίθενται όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν το επιχειρηματικό σχέδιο, υιοθετώντας συντηρητικές εκτιμήσεις. Ωστόσο, επειδή οι μεταβλητοί παράγοντες είναι αρκετοί, απαιτείται να εξετασθούν οι επιδράσεις επί των οικονομικών δεικτών καθενός από αυτούς ξεχωριστά.

Διενεργήσαμε “sensitivity analysis” για κάθε ένα από τους ακόλουθους παράγοντες που επηρεάζουν τα έσοδα και έξοδα και ειδικότερα την επίδραση επί των κερδών της εταιρείας από:

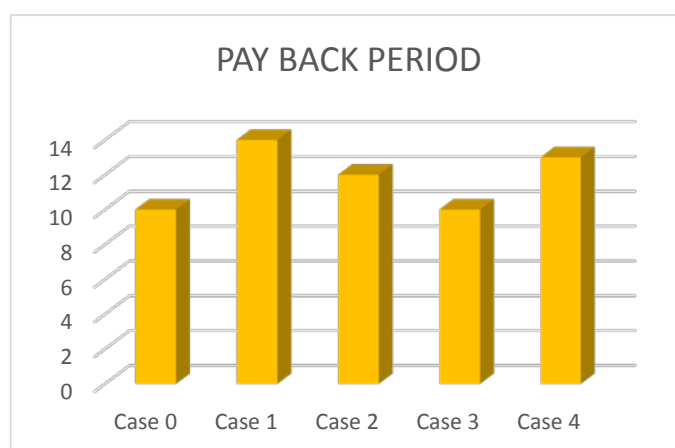
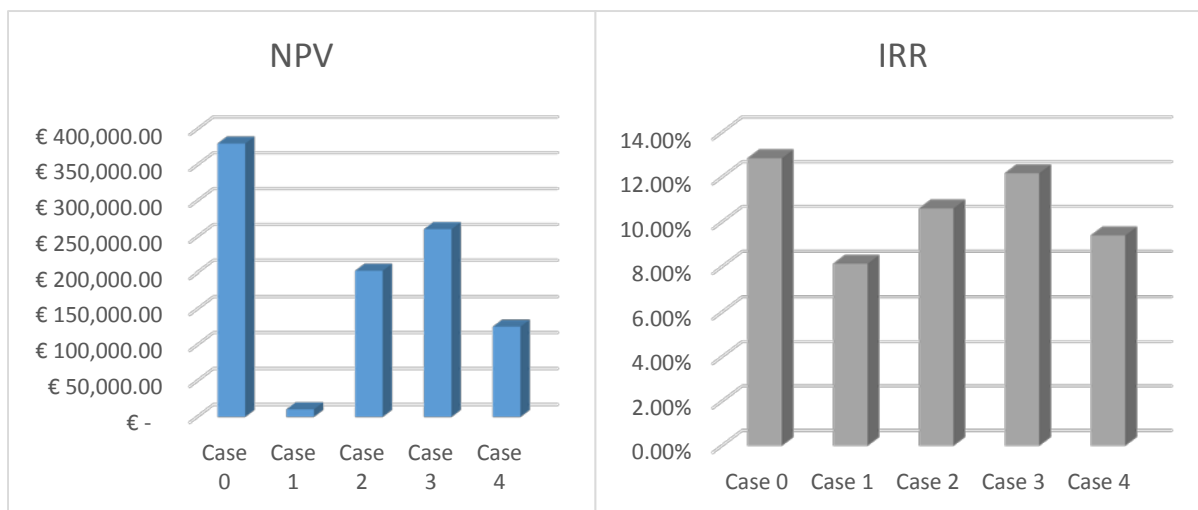
- i. Ενδεχόμενη μείωση κατά 0,01€ στην τιμή πωλήσεως της κιλοβατώρας στα πλοία με ζήτηση (0,12 €/kWh έναντι 0.13 €/kWh)
- ii. Ενδεχόμενη μείωση κατά 8% στην ζητούμενη ισχύ (3.376.750 kWh έναντι 3.670.381 kWh το 2020)
- iii. Ενδεχόμενη μείωση της διάρκειας της επένδυσης κατά 5 έτη, (20 χρόνια έναντι 25)
- iv. Ενδεχόμενη μείωση της χρηματοδότησης από την ευρωπαϊκή ένωση στο 30% έναντι 50%, το οποίο 20% θα καλυφτεί μέσω δανείου. Το τραπεζικό δάνειο αξίας 320.000€ θα είναι διάρκειας 10 ετών, χωρίς περίοδο χάριτος, με μέσο ετήσιο επιτόκιο 4% και αποπληρωμή σε 10 ισόποσες ετήσιες δόσεις των 39.453€ έκαστη πληρωτέες στο τέλος εκάστου έτους, με έναρξη την 31/12/2021. Για την εξασφάλιση του δανείου θα παρασχεθούν εγγυήσεις από την εταιρεία υπό μορφή υποθήκης των κτηρίων.

Οι Οικονομικοί Δείκτες για κάθε περίπτωση είναι:

- I. **NPV** = € 10.668,96  
**IRR** = 8.14%  
**PAYBACK PERIOD** = 14 χρόνια
- II. **NPV** = € 202.736,83  
**IRR** = 10.61%  
**PAYBACK PERIOD** = 12 χρόνια
- III. **NPV** = € 260.709,00  
**IRR** = 12.18%  
**PAYBACK PERIOD** = 10 χρόνια
- IV. **NPV** = € 125.588,34  
**IRR** = 9.40%  
**PAYBACK PERIOD** = 13 χρόνια

Τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, όλοι οι οικονομικοί δείκτες επηρεάζονται σημαντικά αλλά η επένδυση εξακολουθεί να είναι βιώσιμη και κερδοφόρα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα συγκρίσεως των τεσσάρων περιπτώσεων.



Διάγραμμα 3.15 Σύγκριση των τεσσάρων σεναρίων με την αρχική υπόθεση βάσει των οικονομικών δεικτών

### 3.6 Εκπομπές Ρύπων στο Λιμάνι του Λαυρίου

Την ήδη επιφορτισμένη ατμόσφαιρα της πόλης του Λαυρίου, επιβαρύνουν οι εκπομπές αέριων ρύπων από τα πλοία κατά των ελλιμενισμό τους στο λιμάνι. Έχοντας υπολογίσει τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες που παρουσιάζονται σε αυτό, το επόμενο ουσιαστικό βήμα είναι να υπολογιστεί η συμβολή τους στην ρύπανση της πόλης υπολογίζοντας αναλυτικά τα συστατικά των ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία κατά την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας. Σε αυτό το σημείο θα θεωρηθεί ότι τα πλοία έχουν συμμορφωθεί με τους κανονισμούς που έχουν προκύψει το τελευταίο διάστημα οι οποίοι επιβάλλουν χρήση καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο για κάθε πλοίο που εισέρχεται σε λιμάνι. Χωρίς αυτή την παραδοχή οι παραγόμενοι ρύποι θα είναι πολλαπλάσιοι από την παρούσα εκτίμηση.

Στον πίνακα 3.13 παρουσιάζεται η ανάλυση των ρύπων κατά την καύση μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Τα στοιχεία αντλήθηκαν από την σελίδα στο διαδίκτυο της

οργάνωσης World Ports Climate Initiative (WPCI) όπου ενδεικτικά δίνονται οι εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την καύση διαφόρων ειδών καυσίμου. Τα μεγέθη του εν λόγω πίνακα αναφέρονται σε gr ρύπου ανά kWh εισαγόμενης θερμότητας καυσίμου.

Emission Factor						
	Fuels		Electricity			
Pollutants	MDO	HFO	Natural Gas	Coal	Wind/Water/ Nuclear	EU Mix
NOx (g/kWh)	13.20	14.00	0.353	0.407	0.00	0.350
PM (g/kWh)	0.30	0.85	0.000	0.003	0.00	0.003
SO2 (g/kWh)	2.60	11.50	0.016	0.371	0.00	0.129
CO2 (g/kWh)	645.00	677.00	402.000	902.000	0.00	350.000

Πίνακας 3.16 Ανάλυση εκπομπών αέριων ρύπων (σε gr ρύπου ανά kWh).

Pollutants	MDO (ton)	EU Mix (ton)	Emission reduction by electricity
NOx	48.449	1.285	0.97%
PM	1.101	0.011	0.99%
SO2	9.543	0.473	0.95%
CO2	2367.396	1284.633	0.46%

Πίνακας 3.17 Εκπομπές ρύπων στο λιμάνι του Λαυρίου για το έτος που μελετήθηκε συγκριτικά με το να γινόταν η ηλεκτροδότηση από CI

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Λιμένας Καβάλας

#### 4.1 Γενικές πληροφορίες

Η Καβάλα (στους αρχαίους χρόνους "Νεάπολις", στο Βυζάντιο "Χριστούπολις" και έως το 1928 "Καβάλλα") είναι πόλη της Μακεδονίας, έδρα του δήμου Καβάλας και πρωτεύουσα της Περιφερειακής Ενότητας Καβάλας στην Ανατολική Μακεδονία. Αποτελεί επίσης έδρα της Ιεράς Μητροπόλεως Φιλίππων, Νεαπόλεως και Θάσου. Ο μόνιμος πληθυσμός της πόλης ανέρχεται τους 54.027 κατοίκους, καθιστώντας την ως η 4η μεγαλύτερη πόλη στην περιοχή της Μακεδονίας, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Είναι κτισμένη στους πρόποδες του όρους Σύμβολο. Μέσω της Εγνατίας Οδού απέχει 650 χιλιόμετρα από την Αθήνα και 160 χιλιόμετρα από τη Θεσσαλονίκη.

Η ιστορία της πόλης ξεκινά από τους Προϊστορικούς χρόνους και εκτείνεται μέχρι σήμερα. Οι αναφορές για αυτήν από την μία χάνονται στις ομηρικές αφηγήσεις και από την άλλη καταγράφονται στα αρχεία της Αθηναϊκής Συμμαχίας. Από την μία η πόλη έγινε παγκοσμίως γνωστή για την άφιξη των δημοκρατικών στρατευμάτων της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας ενόψει της ιστορικής μάχης των Φιλίππων και από την άλλη για την άφιξη του Αποστόλου Παύλου το 49 μ.Χ., κάνοντας την Νεάπολη (σημερινή Καβάλα) πρώτη ευρωπαϊκή πόλη που δέχτηκε τον Χριστιανισμό. Είναι διάσημη για τα μεγαλοπρεπή έργα Βυζαντινών και Τούρκων (όπως το Κάστρο και οι Καμάρες) όσο και για το ότι αποτέλεσε γενέτειρα του Μεχμέτ Αλί, αντιβασιλέα της Αιγύπτου. Παράλληλα η νεότερη ιστορία της πόλης παρουσιάζει εξίσου ενδιαφέρον, τόσο για την καπνεργασία και τις πρώτες απεργίες στα Βαλκάνια (1896) όσο και για την πλούσια βιομηχανική δραστηριότητα με κυρίαρχη αυτή του μαύρου χρυσού.

Ο λιμένας της Καβάλας απαρτίζεται από τέσσερα λιμάνια. Πρώτον το επιβατικό λιμάνι «ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ» το οποίο περικλείεται από την πόλη και μέχρι το 2002 αποτελούσε το κεντρικό σημείο αναφοράς των θαλάσσιων μεταφορών στην ευρύτερη περιοχή της Καβάλας. Μετά τη μεταφορά της εμπορευματικής κίνησης το Οκτώβριο του 2002 στο λιμάνι «Φίλιππος Β'», το κεντρικό λιμάνι πλέον εξυπηρετεί την επιβατική κίνηση, με καθημερινά δρομολόγια F/B από και προς την Θάσο και τακτικά δρομολόγια προς Λήμνο, τη Μυτιλήνη, Χίο και Σάμο. Τον τουρισμό, καθώς στο κεντρικό λιμάνι της Καβάλας προσεγγίζουν κρουαζιερόπλοια και σκάφη αναψυχής. Ακόμα εξυπηρετεί τον αλιευτικό στόλο, χρησιμοποιούμενο ως αλιευτικό καταφύγιο και τον ναυταθλητισμό. Το λιμάνι του Απόστολου Παύλου βρίσκεται απευθείας στο Βόρειο Αιγαίο και φιλοξενεί δύο αποβάθρες με διεύθυνση την Ανατολή και το Νότο με τρεις και δύο αποβάθρες, αντίστοιχα. Η ανατολικές και οι νότιες αποβάθρες είναι επίσης εξοπλισμένες με επτά και μία ράμπες, αντίστοιχα, για πορθμεία και RO-RO. Τέλος η κατασκευή πλωτών αποβαθρών ολοκληρώθηκε πρόσφατα στα βορειοδυτικά και βορειοανατολικά τμήματα του λιμανιού παρέχοντας 160 επιπλέον θέσεις πρόσδεσης για σκάφη έως 12 μέτρα και 10 θέσεις πρόσδεσης για μεγάλα σκάφη αναψυχής.

Το κεντρικό λιμάνι διαθέτει συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων 1.950m και βάθη από 4m έως 10m.

Η ανάπτυξη της πόλης της Καβάλας κατέστησε αναγκαία την κατασκευή νέου λιμανιού έξω από την πόλη. Γενικές και ειδικές μελέτες που εκπονήθηκαν από το 1966, κατέληξαν στην πρόταση για κατασκευή ενός νέου σύγχρονου λιμανιού στην Νέα Καρβάλη σε απόσταση 8 χλμ. ανατολικά της πόλης, με άμεση σύνδεση στην Εγνατία οδό (τμήμα των διευρωπαϊκών δικτύων). Οι εργασίες κατασκευής του εμπορικού λιμένα «Φίλιππος Β΄» ξεκίνησαν το 1990. Πριν την ολοκλήρωση των έργων επέκτασης του το εμπορικό λιμάνι «Φίλιππος Β΄» διέθετε κρηπίδωμα μήκους 400m, βάθος στο κρηπίδωμα 11,5m και χώρο διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίων 50.000m<sup>2</sup>. Με τις υφιστάμενες υποδομές μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα 2 πλοία μήκους 190m και ένα πλοίο Ro-Ro. Με την ολοκλήρωση των έργων επέκτασης του, τον Μάρτιο του 2019, το εμπορικό λιμάνι διαθέτει κρηπιδώματα μήκους 910m, βάθος στα κρηπιδώματα έως και 12m και χώρο διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίων περίπου 282.000m<sup>2</sup>.

Ανατολικά και σε απόσταση 42 χλμ. από την Καβάλα βρίσκεται το λιμάνι της Κεραμωτής, το πλησιέστερο σημείο στην Θάσο από όπου διακινείται ο κυριότερος όγκος επιβατών και εμπορευμάτων από και προς το νησί. Το λιμάνι της Κεραμωτής εξυπηρετεί την επιβατική κίνηση, με καθημερινά δρομολόγια F/B από και προς την Θάσο, τη διακίνηση χύδην φορτίων από και προς τη Θάσο και τον αλιευτικό στόλο, χρησιμοποιούμενο ως αλιευτικό καταφύγιο. Το λιμάνι διαθέτει βάθη έως και 7,5m.

Τέλος το λιμάνι Ελευθερών βρίσκεται δυτικά της Καβάλας σε απόσταση 17 χλμ. και εξυπηρετεί τη διακίνηση χύδην φορτίων, τον αλιευτικό στόλο, χρησιμοποιούμενο ως αλιευτικό καταφύγιο και τον τουρισμό, καθώς στο λιμάνι προσεγγίζουν ιδιωτικά σκάφη αναψυχής. Το λιμάνι διαθέτει βάθη έως και 10m.

Όπως παρατηρείται τα λιμάνια μεταξύ τους έχουν μεγάλη απόσταση, οπότε η κάθε εγκατάσταση του εξοπλισμού θα θεωρηθεί σαν διαφορετική επένδυση. Σαν ενιαία επένδυση το μόνο που διαμορφώνεται ξεχωριστά είναι τα οικονομικά μεγέθη όπως της χρηματοδότησης, των δοθέντων τιμών από τις κατασκευαστικές εταιρίες και το κόστος συντήρησης κι λειτουργίας. Οπότε πρώτα έγινε η μελέτη του κάθε λιμανιού και εν συνεχεία διαμορφώθηκαν τα τελικά αποτελέσματα.

## 4.2 Επιβατικό λιμάνι «ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ»

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ζήτηση ισχύος και ο αριθμός των θέσεων ελλιμενισμού CI, έγινε ανάλυση των αφίξεων των πλοίων. Πρώτον, για κάθε κατηγορία πλοίου που προσεγγίζει το λιμάνι του Λαυρίου, εντοπίστηκε ο αριθμός των διαφορετικών πλοίων και ο συνολικός αριθμός αφίξεων στην διάρκεια ενός έτους.



Σχήμα 4.1 Αεροφωτογραφία του λιμανιού «ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ»

Category	No. of different ships	No. of calls
Passenger Ship/Ro-Ro	7	253
Bulk Carrier	5	11
Cruises	8	10

Πίνακας 4.1 Αριθμός διαφορετικών πλοίων και σύνολο αφίξεων ανά κατηγορία

Από τις τρεις παραπάνω κατηγορίες δεν έχουν υπολογιστεί τα Bulk Carriers γιατί δένουν στην Ιχθυόσκαλα Καβάλας η οποία απέχει 2.8 χιλιόμετρα από το λιμάνι της Καβάλας. Εκτός από την μεγάλη απόσταση που ισοδυναμεί με υψηλό κόστος, η ενδιάμεση περιοχή δεν είναι ιδιοκτησίας του λιμένα. Άρα η ηλεκτροδότηση κρίνεται αδύνατη.

#### 4.2.1 Τομέας ακτοπλοΐας

Το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει είναι η συλλογή όσο περισσότερων πληροφοριών γίνεται σχετικά με τα πλοία που επισκέπτονται το λιμάνι, τον αριθμό και την ονομαστική ισχύ των γεννητριών που έχουν εγκατεστημένες, τις ανάγκες τους για ηλεκτρική ισχύ κατά την παραμονή τους στο λιμάνι και τη συχνότητα και την κύρια τάση που λειτουργούν τα ηλεκτρικά τους συστήματα. Η συλλογή δεδομένων έγινε από το λιμεναρχείο της Καβάλας για τη περίοδο Νοέμβριος 2019-Οκτώβριος 2020. Στην Καβάλα συγκριτικά με το Λαύριο υπήρχε λεπτομερής καταγραφή των ωρών παραμονής στο λιμάνι. Οπότε οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με τους πραγματικούς χρόνους παραμονής της εκάστοτε φοράς. Από τους υπολογισμούς έχουν αφαιρεθεί αντίστοιχα οι φορές κατά τις οποίες ο χρόνος παραμονής ήταν μικρότερος από δύο ώρες. Στον παρακάτω πίνακα δεν υπάρχουν πορθμεία διότι παραμένουν στην Θάσο και είναι ελάχιστες οι φορές που η χρονική διάρκεια παραμονής ξεπερνάει τις δύο ώρες οπότε δεν λαμβάνονται υπόψη.



Όνομα πλοίου	L (m)	B (m)	GRT	SDWT (t)	M.E (KW)	D/G (KW)	No. D/G	Hotelling Load (kW)	Hotelling Load (kVA)	Voltage (V)	Frequency (Hz)	No. of calls
AQUA BLUE	137	22.03	12891	2250	15511	1430	3	475	593.75	60	440	88
BLUE STAR MYCONOS	141	21	8129	2651	31680	3240	3	1080	1350	50	440	92
BLUE STAR CHIOS	141	21	13955	1960	31680	3240	3	1080	1350	50	440	24
EXPRESS PEGASUS	125.7	18.5	4863	2250	10962	1320	3	440	550	50	415	45
NISSOS SAMOS	192.91	29.4	30694	7622	19418	5070	3	1690	2112.5	60	440	4

Πίνακας 4.2 Κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι όλα τα πλοία είναι χαμηλής τάσης και ότι η συχνότητα παίρνει τιμές 50 Hz στο 60% των φορών και 60 Hz τις υπόλοιπες. Επίσης, για τον υπολογισμό της ισχύος σε kVA, δηλαδή της φαινόμενης ισχύος, θεωρούμε επαγωγικό συντελεστή 0.8. Αξίζει να αναφερθεί ότι συγκριτικά με το Λαύριο είναι περιορισμένη η κινητικότητα αλλά τα πλοία των συγκεκριμένων γραμμών έχουν μεγαλύτερη η ονομαστική ισχύς. Αυτό συντελεί σημαντική αύξηση του κόστους αλλά και μείωση των εσόδων.

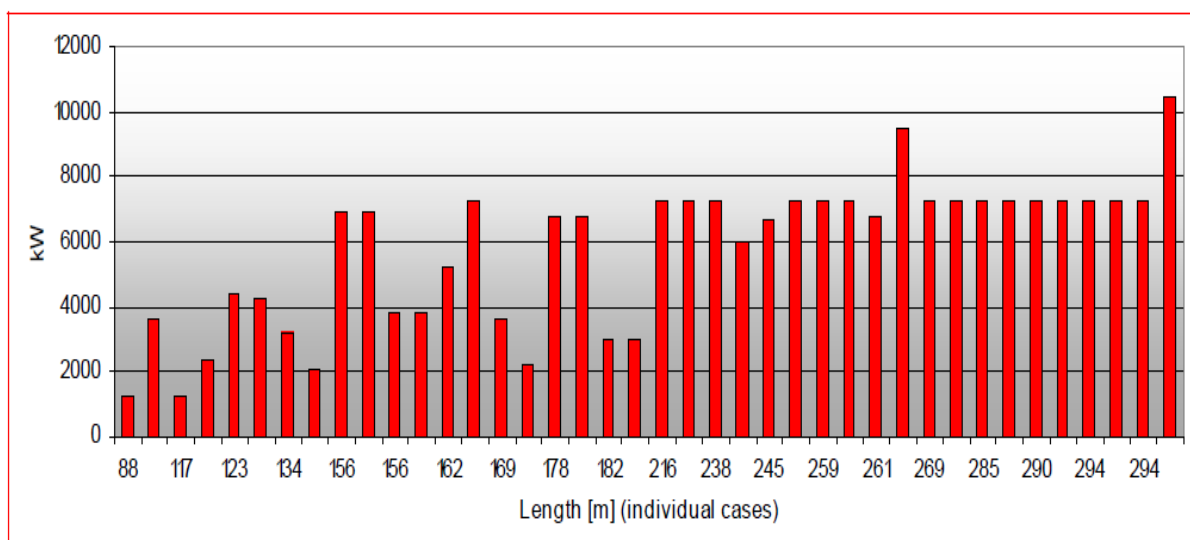
## 4.2.2 Τομέας Κρουαζιέρας

Για τον τομέα της κρουαζιέρας η συλλογή δεδομένων έγινε από τον λιμένα της Καβάλας με συμβολή του marinetraffic για τη περίοδο Νοέμβριος 2019-Οκτώβριος 2020, όπου δόθηκαν η ημερομηνία άφιξης και η διάρκεια παραμονής στο λιμάνι. Εξαιτίας της πανδημίας δεν πραγματοποιήθηκαν τα εν λόγω δρομολόγια, παρόλα αυτά υπολογίστηκαν. Στη μελέτη έχουν υπολογισθεί όσα πλοία παραμείναν στο λιμάνι για διάρκεια μεγαλύτερη των δύο ωρών. Για τα παραπάνω πλοία βρέθηκαν οι βασικές διαστάσεις τους (L,B,GRT,SDWT, M.E Power).

Το Κρουαζιερόπλοιο, όνομα που προέρχεται εκ του αγγλικού όρου (cruise ship), είναι ειδικής κατηγορίας επιβατηγό πλοίο που πραγματοποιεί κρουαζιέρες (δηλαδή κυκλικά περιηγητικά ταξίδια), βάσει επιμελούς προγράμματος λιμένων προσέγγισης, χωρίς όμως να εκτελούν συγκοινωνιακή γραμμή, ενώ ο ναύλος τους καθορίζεται ελεύθερα, μη υποκείμενος σε ναυολόγιο, που περιλαμβάνει ενδιαίτηση, ξενάγηση, τροφοδοσία και ψυχαγωγία. Τις τελευταίες δεκαετίες διαπιστώνεται μια συνεχής αύξηση πραγματοποίησης τέτοιων ταξιδιών, στα οποία και στράφηκαν σχεδόν όλα τα άλλοτε υπερωκεάνεια και όχι μόνο, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ιδιαίτερης ναυτιλίας και επιχειρηματικής δραστηριότητας.

### Ζήτηση Ισχύος

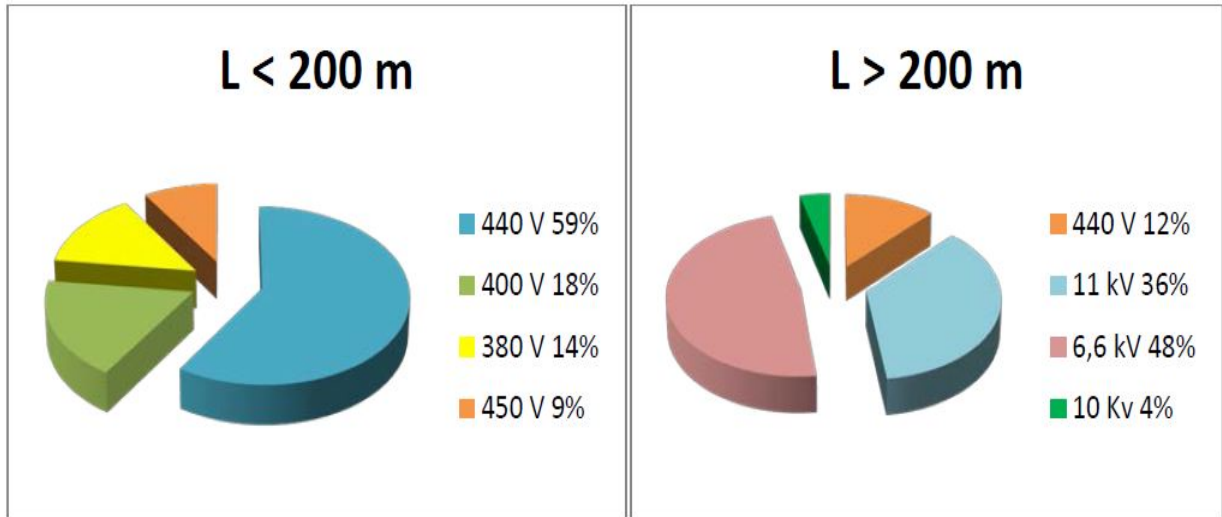
Τα κρουαζιερόπλοια έχουν μεγάλη απαίτηση ισχύος. Χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον ηλεκτροκινητήρες ντίζελ με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ανάγκη ισχύος, μερικές φορές ισοδύναμες με μια μικρή πόλη (10.000 κάτοικοι 20MW). Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του σκάφους και τους επιβάτες που μπορεί να φιλοξενήσει. Στα περισσότερα σκάφη η μέγιστη ισχύς, στο λιμάνι, είναι 11MW, ενώ ο μέσος όρος είναι περίπου 7MW για τα περισσότερα κρουαζιερόπλοια. Η μέγιστη ζήτηση ισχύος για το 95% των πλοίων είναι 9,5 MW. Στη προκειμένη δεν έγινε μελέτη βάση του τύπου για την κάλυψη των αναγκών καθώς τα κρουαζιερόπλοια έχουν διαφορετικές απαιτήσεις.



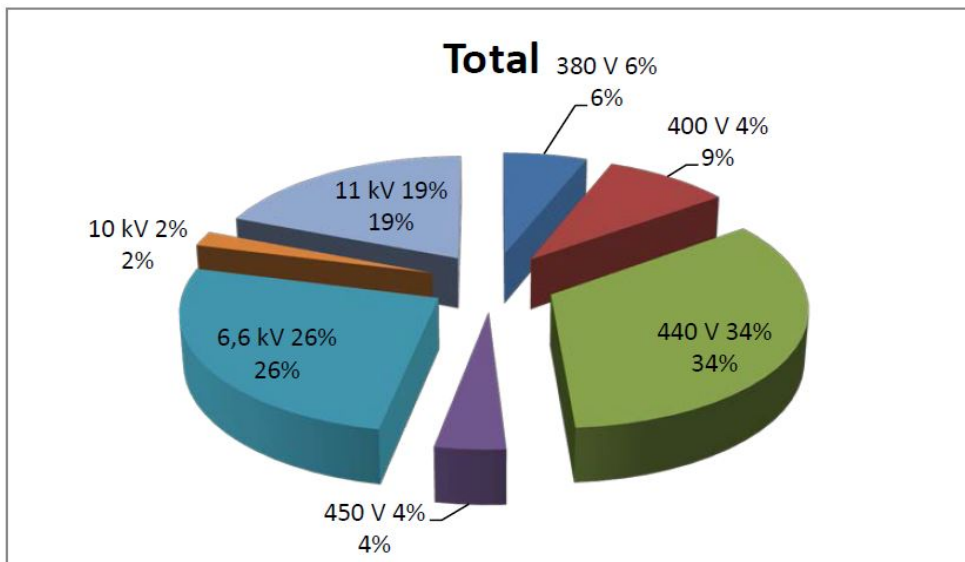
Διάγραμμα 4.1 Μέσο όρο της ζήτησης ισχύος κρουαζιερόπλοίων στο λιμάνι

### Τάση και συχνότητα συστήματος

Όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα, τα πλοία με μήκος μικρότερο από 200 μέτρα λειτουργούν με χαμηλή τάση. Τα περισσότερα πλοία με μήκος μεγαλύτερο από 200 μέτρα λειτουργούν με μεσαία τάση, λόγω της υψηλής ζήτησης ισχύος και του γεγονότος ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρική πρόωση με ντίζελ.

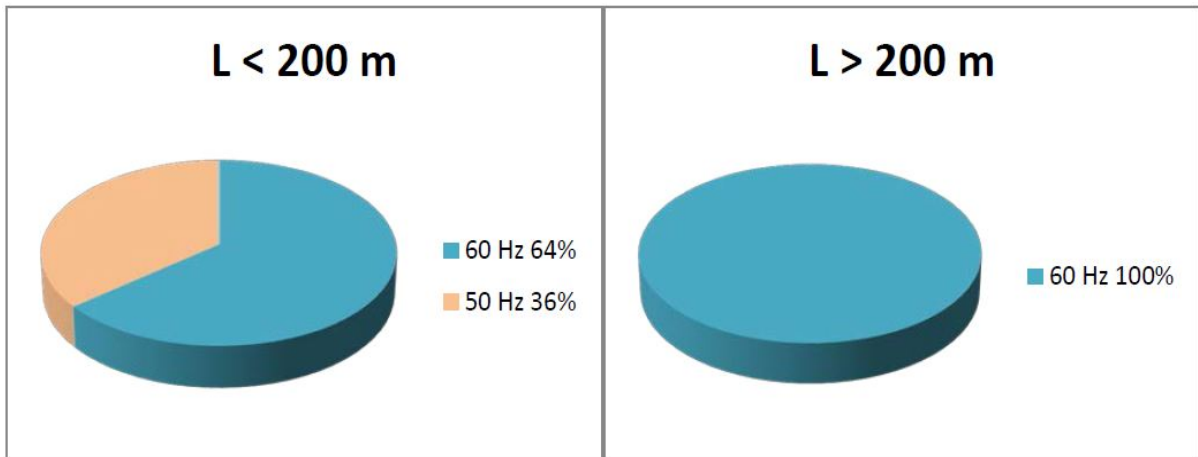


Διάγραμμα 4.2 Τάση λειτουργίας ανάλογα με το μήκος για κρουαζιερόπλοια

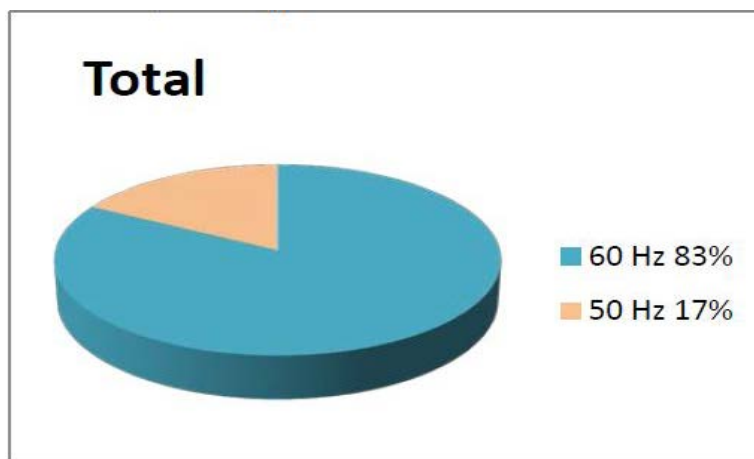


Διάγραμμα 4.3 Τάση λειτουργίας για κρουαζιερόπλοια

Όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα, τα περισσότερα σκάφη κάτω των 200 μέτρων λειτουργούν με 60 Hz. Ταυτόχρονα, όλα τα μεγαλύτερα πλοία λειτουργούν στα 60 Hz.

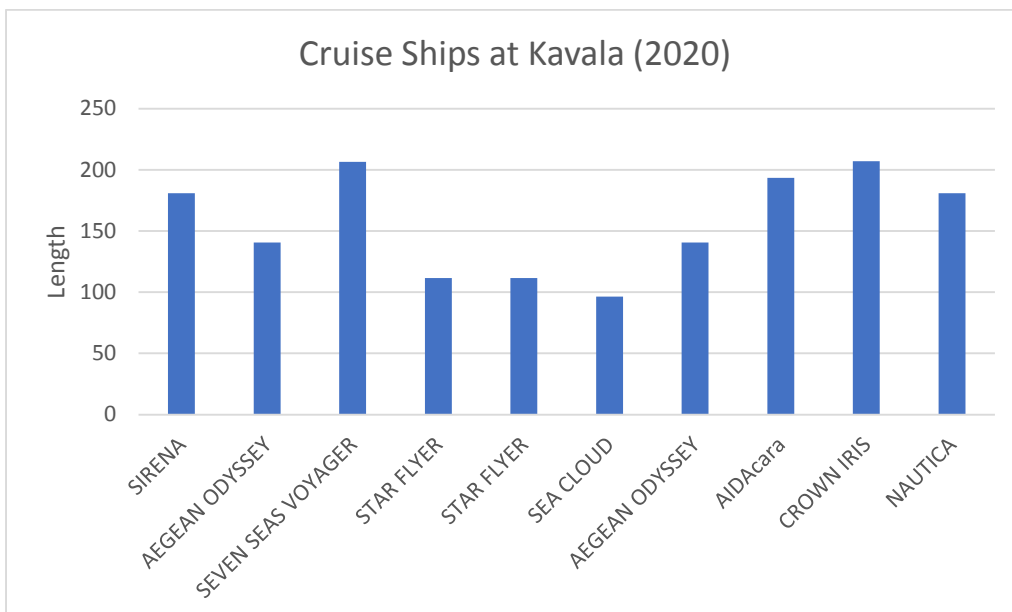


Διάγραμμα 4.4 Συχνότητα λειτουργίας ανάλογα με το μήκος για κρουαζιερόπλοια



Διάγραμμα 4.5 Συχνότητα λειτουργίας για κρουαζιερόπλοια

### Αφίξεις Cruise ship στο Λαύριο



Διάγραμμα 4.6 Κρουαζιερόπλοια στην Καβάλα

Από τα οκτώ κρουαζιερόπλοια που προσεγγίζουν το λιμάνι της Καβάλας, τα δύο είναι μεγαλύτερα από 200 m. Από αυτά τη μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση έχει το CROWN IRIS όπου καταναλώνει 6000 kW την ώρα. Το σύνολο των κιλοβατώραν που καταναλώθηκαν ανέρχεται στις 259061 kWh. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα είναι σίγουρη η χρήση μετατροπέα συχνότητας και ότι χρειάζεται πληθώρα μετασχηματιστών που θα ρίχνει την τάση της ΔΕΗ.

#### 4.2.3 Τεχνικοοικονομική ανάλυση «ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ»

Η περίπτωση της Καβάλας είναι διαφορετική από αυτήν του Λαυρίου. Έγινε μελέτη για μία θέση υποδοχής στον τομέα της ακτοπλοΐας. Όπως έχει αναφερθεί τα Bulk Carriers δεν υπολογίζονται λόγω της μεγάλης απόστασης της Ιχθυόσκαλας από το κεντρικό τμήμα του λιμανιού. Επίσης τα κρουαζιερόπλοια έχουν πολύ μεγάλη ζήτηση ισχύος, η διαφορά μεταξύ του CROWN IRIS και του NISSOS SAMOS είναι στα 5500 kVA και από το BLUE STAR CHIOS 6000 kVA. Σε συνδυασμό με το ότι είναι απαραίτητη η χρήση μετατροπέα συχνότητας και μετασχηματιστή της τάξης των 7500 kVA ανεβάζουν το συνολικό κόστος εγκατάστασης αλλά και συντήρησης όταν οι συνολικές ώρες παραμονής ανέρχονται στις ογδόντα τρεις ώρες. Τελικά μελετήθηκε μόνο ο τομέας της ακτοπλοΐας από τον οποίο αφαιρέθηκε το πλοίο NISSOS SAMOS, το οποίο πραγματοποίησε τέσσερα μη προγραμματισμένα δρομολόγια και παρέμεινε στο λιμάνι περίπου 25 ώρες.

Ημερήσιες αφίξεις πλοίων στο λιμάνι	Αρ. Ημερών	Ποσοστό στο έτος	Μέγιστη απαίτηση ρεύματος(kW)	kWh/χρόνο
0	174	0.48	0	0
1	166	0.45	1080	1.060.065
2	26	0.07	2160	1.157.301

Πίνακας 4.3 Κρουαζιερόπλοια στην Καβάλα

Σε αυτή τη περίπτωση εξετάστηκε το σενάριο του να δημιουργηθεί μία θέση υποδοχής για την σύνδεση των πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι με το ηλεκτρικό δίκτυο της στεριάς για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών τους αναγκών κατά τον ελλιμενισμό. Η μέγιστη ονομαστική ισχύς ανέρχεται στα 1350 kVA. Από τα πλοία που επισκέπτονται το λιμάνι μόνο το AQUA BLUE λειτουργεί στα 60 Hz αλλά διότι είναι μόνο μία θέση και μελλοντικά είναι πιθανή η αλλαγή των πλοίων που εκτελούν τα συγκεκριμένα δρομολόγια κρίνεται απαραίτητη η χρήση μετατροπέα συχνότητας που θα μετατρέπει τη συχνότητα του δικτύου της στεριάς που είναι 50 Hz στα 60 Hz. Τέλος λειτουργούν όλα με χαμηλή τάση οπότε είναι αναγκαίος μετασχηματιστής για να ρίχνει την τάση από μεσαία που είναι το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η εγκατάσταση θα είναι παρόμοια με αυτή του εμπορικού τομέα του Λαυρίου δηλαδή στην κατασκευή ενός ενιαίου υποσταθμού όπου εντός αυτού θα είναι ο μετασχηματιστής και ο μετατροπέας συχνότητας. Η μέγιστη απαίτηση είναι τα 1350 kVA για το πλοίο BLUE STAR

CHIOS . Η επιλογή του μετατροπέα είναι ο PCS 100 SFC-1375 με μέγιστη ισχύ 1375 kVA της ABB και μετασχηματιστής αντίστοιχου μεγέθους. Η τάση λειτουργείας των πλοίων είναι χαμηλή οπότε δεν χρειάζεται μετασχηματιστής εξόδου μετά τον μετατροπέα για την επαναφορά του ρεύματος.

<b>Installation Cost</b>			
System Size		1375 kVA	
<b>Substations</b>			
		Cost in euro €	%
Buildings	180m <sup>2</sup>	26000	7.19
Frequency converter	1 × 1375 kVA	26000	38.05
Transformers	1 × 1375 kVA	26000	5.81
Switchgears		26000	15.22
Circuit breakers, switchboards, cables		26000	10.38
Cooling ventilation, fire detection, lighting, alarm		26000	3.60
Connection boxes	1	26000	3.53
<b>Power distribution</b>			
20 kV cables	400 m	12000	1.66
1 kV cables	100m	11000	1.52
Total estimated cost		628.500	
Total estimated cost + 15% uncertain costs		722.775	

Πίνακας 4.4 Κόστος εγκατάστασης για τον τερματικό σταθμό επιβατών του λιμανιού της Καβάλας

<b>Maintenance and operating costs</b>		
	Number of employees	Annual wage / person €
Electrician - Engineers	1	24.000
Technicians	4	14.000
Total annual operating cost	80.000	
Maintenance cost	3% of the total installation cost	21.683
Total annual cost estimation	101.683	

Πίνακας 4.5 Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργείας της εγκατάστασης

Από τα παραπάνω στοιχεία είναι ευδιάκριτο ότι η επένδυση είναι μη βιώσιμη καθώς για κέρδος ανά κιλοβατώρα ίσο με 0.06 € τα ετήσια έσοδα είναι 63.603 €, δηλαδή αρκετά μικρότερα συγκριτικά με τα έξοδα. Για να μπορούσαν να αποπληρωθούν τα έξοδα η τιμή έπρεπε να πωλείται με κέρδος στα 0.104 € η στα 0,174 €/kWh τιμή που κρίνεται υπερβολική σε σχέση με την τιμή κόστους παραγωγής από την πλευρά των πλοίων.

### 4.3 Εμπορικός λιμένας «Φίλιππος Β΄»

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ζήτηση ισχύος και ο αριθμός των θέσεων ελλιμενισμού CI, έγινε ανάλυση των αφίξεων των πλοίων. Πρώτον, για κάθε κατηγορία πλοίου που προσεγγίζει το λιμάνι του Λαυρίου, εντοπίστηκε ο αριθμός των διαφορετικών πλοίων και ο συνολικός αριθμός αφίξεων στην διάρκεια ενός έτους.



Σχήμα 4.2 Αεροφωτογραφία του λιμανιού «Φίλιππος Β΄»

#### 4.3.1 Μελέτη στατιστικών στοιχείων των πλοίων στο λιμάνι «Φίλιππος Β΄»

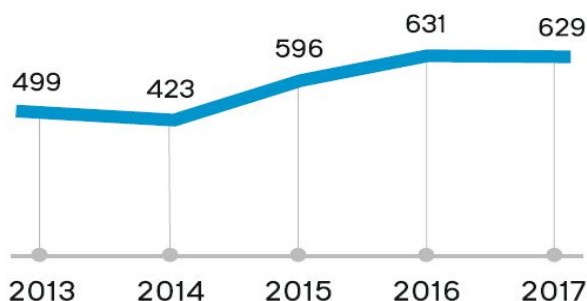
Category	No. of different ships	No. of calls
Bulk Carrier	153	324
Tanker	11	30
Container	2	3
RoRo	1	1
Total	167	358

Πίνακας 4.6 Αριθμός διαφορετικών πλοίων και σύνολο αφίξεων ανά κατηγορία πλοίου



Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα ο κύριος όγκος των αφίξεων αποτελείται από τα Bulk Carrier και στη συνέχεια από τα Tanker. Το λιμάνι μπορεί να υποδεχτεί μέχρι δύο πλοία ταυτόχρονα. Ο υπολογισμός της ζήτησης ισχύος έγινε όπως και στο λιμάνι του Λαυρίου.

### Χύδην Ξηρό



Διάγραμμα 4.7 Ετήσια στοιχεία διακίνησης χύδην φορτίου τη περίοδο 2013-2017

Κατηγορία πλοίου	Μέγιστη απαίτηση σε kVA	Συνολικές kWh/χρόνο
Bulk Carrier	435	2.753.429
Tanker	581	271.175
Container	309	33.691
RoRo	567	14.530
Total		3.072.825

Πίνακας 4.7 Συγκεντρωτικός πίνακας της ζήτησης ισχύος των εμπορικών πλοίων

#### 4.3.2 Τεχνικοοικονομική ανάλυση «Φίλιππος Β΄»

Σε αυτή τη περίπτωση εξετάστηκε το σενάριο του να δημιουργηθούν δύο θέσεις υποδοχής για την σύνδεση των πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι με το ηλεκτρικό δίκτυο της στεριάς για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών τους αναγκών κατά τον ελλιμενισμό. Η μέση ονομαστική ισχύς είναι στα 225 kVA με τη μέγιστη να ανέρχεται στα 581 kVA. Είναι απαραίτητη η χρήση μετατροπέα συχνότητας που θα μετατρέπει τη συχνότητα του δικτύου της στεριάς που είναι 50 Hz στα 60 Hz. Τέλος λειτουργούν όλα με χαμηλή τάση οπότε είναι αναγκαίος μετασχηματιστής για να ρίχνει την τάση από μεσαία που είναι το δίκτυο της ΔΕΗ.

Για την διαστασιολόγηση του μεγέθους του εξοπλισμού που απαιτείται, παρατηρείται ότι καμία μέρα δεν υπάρχει απαίτηση μεγαλύτερη των 375 kVA για την δεύτερη θέση. Παρόλα αυτά επειδή η απαίτηση βασίζεται εν μέρει στη τυχαιότητα των αφίξεων η δεύτερη θέση θα πάρει την αμέσως επόμενη τιμή. Οι μετασχηματιστές για κάθε θέση ελλιμενισμού θα

καθοριστούν από τα αναφερθέντα φορτία σε kVA. Ως αποτέλεσμα, επιλέγονται οι ακόλουθοι μετασχηματιστές. Η πρώτη θέση υποδοχής θα είναι εξοπλισμένη με μετασχηματιστή που έχει ονομαστική ισχύ 625 kVA, για να μπορεί να φιλοξενήσει τα πλοία με τις υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος συν κάποιας προσαύξησης που μπορεί να προκύψει μελλοντικά και η δεύτερη θέση θα είναι εξοπλισμένη με μετασχηματιστή που έχει ονομαστική ισχύ 500 kVA.

Για την επίτευξη της ηλεκτροδότησης θα χρειαστούν και δύο μετατροπείς συχνότητας. Στις δύο θέσεις υποδοχής συμβαίνει να τροφοδοτούνται ταυτόχρονα δύο πλοία με 60 Hz οπότε πρέπει να καλύπτεται το σύνολο της ισχύος. Η επιλογή είναι ο PCS 100 SFC-625 με μέγιστη ισχύ 625 kVA και ο PCS 100 SFC-500 με μέγιστη ισχύ 500 kVA της ABB όπου είναι αντίστοιχου μεγέθους με τους μετασχηματιστές. Οι επιλεγμένες μονάδες μετατροπών έχουν είσοδο τάσης 200-480 V και έξοδο τάσης 400-480 V. Ως εκ τούτου, θα τοποθετηθούν πρώτα οι μετασχηματιστές και θα έχουν την αντίστοιχη ονομαστική ισχύ εξόδου και μείωση της τάσης ρεύματος από 20kV σε 400 V.

<b>Installation Cost</b>			
System Size		1125 kVA	
<b>Substations</b>			
		Cost in euro €	%
Buildings	180m <sup>2</sup>	36.000	4.58
	170m <sup>2</sup>	34.000	4.32
Frequency converters	1 × 625 kVA	150.000	19.07
	1 × 500 kVA	130.000	16.53
Transformers	1 × 625 kVA	22.000	2.80
	1 × 500 kVA	17.000	2.16
Switchgears		118.000	15.00
Circuit breakers, switchboards, cables		70.000	8.90
Cooling ventilation, fire detection, lighting, alarm		22.000	2.80
Connection boxes	2	51.000	6.48
<b>Power distribution</b>			
20 kV cables	400m	12.000	1.53
1 kV cables	500m	55.000	2.80
Total estimated cost		684.000	
Total estimated cost + 15% uncertain costs		786.600	

Πίνακας 4.8 Κόστος εγκατάστασης για το εμπορικό λιμάνι Φίλιππος Β'

<b>Maintenance and operating costs</b>		
	Number of employees	Annual wage / person €
Electrician - Engineers	1	24.000
Technicians	4	14.000
Total annual operating cost	80.000	
Maintenance cost	3% of the total installation cost	23.598
Total annual cost estimation	103.598	

## Πίνακας 4.9 Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης

### Περιγραφή επένδυσης

Η επενδυτική πρόταση συνίσταται από τα εξής μέρη:

- Την κατασκευή δύο θέσεων ελλιμενισμού στο εμπορικό λιμάνι Φίλιππος Β', καθώς και την αγορά του απαραίτητου εξοπλισμού από την ABB για την ηλεκτροδότηση πλοίων από στεριά
- Την αύξηση του εργατικού προσωπικού στο συγκεκριμένο χώρο για την κάλυψη των αναγκών της διασύνδεσης στεριάς-πλοίου αλλά και την συντήρηση της εγκατάστασης

Η παραγγελία του εξοπλισμού γίνεται το 2020 και η παραλαβή μαζί με την εγκατάσταση πραγματοποιείται το 2021 μαζί με την εξόφληση ολόκληρου του ποσού.

### Συνολικό κόστος της επένδυσης

Τα αρχικά κόστη της επένδυσης θα αναφέρονται εφεξής ως CAPEX (Capital Expenditure).

Η αγορά του εξοπλισμού ανέρχεται στα 786.600 € και αποτελεί το CAPEX της επενδυτικής κίνησης. Το τίμημα θα εξοφληθεί το έτος 2021 κατά σύμβαση.

Στα κόστη δεν περιλαμβάνονται Πάγια Περιουσιακά Στοιχεία και Έξοδα Ιδρύσεως και Οργανώσεως καθώς το έργο αναλαμβάνεται από ήδη υπάρχουσα εταιρία.

### Τρόποι χρηματοδότησης

Μέσω Ευρωπαϊκής χρηματοδότησης παρέχεται ένα επενδυτικό κεφάλαιο της τάξεως του 50% του κόστους αγοράς της εγκατάστασης. Αυτό το ποσοστό μεταφράζεται σε 393.300 €. Το εναπομένον ποσό επιλέγεται να διατεθεί μέσω Ιδίων Κεφαλαίων.

## Βασικές Παραδοχές

### Φορολογία και Κόστος Κεφαλαίου

Ο συντελεστής φορολογίας εισοδήματος βρίσκεται στο 29%. Δεν υπάρχουν φορολογικές εξαιρέσεις πλην των προβλεπόμενων από το Νόμο αποσβέσεων.

Το προεξοφλητικό επιτόκιο, επιλέγεται να τοποθετηθεί στο 4%, και διατηρείται σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια των ετών.

### Μερίσματα και Πλεονάζοντα Κεφάλαια

Τα μερίσματα δεν λαμβάνονται υπόψη. Επιπλέον δεν λαμβάνονται υπόψη πιστώσεις μετόχων και πιστώσεις προμηθευτών.

Τυχόν πλεονάζοντα κεφάλαια κρατούνται για επανεπένδυση

## **Παραδοχές αναφορικά με τα Έσοδα και τα Έξοδα**

Έγιναν συγκεκριμένες παραδοχές σχετικά με τα αναμενόμενα έσοδα και έξοδα. Αυτές που σχετίζονται με τα έσοδα αφορούν την ποσότητα ρεύματος που θα δοθεί, ενώ αυτές που σχετίζονται με τα έξοδα αφορούν τα σταθερά έξοδα Τα χρηματοοικονομικά έξοδα, αποσβέσεις και φόρος εισοδήματος εξετάζονται ξεχωριστά.

### **Έσοδα**

Αρχική παραδοχή τίθεται η πώληση, στα προς ηλεκτροδότηση πλοία, της ποσότητας που έχει υπολογιστεί, κάθε έτος. Αυτή ανέρχεται στους 3.072.825 kWh το 2021, με ποσοστιαία αύξηση 1.5% τα επόμενα χρόνια της επένδυσης.

### **Έξοδα**

Τα κόστη λειτουργίας δομούνται από τα κόστη στελέχωσης του γραφείου και των επιδιορθώσεων και συντήρησης, Το σύνολο των Κοστών Λειτουργίας είναι 103.598 € για το 2021, και αναμένεται αύξηση τους κατά 0.5% ετησίως.

### **Οικονομικοί Δείκτες**

Η Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value - NPV) της επένδυσης για διάρκεια 25 ετών (2021 – 2045) ανέρχεται στα 451.995€ , με προεξοφλητικό επιτόκιο 4%.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR) της επένδυσης για διάρκεια 25 ετών (2021 – 2045) φτάνει το 22.88%.

Η Περίοδος Αποπληρωμής (Payback Period) πραγματοποιείται σε διάστημα 6 ετών.

### **Break Even Point**

Ο αριθμός των πωληθέντων κιλοβατώραν για τις οποίες τα Μικτά Κέρδη καλύπτουν πλήρως τα Λειτουργικά Κόστη είναι 1.726.633 για το 2020.

### **Sensitivity Analysis**

Η οικονομική ανάλυση στηρίζεται εν γένει σε υπολογισμούς και παραδοχές που βασίζονται, με την σειρά τους, σε πρακτικές και επιστημονικές αρχές. Ο σκοπός είναι να προσδιορισθεί το κόστος της επένδυσης, αναμενόμενα ετήσια έσοδα και έξοδα με βάση προσδοκίες ως προς την ποσότητα των κιλοβατώραν που θα πωληθούν στο μέλλον όπως προκύπτει από σχετική έρευνα αγοράς.

Στην παρούσα Μελέτη εκτίθενται όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν το επιχειρηματικό σχέδιο, υιοθετώντας συντηρητικές εκτιμήσεις. Ωστόσο, επειδή οι μεταβλητοί παράγοντες είναι αρκετοί, απαιτείται να εξετασθούν οι επιδράσεις επί των οικονομικών δεικτών καθενός από αυτούς ξεχωριστά.

Διενεργήσαμε “sensitivity analysis” για κάθε ένα από τους ακόλουθους παράγοντες που επηρεάζουν τα έσοδα και έξοδα και ειδικότερα την επίδραση επί των κερδών της εταιρείας από:

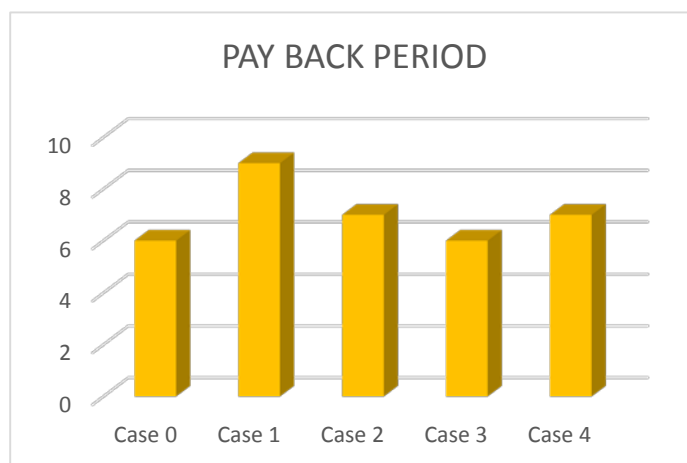
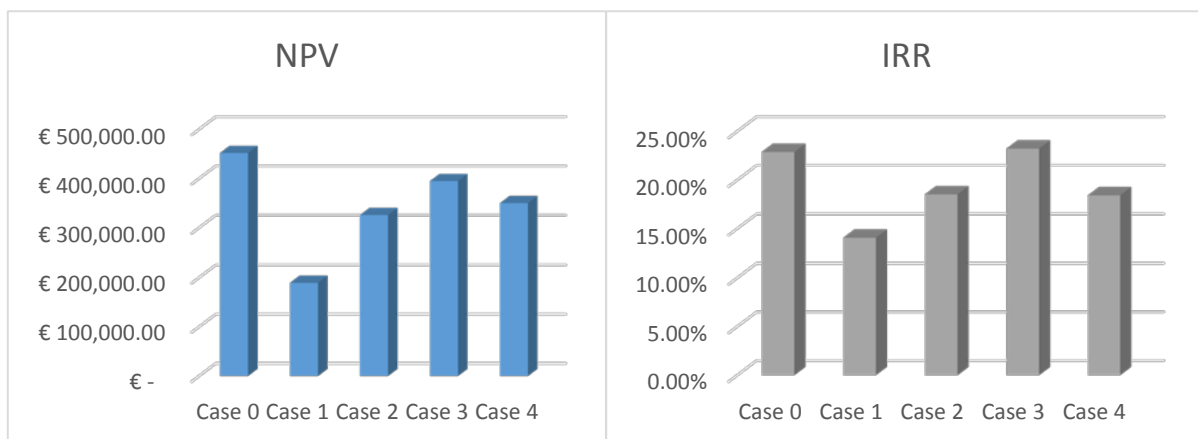
- v. Ενδεχόμενη μείωση κατά 0,01€ στην τιμή πωλήσεως της κιλοβατώρας στα πλοία με ζήτηση (0,12 €/kWh έναντι 0.13 €/kWh)
- vi. Ενδεχόμενη μείωση κατά 8% στην ζητούμενη ισχύ (3.376.750 kWh έναντι 3.670.381 kWh το 2020)
- vii. Ενδεχόμενη μείωση της διάρκειας της επένδυσης κατά 5 έτη, (20 χρόνια έναντι 25)
- viii. Ενδεχόμενη μείωση της χρηματοδότησης από την ευρωπαϊκή ένωση στο 30% έναντι 50%, το οποίο 20% θα καλυφτεί μέσω δανείου. Το τραπεζικό δάνειο αξίας 157.320€ θα είναι διάρκειας 10 ετών, χωρίς περίοδο χάριτος, με μέσο ετήσιο επιτόκιο 4% και αποπληρωμή σε 10 ισόποσες ετήσιες δόσεις των 19.396€ έκαστη πληρωτέες στο τέλος εκάστου έτους, με έναρξη την 31/12/2021. Για την εξασφάλιση του δανείου θα παρασχεθούν εγγυήσεις από την εταιρεία υπό μορφή υποθήκης των κτηρίων.

Οι Οικονομικοί Δείκτες για κάθε περίπτωση είναι:

- I. **NPV** = € 189.451,90  
**IRR** = 14.06%  
**PAYBACK PERIOD** = 9 χρόνια
- II. **NPV** = € 325.953,50  
**IRR** = 18.52%  
**PAYBACK PERIOD** = 7 χρόνια
- III. **NPV** = € 394.890,28  
**IRR** = 23.23%  
**PAYBACK PERIOD** = 6 χρόνια
- IV. **NPV** = € 350.124,03  
**IRR** = 18.42%  
**PAYBACK PERIOD** = 7 χρόνια

Τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, όλοι οι οικονομικοί δείκτες επηρεάζονται σημαντικά αλλά η επένδυση εξακολουθεί να είναι βιώσιμη και κερδοφόρα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα συγκρίσεως των τεσσάρων περιπτώσεων.



Διάγραμμα 4.8 Σύγκριση των τεσσάρων σεναρίων με την αρχική υπόθεση βάση των οικονομικών δεικτών

#### 4.4 Εκπομπές Ρύπων στο Λιμάνι Φίλιππος Β΄

Την ήδη επιφορτισμένη ατμόσφαιρα της πόλης της Καβάλας, επιβαρύνουν οι εκπομπές αέριων ρύπων από τα πλοία κατά των ελλιμενισμό τους στο λιμάνι. Έχοντας υπολογίσει τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες που παρουσιάζονται σε αυτό, το επόμενο ουσιαστικό βήμα είναι να υπολογιστεί η συμβολή τους στην ρύπανση της πόλης υπολογίζοντας αναλυτικά τα συστατικά των ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία κατά την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας. Σε αυτό το σημείο θα θεωρηθεί ότι τα πλοία έχουν συμμορφωθεί με τους κανονισμούς που έχουν προκύψει το τελευταίο διάστημα οι οποίοι επιβάλλουν χρήση καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο για κάθε πλοίο που εισέρχεται σε λιμάνι. Χωρίς αυτή την παραδοχή οι παραγόμενοι ρύποι θα είναι πολλαπλάσιοι από την παρούσα εκτίμηση.

Στον πίνακα 3.13 παρουσιάζεται η ανάλυση των ρύπων κατά την καύση μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Τα στοιχεία αντλήθηκαν από την σελίδα στο διαδίκτυο της οργάνωσης World Ports Climate Initiative (WPCI) όπου ενδεικτικά δίνονται οι εκπεμπόμενοι

ρύποι κατά την καύση διαφόρων ειδών καυσίμου. Τα μεγέθη του εν λόγω πίνακα αναφέρονται σε gr ρύπου ανά kWh εισαγόμενης θερμότητας καυσίμου.

Pollutants	MDO (ton)	EU Mix (ton)	Emission reduction by electricity
NOx	40.561	1.075	0.97%
PM	0.922	0.009	0.99%
SO2	7.989	0.396	0.95%
CO2	1981.972	1075.489	0.46%

Πίνακας 4.10 Εκπομπές ρύπων στο λιμάνι Φίλιππος Β' για το έτος που μελετήθηκε συγκριτικά με το να γινόταν η ηλεκτροδότηση από CI



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον σύγχρονο κόσμο, καθένας οφείλει να λειτουργεί με σεβασμό και να μεριμνά για την προστασία του περιβάλλοντος. Φυσικά, αυτό δεν συμβαδίζει πάντα με τα συμφέροντα. Ωστόσο, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός διαφορετικών αρχών, που δεσμεύονται να προστατεύσουν και να διατηρήσουν το οικοσύστημα. Στον θαλάσσιο κόσμο, το έργο αυτό εμπίπτει στη δικαιοδοσία αρχών, όπως ο ΙΜΟ και η ΕΕ, στις λιμενικές αρχές, καθώς και στα κράτη που ανήκουν οι σημαίες των πλοίων. Μετά από πολλούς νέους και αυστηρούς περιορισμούς που τέθηκαν σε ισχύ τον τελευταίο καιρό στις εκπομπές ρύπων, στα καύσιμα και στους κινητήρες που χρησιμοποιούνται αυξήθηκε ο αριθμός των πλοιοκτητών και των λιμενικών φορέων που θέλουν να αλλάξουν σε μια πορεία πιο φιλική προς το περιβάλλον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη γύρω από τρόπους σχετικούς με τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία.

Μέχρις στιγμής οι τεχνολογίες αυτές συνοδεύονται από υψηλό κόστος. Επομένως, οι επιχειρήσεις στον ναυτιλιακό τομέα παγκοσμίως πρέπει να επενδύσουν πολλά χρήματα, σε απαραίτητες υποδομές για τη μείωση των εκπομπών πλοίων. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι προτιμητέα είναι μία λύση η οποία συνδυάζει αποτελεσματικότητα και οικονομική βιωσιμότητα. Για να βρεθεί μία μέθοδος με τα βέλτιστα χαρακτηριστικά πρέπει να γίνει προσεκτική εξέταση στα ποσοστά εκπομπών, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.

Το Cold Ironing είναι μία τεχνολογία που στοχεύει στον περιορισμό των εκπομπών που παράγονται κατά τη διάρκεια των ωρών ελλιμενισμού των πλοίων στο λιμένα, λόγω της λειτουργίας των βοηθητικών κινητήρων τους για διάφορες δραστηριότητες. Το ηλεκτρικό ρεύμα παρέχεται μέσω του χερσαίου ηλεκτρικού δικτύου επιτρέποντας στα πλοία να κλείσουν τους βοηθητικούς ντιζελοκινητήρες τους, διατηρώντας, έτσι, την ομαλή λειτουργία τους και μειώνοντας σημαντικά το κόστος συντήρησης. Τα επιβατικά και κρουαζιερόπλοια, τα δεξαμενόπλοια, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και χύδην είναι οι συνηθέστερες κατηγορίες πλοίων που χρησιμοποιούν χερσαία παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Το Cold Ironing περιορίζει σημαντικά τις εκπομπές οξειδίου του θείου ( $SO_x$ ), ελαχιστοποιεί τις εκπομπές οξειδίου του αζώτου ( $NO_x$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) που παράγονται από τα ελλιμενισμένα πλοία εντός λιμένων και παράκτιων περιοχών. Επιπλέον, περιορίζεται η ηχορύπανση και οι δονήσεις που παράγονται από το πλοίο.

Η περίοδος 2016-2019 χαρακτηρίζεται από την ολοκλήρωση της προσπάθειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής να προχωρήσει στη μερική απελευθέρωση της αγοράς παροχής λιμενικών υπηρεσιών και να διαμορφώσει πλαίσιο για τη χρηματοδότηση των Ευρωπαϊκών λιμένων με διεθνή κίνηση. Την ίδια περίοδο, η λιμενική βιομηχανία βρέθηκε στο επίκεντρο και άλλων ευρωπαϊκών πολιτικών και πρωτοβουλιών, πιστοποιώντας τη σημασία των λιμένων για την ανταγωνιστικότητα του συνόλου των Ευρωπαϊκών μεταφορών αλλά και την Ευρωπαϊκή οικονομική ανάπτυξη και κοινωνική συνοχή. Η Ελλάδα είναι μια χώρα που επενδύει σε μεγάλο βαθμό στα λιμάνια και τις μεταφορές αγαθών και επιβατών.

Αυτή η εργασία επικεντρώθηκε κυρίως στη μελέτη μιας ολοκληρωμένης λύσης εγκατάστασης Cold Ironing στα λιμάνια του Λαυρίου και της Καβάλας. Το λιμάνι του Λαυρίου

έχει καθοριστεί ως ένα από τα λιμάνια εθνικής σημασίας αναλαμβάνοντας ουσιαστικό και συμπληρωματικό ρόλο προς τον Λιμένα του Πειραιά και το ευρύτερο σύστημα Λιμένων της Αττικής. Το λιμάνι της Καβάλας, απαρτίζεται από τέσσερα λιμάνια με διακριτούς ρόλους τα οποία συμπλέουν με κοινή στόχευση. Την τοποθέτηση του λιμενικού συστήματος της Καβάλας σε ένα σημαντικό κόμβο θαλασσίων μεταφορών στην ευρύτερη περιοχή, με ιδιαίτερη έμφαση στο χώρο των Ανατολικών Βαλκανίων.

Επομένως, με σκοπό την παρουσίαση μιας λεπτομερούς πρότασης, έγινε αρχικά αξιολόγηση της ημερήσιας ενεργειακής απαίτησης για κάθε ελλιμενισμένο πλοίο. Επιπλέον, ερευνήθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά των βοηθητικών κινητήρων των πλοίων, όπως η τάση λειτουργίας και η συχνότητα του συστήματος. Αυτό πραγματοποιήθηκε είτε μέσω στοιχείων που δόθηκαν από τα ίδια τα λιμάνια, είτε μέσω εμπειρικών τύπων.

Η μελέτη για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το λιμάνι του Λαυρίου χωρίστηκε σε δύο μέρη. Αρχικά για τον τομέα ακτοπλοΐας και στη συνέχεια στον εμπορικό. Ως προς τον τομέα ακτοπλοΐας πραγματοποιήθηκαν τρία σενάρια ανάλογα με τις πόσες θέσεις υποδοχής θα δημιουργηθούν. Επιλέχτηκε το δεύτερο σενάριο όπου πραγματεύεται τη δημιουργία τριών θέσεων, μία που έχει ονομαστική ισχύ 750 kVA και από δύο με 500 kVA. Θα υπάρξει κεντρικός μετατροπέας συχνότητας οπότε και οι τρεις θέσεις μπορούν να καλύψουν και τις δύο συχνότητες. Τα πλοία που δένουν στο λιμάνι λειτουργούν όλα σε χαμηλή τάση, οπότε χρειάζεται μετασχηματιστής που θα ρίχνει την τάση του δικτύου από μέση σε χαμηλή. Για τον εμπορικό τομέα θα δημιουργηθεί μία θέση με ονομαστική ισχύ 750 kVA. Σύμφωνα με την μελέτη που έγινε είναι απαραίτητη η χρήση μετατροπέα συχνότητας καθώς και μετασχηματιστή γιατί όλα τα πλοία λειτουργούν σε χαμηλή τάση.

Το λιμάνι της Καβάλας αντίστοιχα χωρίστηκε σε δύο μέρη. Αρχικά για το επιβατηγό λιμάνι «ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ» έγινε μελέτη αλλά η επένδυση κρίθηκε μη βιώσιμη καθώς τα ετήσια λειτουργικά έξοδα υπερβαίνουν κατά πολύ τα ετήσια έσοδα. Για τον εμπορικό τομέα Φίλιππος Β΄ θα δημιουργηθούν δύο θέσεις με ονομαστική ισχύ 625 kVA και 500 kVA αντίστοιχα. Σύμφωνα με την μελέτη που έγινε είναι απαραίτητη η χρήση μετατροπέα συχνότητας καθώς και μετασχηματιστή γιατί όλα τα πλοία λειτουργούν σε χαμηλή τάση.

Έγινε ποσοτικός προσδιορισμός των ετήσιων εκπομπών κατά την περίοδο μελέτης και σύγκριση με εκείνες που παράγονται για την παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά. Η σύγκριση αυτή έδειξε σημαντική μείωση των εκπομπών σε περίπτωση εφαρμογής του Cold Ironing. Πιο συγκεκριμένα, προέκυψε ετήσια μείωση 97% σε NO<sub>x</sub>, 95% σε SO<sub>x</sub>, 46% σε CO<sub>2</sub> και 99% σε PM. Αυτές οι μειώσεις επιτυγχάνονται σε περίπτωση που όλα τα πλοία ελλιμενισμού συνδέονται με την ακτή. Είναι ασφαλές συμπέρασμα ότι περαιτέρω μείωση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Ταυτόχρονα, η τεchnοοικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης του Cold Ironing έδειξε ότι η υποχρεωτική χρήση μετατροπέα συχνότητας, η αυξάνει σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης, καλύπτοντας σχεδόν το ένα τρίτο του συνολικού κόστους. Για το λόγο αυτό έγινε προσπάθεια διερεύνησης πολλών εναλλακτικών λύσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν διαφορετικές επενδυτικές επιλογές. Η οικονομική ανάλυση φανέρωσε ότι η οικονομική

βιωσιμότητα των επενδύσεων για τα δύο λιμάνια, επαρκεί για πολλά σενάρια. Σημαντική κρίνεται και η συνεισφορά της ΕΕ στη χρηματοδότηση τους χωρίς ωστόσο να κρίνεται υποχρεωτική. Ωστόσο, τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι σημαντικά σε όλα τα σενάρια και πρέπει να ληφθούν υπόψη ανεξαρτήτως της βιωσιμότητας των επενδύσεων.

Επιπλέον, με την ανάλυση του κόστους λειτουργίας των πλοίων κατά τη διάρκεια της αγκυροβόλησης, φάνηκε ότι το Cold Ironing μπορεί να είναι ευεργετικό και για τους πλοιοκτήτες διότι το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο είναι χαμηλότερο από το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του πλοίου.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

2006/339/EC, (2006). Commission recommendation of 8 May 2006 on the promotion of shore-side electricity for use by ships at berth in Community ports.

Entec UK Limited, European Commission, (2002). Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community.

Environ (2014). Cold Ironing Cost Effectiveness Study, port of Long Beach.

Equasis, (2018). The world merchant fleet in 2018, statistics from equasis.

Patrik Ericsson, Ismir Fazlagic, Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology, ABB, (2008). Shore-side power supply. A feasibility study and a technical solution for an onshore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port.

Richard Fiadomor (2009). Assessment of alternative maritime power (cold ironing) and its impact on port management and operations.

IEC/ISO/IEEE 60364-5-52 Edition 3.0 2009-10 (2011). Low voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems.

IEC/ISO/IEEE 80005-3 Edition 1.0 2012-07, (2014). Utility connections in port – Part 3: Low voltage shore connection (LVSC) systems – general requirements.

International Maritime Organization, (2016). Air Pollution and Energy Efficiency.

Italian-Malta Programme (2014). Feasibility Study into the possibility of shore side electrical supply for berthing vessels within Maltese Harbours.

Hans Otto Kristenen, Harilaos Psaraftis, The Technical University of Denmark, (2015). Energy demand and exhaust gas emissions of marine engines.

Kritikos O. M., A Cold Ironing Feasibility study and Cost-Benefit analysis - The case of Thessaloniki, Diploma Thesis, 2017

Jason Monios (2018). Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports – The case of Aberdeen.

J.M. Prousalidis, D.V. Lyridis, S. Dallas, C. Papaleonidas, P. Mitrou, E. Vergetis, E. Vaimaki, S. Aggelopoulos, T. Kourmpelis, V. Georgiou, P. Katsikas, T. Boutsika, D. Spathis, (2017). The ports as smart micro-grids: development perspectives.

J.M. Prousalidis, P. Mertikas, S.E. Dallas, D. Spathis, T. Kourmpelis, I.P. Georgakopoulos, , D.V. Lyridis, L. Nakos, P. Mitrou, V. Georgiou (2018). Furthering the electricity to ships and ports: the ELEMED project.

D. Toscano, F. Murena (2019). Atmospheric ship emissions in ports: A review. Correlation with data of ship traffic.

Tzoutsas Vasilis, (2020). Techno-economic feasibility study on the electrification of the port of Rafina.

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD 2020). Review of Maritime Transport 2019

Mar Viana, Pieter Hammingh, Augustin Colette, Xavier Querol, Bart Degraeuwe, Ina de Vlieger, John van Aardenne, (2014), Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe.

A. Wilske, Port of Gothenburg, (2012). Preconditions for connecting ships to Onshore Power Supply in the Port of Gothenburg.