



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)
ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
"ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ"

**Τροφοδότηση των ελλιμενισμένων πλοίων στον λιμένα
Πειραιά με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές
(φωτοβολταϊκά στοιχεία) βάσει της μεθόδου cold ironing**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΙΧΑΗΛ Δ. ΧΑΤΖΗΠΑΠΑ

Πτυχιούχου Φυσικού Πανεπιστημίου Πατρών

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. Αριστείδης Μ. Προσπαθόπουλος

Ειδικός Λειτουργικός Επιστήμονας (ΕΛΕ) Β' του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας
ΕΛΚΕΘΕ.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)
ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
"ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ"**

**Τροφοδότηση των ελλιμενισμένων πλοίων στον λιμένα
Πειραιά με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές
(φωτοβολταϊκά στοιχεία) βάσει της μεθόδου cold ironing**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΙΧΑΗΛ Δ. ΧΑΤΖΗΠΑΠΑ

Πτυχιούχου Φυσικού Πανεπιστημίου Πατρών

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δρ. Αριστείδης Μ. Προσπαθόπουλος: Ειδικός Λειτουργικός Επιστήμονας (ΕΛΕ) Β' του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας ΕΛΚΕΘΕ.

Δρ. Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης: Καθηγητής της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

Δρ. Τακβόρ Χ. Σουκισιάν: Διευθυντής Ερευνών του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας ΕΛΚΕΘΕ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2021

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Αριστείδη Μ. Προσπαθόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα αλλά και για το άριστο κλίμα συνεργασίας που δημιούργησε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δρ. Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη και τον Δρ. Τακβόρ Χ. Σουκισιάν για τις πληροφορίες που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.

Ακόμη τον περιβαλλοντολόγο κύριο Σωκράτη Δασακλή, ιδιοκτήτη της εταιρίας περιβαλλοντικών μελετών ARCENVIRO και τον Η/Μ της εταιρίας Απόστολο Παπαδάκη για την πολύτιμη βοήθειά τους στο θέμα της ορθής τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στις στέγες των κτιρίων αλλά και για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από αυτά. Τέλος την εταιρία MarineTraffic για τα δεδομένα που μας παραχώρησε μετά το συμφωνητικό συνεργασίας που υπογράψαμε.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων.....	4
Πρόλογος.....	7
Abstract.....	9
Πρωτότυπη συνεισφορά και συνεργαζόμενοι φορείς.....	11
1 Ναυτιλία και Εκπομπές Ρύπων	12
1.1 Ευρωπαϊκός Ναυτικός Στόλος	12
1.2 Κινητικότητα πλοίων στα ευρωπαϊκά λιμάνια	13
1.3 Κατηγορίες ρύπων ναυτικών κινητήρων	14
1.3.1 Οξείδιο του αζώτου (NO _x).....	14
1.3.2 Υδρογονάνθρακες.....	15
1.3.3 Οξείδιο του θείου (SO _x)	15
1.3.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	15
1.3.5 Αιωρούμενα σωματίδια (PM).....	16
1.3.6 Μόλυβδος (Pb)	16
1.4 Εκπομπή ρύπων στα Ευρωπαϊκά λιμάνια.....	17
1.4.1 Διοξείδιο του άνθρακα CO ₂	17
1.4.2 Διοξείδιο του θείου SO ₂	17
1.4.3 Διοξείδιο του αζώτου	19
1.4.4 Αιωρούμενα σωματίδια PM.....	19
1.5 Εναλλακτικά καύσιμα	19
1.5.1 Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSF).....	19
1.5.2 Βιοκαύσιμα (BIODIESEL)	19
1.5.3 Αιθανόλη.....	19
1.5.4 Συμπιεσμένο και υγροποιημένο φυσικό αέριο (CNG,LNG).....	20
1.5.5 Υδρογόνο.....	20
1.5.6 Αμμωνία.....	20
1.5.7 Τροφοδοσία από το λιμάνι.....	20
2 Cold Ironing.....	21
2.1 Περιγραφή.....	21
2.2 Διεθνείς Κανονισμοί για το Cold Ironing (2006/339/EC)	22
2.3 Διεθνή πρότυπα για το Cold Ironing.....	22
2.4 Διατάξεις συστημάτων HVSC και LVSC	23
2.4.1 Διάταξη LVSC	23

2.4.2	Διάταξη HVSC.....	24
2.5	Εναλλακτικός σχεδιασμός του δικτύου στη ξηρά.....	25
2.5.1	Αποκεντρωμένη επιλογή	25
2.5.2	Συγκεντρωτική επιλογή	26
2.6	Τα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids).....	27
2.6.1	Εξοπλισμός.....	29
2.6.2	Σύνδεση με το πλοίο	31
3	Μεθοδολογία υπολογισμού ρύπων για επιλεγμένα πλοία στο λιμάνι του Πειραιά	35
3.1	Το λιμάνι του Πειραιά.....	35
3.2	Κίνηση πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά	36
3.2.1	Κίνηση εμπορικών πλοίων	36
3.2.2	Κίνηση ακτοπλοΐας.....	38
3.2.3	Κίνηση Κρουαζιερόπλοιων.....	40
3.3	Μεθοδολογία υπολογισμού ρύπων από τα πλοία	42
3.4	Συντελεστές φόρτισης βοηθητικών μηχανών	43
3.5	Συντελεστές εκπομπών αέριων ρύπων	44
3.6	Τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων που θα εξεταστούν.....	45
3.7	Χρονικό διάστημα ελλιμενισμού των πλοίων	46
4	Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων και ενέργειας από επιλεγμένα πλοία στο λιμάνι του Πειραιά κατά τον ελλιμενισμό	48
4.1	Αναλυτικός υπολογισμός των ρύπων.....	48
4.2	Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.....	49
5	Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Φ/Β) στο λιμάνι του Πειραιά.....	51
5.1	Εισαγωγή.....	51
5.2	Ηλιακή Ακτινοβολία.....	51
5.2.1	Ηλιακή Ενέργεια	51
5.2.2	Συνιστώσες Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	51
5.3	Φωτοβολταϊκά συστήματα	53
5.3.1	Εισαγωγή.....	53
5.3.2	Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	53
5.3.3	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου	55
5.3.4	Κατασκευαστικά στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων	55
5.3.5	Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου	57

5.3.6	Περιβαλλοντικά – τεχνο-οικονομικά θέματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων	59
5.4	Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων στο λιμάνι του Πειραιά.....	61
5.4.1	Επιλογή κτιρίων για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων	61
5.4.2	Κανόνες Χωροθέτησης των Φ/Β πλαισίων	64
5.4.3	Εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	65
5.5	Παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στα επιλεγμένα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά	69
5.5.1	Υπολογιστικό πρόγραμμα PVGIS	69
5.5.2	Αποτελέσματα	70
6	Κάλυψη ενεργειακών αναγκών cold ironing από φ/β σε επιλεγμένα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά - Συμπεράσματα.....	71
6.1	Ποσοστιαία κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους από την παραγόμενη ενέργεια των εγκατεστημένων φ/β στα κτίρια	71
6.2	Σύνοψη – Συμπεράσματα	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....		75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....		86
Βιβλιογραφία.....		97

Πρόλογος

Η ναυτιλία αποτελεί τον πιο σημαντικό τομέα του εμπορίου παγκοσμίως. Η διαρκής και αυξανόμενη κυκλοφορία των πλοίων ως μέσα μεταφοράς των εμπορευμάτων συμβάλλει στην ρύπανση του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα της ατμόσφαιρας λόγω της εκπομπής επιβλαβών ρύπων. Το πρόβλημα είναι πολύ σημαντικό σε πολυσύχναστα λιμάνια που βρίσκονται κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπως το λιμάνι του Πειραιά. Τα τελευταία χρόνια η MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) και ο IMO (International Maritime Organization) έχουν επιβάλει αυστηρούς περιορισμούς μέσω σχετικών διατάξεων που αφορούν στην ποιότητα των καυσίμων που καταναλώνουν τα πλοία με στόχο να μειώσουν τις εκπομπές βλαβερών ρύπων (Kuropyatnyk and Sagin, 2019; IMO, 2014). Έτσι, οι πλοιοκτήτες πρέπει να πραγματοποιήσουν αλλαγές στο είδος του καυσίμου που καταναλώνεται, ώστε να καταστήσουν τη λειτουργία των πλοίων και ευρύτερα της ναυτιλίας πιο φιλική προς το περιβάλλον. Θεωρούμε δε ότι αν αυτές οι εκπομπές ρύπων πραγματοποιούνταν στη στεριά θα είχαμε πιθανότατα την εφαρμογή ακόμη πιο αυστηρών μέτρων.

Τα πλοία δεν εκπέμπουν ρύπους μόνο όσο ταξιδεύουν, αλλά και όσο βρίσκονται αγκυροβολημένα στα λιμάνια. Μπορεί οι κύριες μηχανές να μην λειτουργούν, όμως οι βοηθητικές μηχανές που έχουν ως καύσιμο diesel συνεχίζουν να λειτουργούν, ώστε να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια για τις αναγκαίες εργασίες του πλοίου που λαμβάνουν χώρα κατά τον ελλιμενισμό του. Κάτι τέτοιο οδηγεί στην παραγωγή επιβλαβών ρύπων όπως οξειδία του αζώτου (NO_x), οξειδία του θείου (SO_x), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και αιωρούμενα σωματίδια στερεής ή υγρής μορφής (Particulate Matter, PM), που μπορεί να είναι αντιληπτά ή όχι στην ανθρώπινη όραση (Berechman et al., 2012).

Το πρόβλημα της μείωσης των ρύπων από τα πλοία μπορεί να αντιμετωπιστεί με συγκεκριμένους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Τα καύσιμα αυτά έχουν χαμηλή παραγωγή ρυπογόνων αερίων. Τέτοια είναι το υδρογόνο, τα βιοκαύσιμα, το LNG (Liquified Natural Gas) και η αμμωνία (NH₃) (Kolwzan et al., 2012). Βέβαια οι παραπάνω επιλογές απαιτούν είτε να γίνουν αρκετές προσαρμογές στις μηχανές των πλοίων είτε οι μηχανές σε newbuilds να προορίζονται για να καίνε εξ αρχής τα συγκεκριμένα καύσιμα.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των εκπομπών ρύπων από τα πλοία στα λιμάνια αποτελεί η τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας στην οποία βρίσκονται. Με τον τρόπο αυτό οι βοηθητικές μηχανές δεν καταναλώνουν καύσιμο και δεν πραγματοποιείται εκπομπή ρύπων. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **cold ironing** (Ballini et al., 2015). Με την αύξηση των μέτρων και των περιορισμών στα πλοία για τους ρύπους που εκπέμπουν στα λιμάνια γίνεται επιτακτική η εφαρμογή τέτοιων τεχνικών όπως αυτή του cold ironing (Soukissian et al., 2017a). Η τεχνική αυτή, εκτός από τη συμβολή της στη μείωση των ρύπων μειώνει και τα έξοδα του πλοίου, καθώς το ρεύμα από το δίκτυο κοστίζει λιγότερο από το πετρέλαιο diesel που χρησιμοποιούν οι βοηθητικές μηχανές, ενώ τα λιμάνια μπορεί να γίνουν έξυπνοι ενεργειακοί κόμβοι εκμεταλλεούμενοι το έξυπνο δίκτυο (βλ. Prousalidis et al., 2017b,

Ενότητα 2.6). Ήδη πολλά λιμάνια ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν το cold ironing (Soukissian et al., 2017b), ενώ το λιμάνι της Κυλλήνης είναι το πρώτο λιμάνι στην Ανατολική Μεσόγειο που απέκτησε υποδομή για cold ironing καλύπτοντας μέρος των ενεργειακών αναγκών του επιβατηγού ro-ro πλοίου Fior Di Levante (ELEMED, 2018). Επίσης, είναι περιβαλλοντικά σημαντικό η ηλεκτρική ενέργεια που θα τροφοδοτούνται τα πλοία μέσω της τεχνολογίας του cold ironing να πηγάζει από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βλ., π.χ., Mertikas et al., 2018, Section V). Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (IEC/ISO/IEEE 80005) υπάρχουν οι προδιαγραφές ώστε το εγχείρημα αυτό να υλοποιηθεί και να είναι λειτουργικό (Tarnapowicz & German-Galkin, 2018).

Η διπλωματική αυτή εργασία επικεντρώνεται στην εκμετάλλευση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, με σκοπό την κάλυψη ενεργειακών αναγκών των πλοίων κατά τον ελλιμενισμό στο λιμάνι του Πειραιά μέσω της τεχνολογίας του cold ironing ως μέθοδο μείωσης της εκπομπής βλαβερών ρύπων. Τα πλοία που εξετάζονται είναι επιβατηγά, ανήκουν στην κατηγορία της ακτοπλοΐας, και – παρόλο που τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται εντονότερη κίνηση – τα δρομολόγιά τους συνεχίζουν όλο το χρόνο λόγω του ότι διασυνδέουν σημαντικό αριθμό νησιών με το λιμάνι του Πειραιά. Προηγούμενες εργασίες που εξετάζουν μεθόδους ενεργειακής αναβάθμισης, συμπεριλαμβανομένου του cold ironing και των φωτοβολταϊκών συστημάτων, σε ελληνικά λιμάνια (Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Ηγουμενίτσα) είναι οι (Kritikos, 2017), (Δανιήλ, 2018), (Ποντικός, 2018), (Μουρκοκώστα, 2018).

Στο Κεφάλαιο 1 της εργασίας περιγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση στην παγκόσμια ναυτιλία, η ναυτική κινητικότητα στο λιμάνι του Πειραιά, η δυσμενής επίδραση των ρύπων οι οποίοι προέρχονται από τους ναυτικούς κινητήρες κατά την κατανάλωση καυσίμου αλλά και οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές εφαρμογής του cold ironing. Στο Κεφάλαιο 3, μετά την αναφορά συνοπτικών στοιχείων για την κίνηση των πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά, περιγράφεται η μεθοδολογία της εκτίμησης των ρύπων από τις ηλεκτρομηχανές συγκεκριμένων επιβατηγών πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους βάσει μίας σειράς απαραίτητων δεδομένων και παραμέτρων. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται ο μαθηματικός υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων των ηλεκτρομηχανών και η ενέργεια που κατανάλωσαν τα είκοσι επιλεγμένα πλοία χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το MGO (Marine GasOil). Στο Κεφάλαιο 5 επιλέγονται διαθέσιμα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και υπολογίζεται η ενέργεια που μπορεί να συλλεχθεί, με στόχο την εκτίμηση του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε κάθε ένα από τα επιλεγμένα πλοία κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού τους η οποία γίνεται στο Κεφάλαιο 6. Για κάθε πλοίο ξεχωριστά πραγματοποιείται κατηγοριοποίηση με βάση την ισχύ των ηλεκτρομηχανών τους, τις ώρες παραμονής στο λιμάνι, το ποσό των ρύπων που εκπέμπουν και της αντίστοιχης ενέργειας που καταναλώθηκε. Τέλος, παρατίθενται συμπεράσματα και μελλοντικές κατευθύνσεις εξέλιξης της εργασίας αυτής.

Abstract

Shipping is the most important sector of the commercial world. The increasing ship traffic as a means of transporting goods contributes to the pollution of the environment and in particular of the atmosphere due to the emission of harmful pollutants. The problem becomes more intense in busy ports located near or in major cities, such as the port of Piraeus. In recent years, MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) and IMO (International Maritime Organization) have imposed severe restrictions through provisions for the quality of fuel consumed by ships in order to reduce emissions of harmful pollutants. Thus, shipowners need to change the type of fuel consumed in order to render shipping more environmentally friendly.

Ships do not emit pollutants only while traveling, but also while being moored in ports. The main engines may not work, but the diesel auxiliary engines continue to operate generating electricity for necessary ship operations during its mooring. This leads to the production of harmful pollutants such as nitrogen oxides (NO_x), sulfuroxides (SO_x), carbon dioxide (CO₂) and suspended particles of solid or liquid form (Particulate Matter, PM), which may or may not be present in the human vision.

The problem of reducing pollution from ships can be addressed in specific ways. One of them is the use of alternative fuels. These fuels have a low production of polluting gases. Such are hydrogen, biofuels, LNG (Liquified Natural Gas) and ammonia (NH₃). The above requirements require either several adjustments to the ship engines or the engines in newbuilds to be originally constructed for burning the specific fuels.

An effective way to reduce ship emissions in ports is to supply them with energy from the electricity grid of the country in which they are located. This way, the auxiliary engines do not consume fuel and do not emit pollutants. This process is called cold ironing. Given the increase of measures and restrictions applied to ships for pollutants emission in ports, techniques such as that of cold ironing become necessary. This procedure, in addition to its contribution to pollutants reduction, also reduces the ship's costs, as the electricity from the network costs less than the diesel oil used by the auxiliary engines, while other benefits can be also introduced, like the ports being smart energy hubs exploiting the smart-grid. Many ports around the world already use cold ironing, while the port of Kyllini is the first port in the Eastern Mediterranean that inaugurated a cold ironing installation, covering part of the energy needs of the ro-ro passenger ship Fior Di Levante. It is also environmentally important that the energy supplied to ships through cold ironing technology comes from renewable energy sources. According to international standards, relevant specifications allow this project to be implemented and become functional.

This work focuses on the exploitation of photovoltaic systems for the production of energy from renewable sources, in order to meet the energy needs of ships while mooring in the port of Piraeus through cold ironing technology as a method of reducing harmful emissions. The ships under study are passenger, belong to the category of coastal shipping, and - although in the summer months there is more intense traffic - their services continue all year round due to the fact that they connect a significant number of islands with the port of Piraeus.

Chapter 1 describes the current situation in global shipping, maritime mobility in the port of Piraeus, the adverse effect of pollutants from marine engines on fuel consumption and the negative effects on human health. Chapter 2 refers to the basic principles of application of cold ironing. In Chapter 3, synoptic data for the ship traffic in Piraeus port is given, and the methodology of estimating the pollutants emissions from electric engines of specific passenger ships during mooring is presented based on a series of necessary data and parameters. In Chapter 4, the calculation of the above emissions and of the energy consumed by the twenty selected ships (using Marine GasOil as fuel) is performed. In Chapter 5, basic information for the photovoltaic systems is provided, available buildings in the port of Piraeus are selected for the installation of specific photovoltaic systems and the energy that can be collected is estimated. Estimation of the percentage of energy needs covered by the installation of photovoltaic systems for each one of the selected ships during their mooring is performed in Chapter 6. Each ship is categorized based on the power of its electric engines, the hours spent in port, the amount of emitted pollutants and the corresponding energy consumed. Finally, conclusions and future directions for enhancement of this work are presented.

Πρωτότυπη συνεισφορά και συνεργαζόμενοι φορείς

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η τροφοδότηση ελλιμενισμένων πλοίων στον λιμένα Πειραιά μέσω της μεθόδου του cold ironing με ενέργεια που προέρχεται από φωτοβολταϊκά συστήματα. Το γεγονός πως η πηγή ενέργειας για την συγκεκριμένη μελέτη είναι ανανεώσιμη αποτελεί την ειδοποιό διαφορά με άλλες αντίστοιχες μελέτες. Πέραν τούτου, η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στις στέγες των επιλεγμένων κτιρίων έγινε με βάση τα πρότυπα μιας ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής μελέτης υπό την καθοδήγηση έμπειρου περιβαλλοντολόγου.

Η συνεργασία με την εταιρία ARCENVIRO συνέβαλε στην ορθή χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών στις στέγες των επιλεγμένων κτιρίων με την επιλογή της κατάλληλης κλίσης και προσανατολισμού αλλά και στον τρόπο με τον οποίο υπολογίστηκε η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά. Περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται στις Ενότητες 5.4 και 5.5. Η διάρκεια της συνεργασίας ήταν συνολικά ένας μήνας.

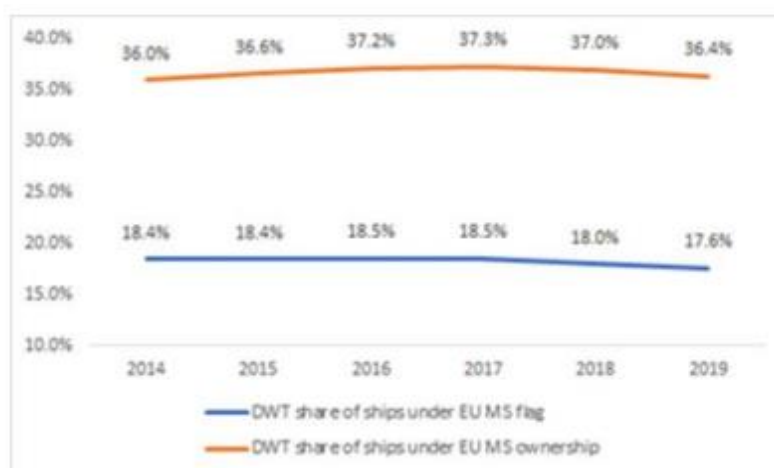
Τα δεδομένα για τις ώρες ελλιμενισμού και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση πλοίων ελήφθησαν από την συνεργασία με την εταιρία MarineTraffic, με την οποία υπογράφηκε και αντίστοιχο συμφωνητικό, αλλά και από προσωπική συνδρομή στο site της MarineTraffic με καθημερινή παρακολούθηση.

Οι συγκρίσεις για το ποσοστό της ενέργειας που μπορεί να καλύψει η τεχνολογία του cold ironing σε κάθε πλοίο ξεχωριστά βασίστηκε στα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν με βάση τα ανωτέρω στοιχεία.

1 Ναυτιλία και Εκπομπές Ρύπων

1.1 Ευρωπαϊκός Ναυτικός Στόλος

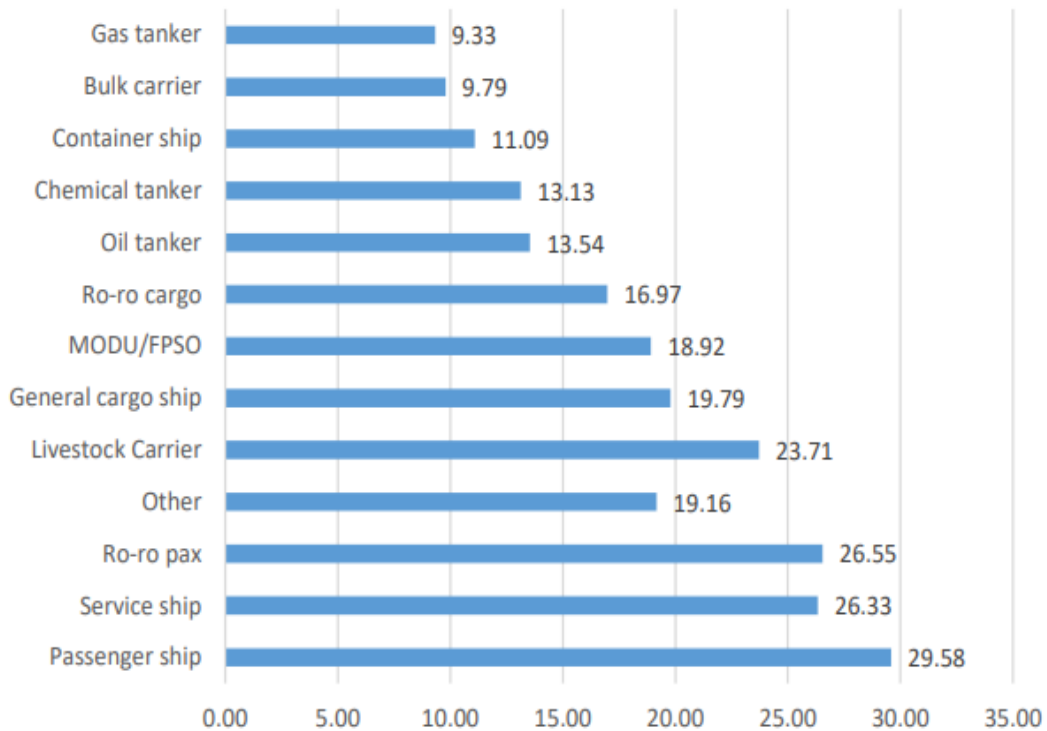
Για το 2019 τα πλοία τα οποία βρίσκονταν υπό ευρωπαϊκή σημαία αντιπροσώπευαν το 18% του παγκόσμιου ναυτικού στόλου θεωρώντας ως μέτρο σύγκρισης το μέγιστο φορτίο που μπορούσαν να μεταφέρουν (dead weight, DWT) (EMSA, 2021). Όπως φαίνεται και στην Εικ. 1, στον τομέα της ιδιοκτησίας οι πλοιοκτήτες οι οποίοι βρίσκονται εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελούν το 36% του DWT παγκοσμίως. Παρατηρείται λοιπόν πως υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ της έδρας των πλοιοκτητών και της επιλογής σημαίας για το πλοίο. Η συνολική χωρητικότητα (gross tonnage, GT), των πλοίων όπου φέρουν την ευρωπαϊκή σημαία αυξήθηκε κατά 2,5% για το έτος 2019, δηλαδή περίπου 18.000 πλοία λειτουργούσαν υπό ευρωπαϊκή σημαία.



Εικ. 1: Ποσοστό πλοίων παγκοσμίως που φέρουν Ευρωπαϊκή σημαία και ποσοστό πλοίων που έχουν έδρα την Ευρωπαϊκή Ένωση (EMSA, 2021)

Ένας σημαντικός παράγοντας που συνδέεται άμεσα με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και της ατμόσφαιρας είναι η ηλικία του πλοίου. Όσο νεότερο είναι ένα πλοίο τόσο λιγότερο ρυπαίνει το περιβάλλον λόγω του εξελιγμένου μηχανικού εξοπλισμού που διαθέτει. Όπως φαίνεται και στην Εικ. 2 το 50% των πλοίων που λειτουργούν υπό ευρωπαϊκή σημαία έχουν 15 χρόνια ζωής ή περισσότερα και το 25% έχουν 30 χρόνια ζωής ή περισσότερα. Στον αντίποδα, το 14% του στόλου έχει ηλικία λιγότερο από τα 5 έτη και το 18% έχει ηλικία από 6 έως 10 έτη.

Κάθε τύπος πλοίου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην εκπομπή ρύπων, καθώς οι μηχανές πρόωσης λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος. Αυτό έχει αντίκτυπο και στην κατανάλωση του καυσίμου η οποία συνεπάγεται την παραγωγή επιβλαβών αερίων. Για παράδειγμα ένα πλοίο το οποίο μεταφέρει Containers λειτουργεί σε μεγαλύτερες ταχύτητες από ένα πλοίο όπου μεταφέρει χύδην φορτίο. Αναμενόμενο είναι λοιπόν τόσο η κατανάλωση καυσίμου όσο και η εκπομπή ρύπων να αυξάνονται.

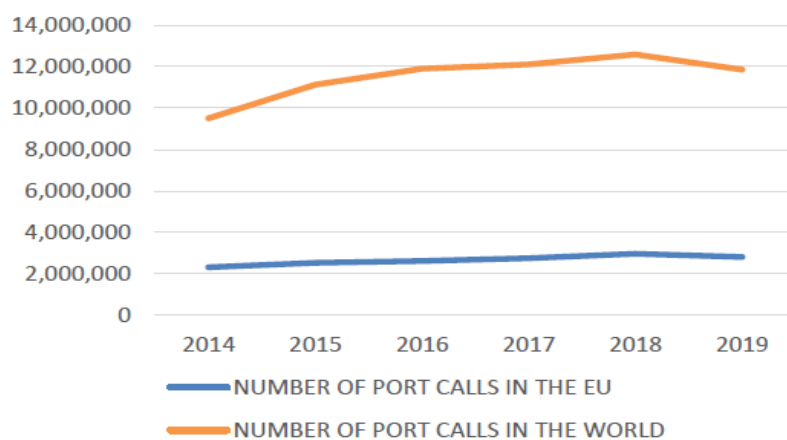


Εικ. 2: Μέση ηλικία για κάθε τύπο πλοίου με Ευρωπαϊκή σημαία (EMSA, 2021)

1.2 Κινητικότητα πλοίων στα ευρωπαϊκά λιμάνια

Όσο τα πλοία βρίσκονται στο λιμάνι συνεχίζουν να ασκούν πιέσεις στο περιβάλλον επειδή πραγματοποιούν μηχανικές λειτουργίες για φόρτωση-εκφόρτωση των εμπορευμάτων και για την κάλυψη των αναγκών του προσωπικού και των επιβατών (EMSA, 2021).

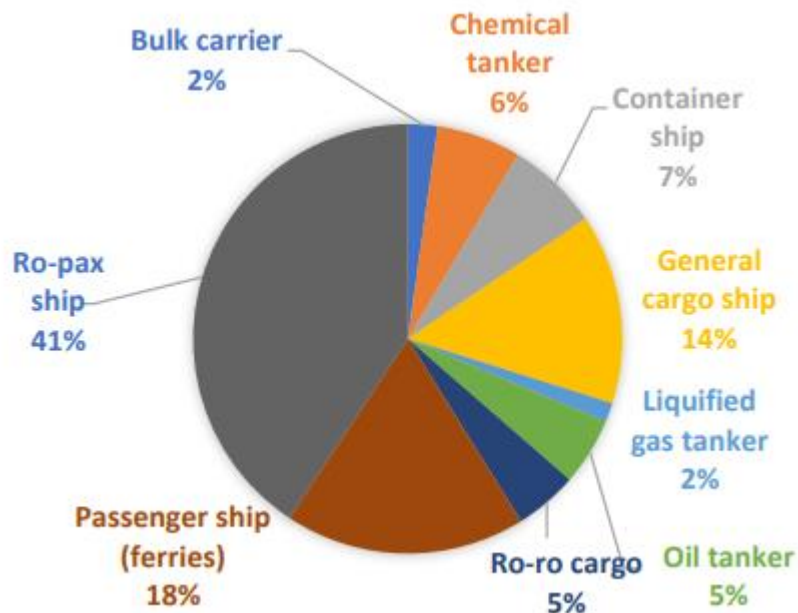
Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί ο αριθμός κλήσεων των πλοίων στα ευρωπαϊκά λιμάνια με αποκορύφωμα το 2018, όπως φαίνεται και στην Εικ. 3. Τα κύρια λιμάνια όπου εμφανίζουν εντονότερη δραστηριότητα είναι η Αμβέρσα, το Ρότερνταμ, ο Πειραιάς και η Μεσίνα.



Εικ. 3: Εξέλιξη των κλήσεων των πλοίων προς τα λιμάνια της Ευρώπης και προς τα λιμάνια εκτός Ευρώπης (EMSA, 2021)

Ενώ τα περισσότερα λιμάνια της Ευρώπης δέχονται κλήσεις (Port Calls) από όλους τους τύπους πλοίων, το Ρότερνταμ και η Αμβέρσα δέχονται κλήσεις μόνο από φορηγά πλοία, πλοία χύδην φορτίου ή εμπόρευμα γενικού τύπου. Στον αντίποδα, τον Πειραιά προσεγγίζουν περισσότερο πετρελαιοφόρα και η Βαρκελώνη είναι πιο συχνός προορισμός για τα κρουαζιερόπλοια.

Σύμφωνα με την Εικ. 4, οι περισσότερες κλήσεις λιμανιών στην Ευρώπη για το 2019 ήταν από πλοία ro-pax (41%) και επιβατηγά (18%). Οι κλήσεις προς λιμάνια για τα πλοία που μεταφέρουν γενικό εμπόρευμα αποτελούσαν το 14%. Παρατηρείται πως το 73% των κλήσεων προς τα ευρωπαϊκά λιμάνια πραγματοποιήθηκε μόνο από τρεις τύπους πλοίων. Ακόμη, το 46% της ναυτικής κυκλοφορίας στην Ευρώπη αφορούσε εγχώρια ταξίδια. Τα πλοία τύπου Ro-Ro και ro-pax ευθύνονταν για την εκπομπή 20 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα CO₂ όπου συγκεντρώνονται κυρίως στη Βαλτική, στη Βόρεια Θάλασσα και στη Μεσόγειο.



Εικ. 4: Κλήσεις σε ευρωπαϊκά λιμάνια από κάθε τύπο πλοίου (EMSA,2021)

1.3 Κατηγορίες ρύπων ναυτικών κινητήρων

Παρακάτω θα γίνει αναφορά των τύπων ρύπων που εκπέμπονται από την λειτουργία των ναυτικών κινητήρων.

1.3.1 Οξείδιο του αζώτου (NO_x)

Αποτελεί ένα ισχυρό οξειδωτικό αέριο με καφέ χρώμα και ερεθιστική οσμή. Συνδέεται άμεσα με τον φωτοχημικό κύκλο και την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις ευθύνεται για την καφέ απόχρωση του ουρανού αστικών κέντρων. Οι εκπομπές του NO_x προσβάλλουν το αναπνευστικό σύστημα και συμβάλλουν στη δημιουργία του όζοντος και της αιθαλομίχλης στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) έχουμε τα εξής

αποτελέσματα για την ανθρώπινη υγεία τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Επιπτώσεις του NO_x στην ανθρώπινη υγεία (<https://www.who.int>)

	Οξείδια του αζώτου
Συγκέντρωση	Επιπτώσεις στην υγεία
50-150mg/m ³	Πιθανή ζημιά στους πνεύμονες
100mg/m ³	Υψηλός κίνδυνος για το αναπνευστικό σύστημα
300 έως 400 mg/m ³	Πολύ υψηλός κίνδυνος έως και θάνατος

1.3.2 Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες περιλαμβάνουν πάμπολλες οργανικές ενώσεις στις οποίες ο άνθρακας ενώνεται με υδρογόνο, άζωτο, οξυγόνο και θείο. Οι εκπομπές υδρογονανθράκων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στους total hydrocarbons (THC) και στους non-methane hydrocarbons (NMHC). Συχνά καλούνται και ως πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) ,όπου συμπεριλαμβάνονται όλοι οι υδρογονάνθρακες από τους οποίους έχουν αφαιρεθεί το μεθάνιο και το αιθάνιο. Οι THC θεωρούνται καρκινογόνοι και συντελούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

1.3.3 Οξείδιο του θείου (SO_x)

Οι εκπομπές οξειδίων του θείου είναι υπεύθυνες για την όξινη βροχή και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στο περιβάλλον λόγω της διαβρωτικής τους δράσης. Είναι επιβλαβείς για το αναπνευστικό σύστημα και προκαλούν φθορές ακόμη και στις ίδιες τις μηχανές. Οι εκπομπές SO_x συνήθως προέρχονται από την καύση πετρελαίου και ορυκτού άνθρακα. Όσο περισσότερο θείο περιέχεται στο καύσιμο τόσο περισσότερο διαχέεται και στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) έχουμε τα εξής στοιχεία στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Επιπτώσεις του SO_x στην ανθρώπινη υγεία (WHO, 2021), <https://www.who.int>

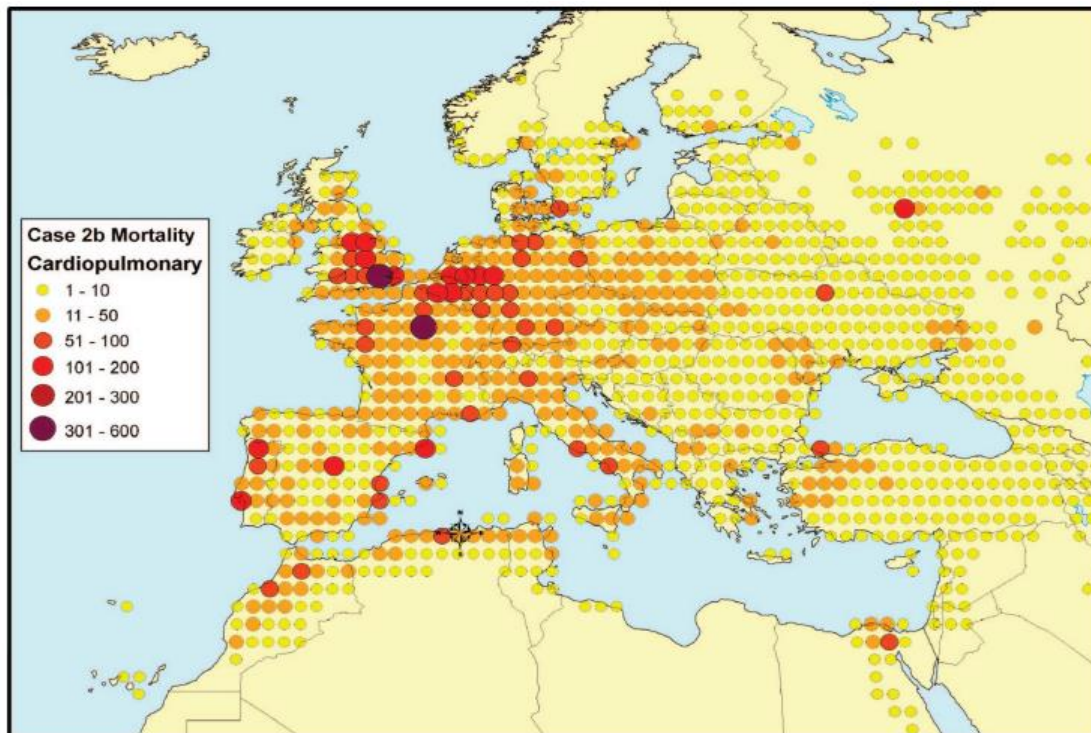
	Οξείδια του θείου
Συγκέντρωση	Επιπτώσεις στην υγεία
0,06 mg/m ³	Θωρακικές λοιμώξεις
0,3mg/m ³	Αλλοιώσεις του αναπνευστικού συστήματος
0,8-2,6mg/m ³	Όσφρηση της ουσίας (μεγάλος βαθμός επικινδυνότητας)

1.3.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το κύριο αέριο του θερμοκηπίου και είναι προϊόν καύσης του πετρελαίου και ορυκτών καυσίμων γενικότερα. Το CO₂ είναι φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας μη τοξικό, άοσμο και άχρωμο. Παραμένει στην ατμόσφαιρα για αρκετά χρόνια και μεταφέρεται μέσω των φυσικών διεργασιών από τους ωκεανούς στο έδαφος και το αντίστροφο.

1.3.5 Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια (PM) περιγράφεται κάθε σωματίδιο που έχει διάμετρο μεγαλύτερη από $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ και μικρότερη από $500 \mu\text{m}$. Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ένα συνονθύλευμα ρύπων από οξείδια μετάλλων, θειικά άλατα και αιθάλη και προέρχονται από την κατανάλωση καυσίμων. Η πληθώρα των αιωρούμενων σωματιδίων προέρχεται από φυσικές πηγές, όμως στα αστικά κέντρα προέρχεται κυρίως από βιομηχανικές διεργασίες. Να σημειωθεί πως οι ναυτικοί κινητήρες συμβάλουν ελάχιστα στο φαινόμενο αυτό κατά την κατανάλωση καυσίμου. Όπως φαίνεται και στην Εικ. 5, στα λιμάνια η κατάσταση είναι διαφορετική, καθώς υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση πλοίων όπου συνεπάγεται και αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων (Corbett et al., 2007). Κρίσιμος παράγοντας για το αν τα σωματίδια αυτά απορροφώνται από τον άνθρωπο αποτελεί η ειδική επιφάνειά τους. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος τους τόσο πιο εύκολα διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα. Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο 2,5 έως 10 μm καλούνται χονδρόκοκκα. Τα PM με διάμετρο 2,5 προέρχονται από τους κινητήρες πλοίων.



Εικ. 5: Απεικόνιση ετήσιας θνησιμότητας από καρδιοαναπνευστικά νοσήματα λόγω της εκπομπής PM 2.5 (Corbett et al., 2007)

Είναι εμφανές και από τον χάρτη πως οι θάνατοι οι οποίοι συνδέονται με την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνονται στις πόλεις γύρω από τα μεγάλα λιμάνια και η κατάσταση μπορεί να επιδεινωθεί εάν δεν ληφθούν έγκαιρα μέτρα αντιμετώπισης.

1.3.6 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος είναι μαλακό μέταλλο και εντάσσεται στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Ένα ποσοστό, περίπου 5%, των αιωρούμενων σωματιδίων

αποτελείται από σωματίδια μόλυβδου. Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται στην βενζίνη ώστε να παραχθεί η μέγιστη ισχύς και η καλύτερη δυνατή λειτουργία του κινητήρα. Ο μόλυβδος καταλήγει στον ανθρώπινο οργανισμό είτε μέσω του αναπνευστικού συστήματος είτε μέσω της τροφής. Είναι άκρως επικίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία μέχρι και θανατηφόρος.

1.4 Εκπομπή ρύπων στα Ευρωπαϊκά λιμάνια

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μία σύντομη αναφορά στους κυριότερους ρυπαντές που συναντάμε στα λιμάνια και σχετικά στοιχεία για τα Ευρωπαϊκά λιμάνια. Περισσότερες συνοπτικές πληροφορίες για το θέμα αυτό, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και μέτρα για την μείωση των εν λόγω ρυπαντών μπορεί να βρεθούν στην εργασία ([Soukissian et al., 2017c](#)).

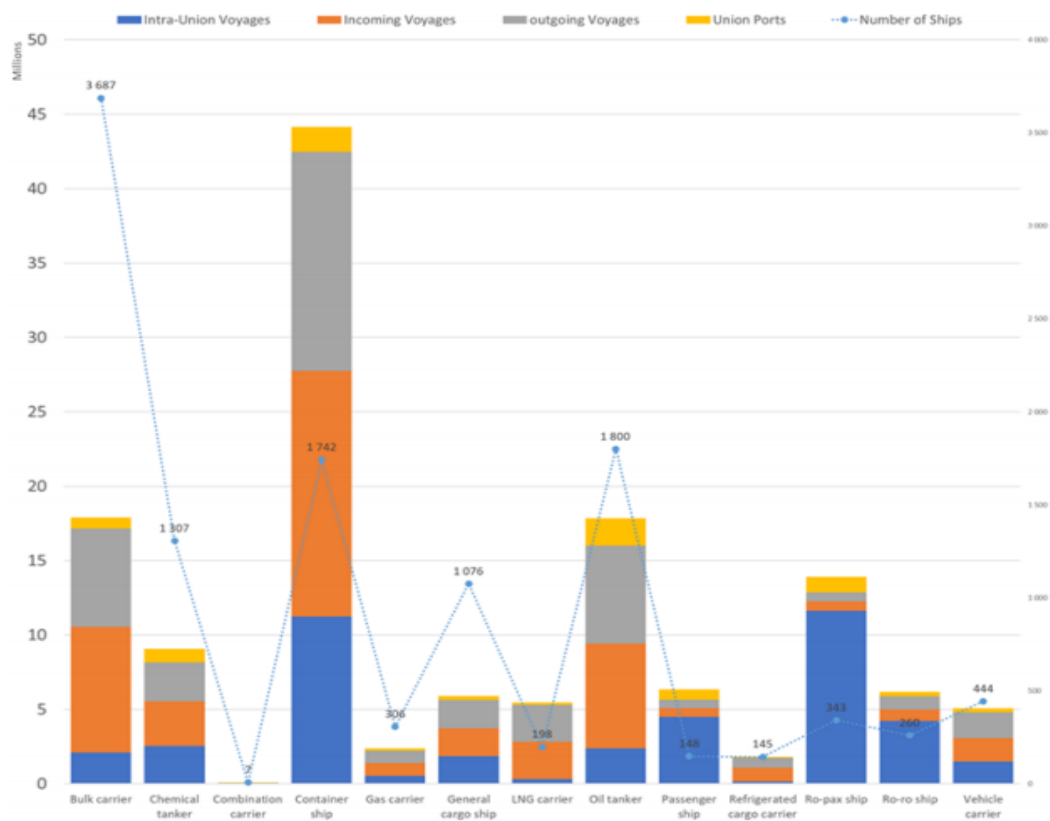
1.4.1 Διοξείδιο του άνθρακα CO₂

Τα πλοία που είχαν ως προορισμό ευρωπαϊκά λιμάνια για το 2018 ευθύνονταν για την εκπομπή 140 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα CO₂ ([EMSA, 2021](#)). Το νούμερο αυτό αντιπροσωπεύει το 18% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία. Λήφθηκαν υπόψιν πλοία συνολικής χωρητικότητας μεγαλύτερης από 5.000 GT. Από το σύνολο των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα στα ευρωπαϊκά λιμάνια, το 40% προέρχεται από πλοία που ακολουθούσαν διαδρομές στα σύνορα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ενόσω βρίσκονταν ελλιμενισμένα σε αυτά ([EMSA / THETIS MRV, 2018](#)).

Τα φορτηγά πλοία (containers) ευθύνονται για το 1/3 των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα και αφορούν ταξίδια από, προς και μέσα στην Ευρώπη, όπως φαίνεται στην Εικ. 6. Τα πλοία που μεταφέρουν χύδη φορτίο (bulk carriers) παράγουν το 13% των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα. Τα bulk carriers και τα containers αποτελούν μαζί το 1/3 των πλοίων που εκπέμπουν ρύπους CO₂. Τα επιβατηγά μαζί με τα ro-rah πλοία μοιράζονται ένα σημαντικό μερίδιο ρύπων διοξειδίου του άνθρακα και οι διαδρομές που ακολουθούν είναι μέσα στην Ευρώπη. Οι ναυτικές δραστηριότητες του εμπορικού στόλου απαρτίζουν το 13,5% του συνολικού CO₂ στην Ευρώπη για το 2018.

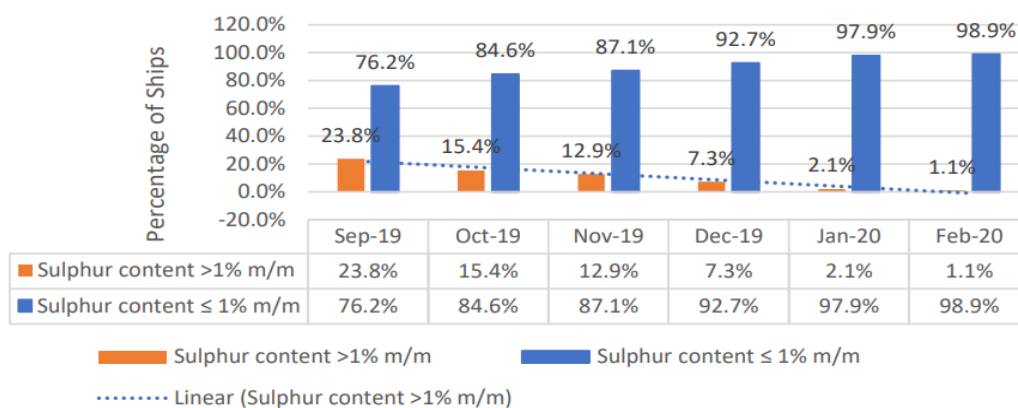
1.4.2 Διοξείδιο του θείου SO₂

Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) για το 2019 από πλοία που είχαν προορισμό ευρωπαϊκά λιμάνια έφτασαν τα 1,35 εκατομμύρια τόνους. Αυτό αντιπροσωπεύει το 14% της εκπομπής θείου από την ναυτιλία παγκοσμίως. Οι βασικές πηγές εκπομπής του SO₂ είναι η κατανάλωση ναυτικών καυσίμων από τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου ή από άλλες μηχανές καυσίμου όπως οι λέβητες. Επειδή το διοξείδιο του θείου επιδρά αρνητικά και στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη υγεία, από το 2010 και μετά τα πλοία του εμπορικού ναυτικού ήταν υποχρεωμένα όσο βρίσκονταν στο λιμάνι να καταναλώνουν καύσιμο με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (μέγιστο 0,1%) και για τα επιβατηγά 1,5% μέγιστο. Το 2015 δημιουργήθηκαν κάποιες περιοχές περιορισμένου ελέγχου για τους ρύπους του θείου (Emission Control Areas, ECAs) στις οποίες τα πλοία υποχρεούνταν να καταναλώνουν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο 0,10% μέγιστο.



Εικ. 6: Σύνολο ρύπων CO₂ για κάθε πλοίο στην Ευρώπη για το 2018 (EMSA/THETIS, 2018)

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 7 το εγχείρημα των ECAs ήταν άκρως επιτυχημένο, καθώς η συντριπτική πλειοψηφία των πλοίων συμμορφώθηκε στα μέτρα μείωσης του θείου με αποτέλεσμα η ελάττωση του να είναι δραστική. Επιπλέον περιορισμοί εφαρμόστηκαν το 2020 για το θείο. Σύμφωνα με τους περιορισμούς αυτούς τα πλοία, εκτός των ECAs, θα πρέπει να καταναλώνουν καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο 0,50% μέγιστο. Ο συνδυασμός των περιορισμών αυτών οδήγησε τους πλοιοκτήτες στην επιλογή εναλλακτικών καυσίμων, με αποτέλεσμα την δραστική μείωση των εκπομπών θείου.



Εικ. 7: Μηνιαίο ποσοστό πλοίων που καταναλώνουν τυπικό καύσιμο και αποσταγμένο καύσιμο (EMSA/THETIS EU, 2020)

1.4.3 Διοξείδιο του αζώτου

Οι εκπομπές του διοξειδίου του αζώτου από πλοία που είχαν προορισμό ευρωπαϊκά λιμάνια έφτασαν τους 3,5 εκατομμύρια τόνους για το 2019. Το ποσό αυτό αντιπροσωπεύει το 20% των ρύπων NO₂ που εκλύονται παγκοσμίως από τα πλοία. Τα οξείδια του θείου παράγονται κατά τη διαδικασία καύσης στις κύριες μηχανές. Η παραγωγή διοξειδίων του αζώτου συνδέεται άμεσα με τη θερμοκρασία που φτάνουν οι κύλινδροι των μηχανών καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο αυξάνεται ο ρυθμός δημιουργίας NO₂. Στα ευρωπαϊκά σύνορα οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου θα περιοριστούν μόνο στις περιοχές όπου έχουν χαρακτηριστεί NO_x ECAs όπως προβλέπει η MARPOL μετά την 1η Ιανουαρίου 2021. Τέτοιες περιοχές είναι η Βαλτική και η Βόρεια θάλασσα.

1.4.4 Αιωρούμενα σωματίδια PM

Τα πλοία με προορισμό ευρωπαϊκά λιμάνια για το 2019 ευθύνονταν για την εκπομπή 0,2 εκατομμυρίων αιωρούμενων σωματιδίων (EMSA, 2020). Το νούμερο αυτό αντιστοιχεί στο 18% της παραγωγής των PM από τα πλοία παγκοσμίως. Τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5} δημιουργούνται από τις διάφορες διαδικασίες καύσης στο πλοίο, κατά τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης αλλά και ανεφοδιασμού. Τα PM είναι αποτέλεσμα της εκπομπής άλλων ρύπων όπως του οξειδίου του θείου και του αζώτου (Cooper, 2003). Για παράδειγμα ένα μέρος SO₂ που παράγεται από τις ναυτικές μηχανές μεταλλάσσεται και σχηματίζει αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5}. Ο περιορισμός της εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων περιλαμβάνεται στους ευρύτερους κανονισμούς για τις ευρωπαϊκές θάλασσες που αφορούν τη μείωση του διοξειδίου του θείου και του αζώτου.

1.5 Εναλλακτικά καύσιμα

Υπάρχει μια πληθώρα επιλογών όσον αφορά τα εναλλακτικά καύσιμα, αλλά και εναλλακτικές πηγές ενέργειας, ώστε να μειωθεί η εκπομπή ρύπων από τα πλοία όσο είναι εν πλω αλλά και όσο βρίσκονται στα λιμάνια. Η επιλογή της βέλτιστης λύσης σε σχέση με το κόστος αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Παρακάτω θα αναφερθούν κάποιες από αυτές.

1.5.1 Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSF)

Είναι καύσιμα τα οποία περιορίζουν τις εκπομπές θείου, όμως έχουν υψηλό κόστος.

1.5.2 Βιοκαύσιμα (BIODIESEL)

Η χρήση βιοκαυσίμων μειώνει δραστικά την εκπομπή ρύπων. Για την κατανάλωση βιοκαυσίμων όμως θα πρέπει να γίνουν προσαρμογές στους ναυτικούς κινητήρες κάτι το οποίο θα επιφέρει επιπλέον κόστος. Ακόμη η διαθεσιμότητά του ως ναυτικό καύσιμο είναι μηδαμινή.

1.5.3 Αιθανόλη

Μειώνει την εκπομπή CO και είναι φθηνή, διαθέσιμη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Απαιτεί όμως προσαρμογές των ναυτικών κινητήρων.

1.5.4 Συμπιεσμένο και υγροποιημένο φυσικό αέριο (CNG,LNG)

Η χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμο ελαττώνει τις εκπομπές SO_x, NO_x και CO₂. Είναι διαθέσιμο στην αγορά ως ναυτικό καύσιμο και υπάρχουν κανονισμοί που επιτρέπουν την χρήση του νομικά. Δεσμεύει πολύ χώρο για την αποθήκευση του και κατά το πλείστων επιλέγεται ως καύσιμο σε newbuilds όπου οι μηχανές του προορίζονται να καταναλώνουν το συγκεκριμένο καύσιμο εξ αρχής.

1.5.5 Υδρογόνο

Η κατανάλωση του υδρογόνου ως καύσιμο περιορίζει τα ρυπογόνα αέρια, είναι ανανεώσιμη πηγή και έχει υψηλή αποδοτικότητα στη λειτουργία των μηχανών. Το κόστος του είναι υψηλό, εκπέμπει CO₂ και είναι αρκετά εύφλεκτο.

1.5.6 Αμμωνία

Αποτελεί ένα καθαρό καύσιμο καθώς εξαλείφει την εκπομπή ρύπων, έχει χαμηλό κόστος, είναι ανανεώσιμη πηγή και ασφαλές καύσιμο. Βέβαια η ενέργεια που αποδίδει για την λειτουργία των μηχανών υστερεί σε μεγάλο βαθμό συγκριτικά με τα καύσιμα που έχουν ως βάση τους υδρογονάνθρακες.

1.5.7 Τροφοδοσία από το λιμάνι

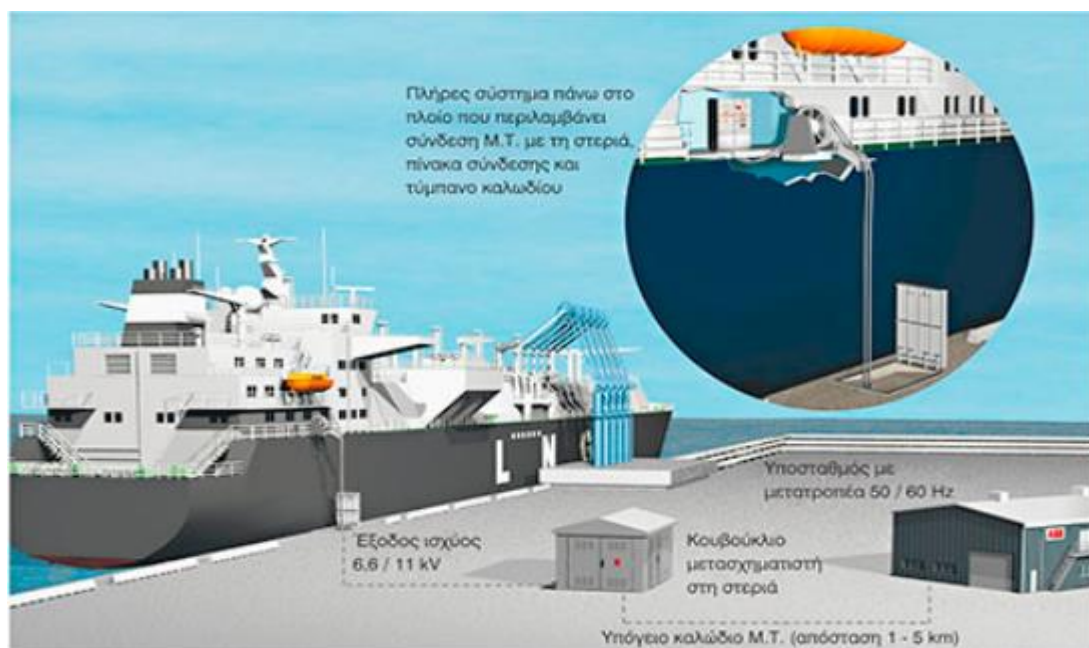
Στην περίπτωση αυτή το πλοίο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο του λιμανιού για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του. Έτσι δεν χρειάζεται να λειτουργούν οι βοηθητικές μηχανές που καταναλώνουν Diesel. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να γίνει χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών όπως τα φ/β πάνελ. Είναι μια αρκετά υποσχόμενη εναλλακτική με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

2 Cold Ironing

2.1 Περιγραφή

Ο όρος cold ironing (ή εναλλακτικά Alternative Maritime Power ή Shore-to-Ship power supply) περιγράφει τη διαδικασία κατά την οποία το πλοίο συνδέεται και τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά καθώς βρίσκεται στο λιμάνι (Paul et al., 2014). Οι ανάγκες του πλοίου καλύπτονται από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου, όπως φαίνεται στην Εικ. 8, και οι βοηθητικές μηχανές μένουν σβηστές. Η ονομασία cold ironing πρωτοεμφανίστηκε όταν τα πλοία χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο κάρβουνο και όταν έφταναν στο λιμάνι δεν είχαν ανάγκη να καταναλώσουν περαιτέρω καύσιμο.

Το cold ironing στοχεύει στην κατάργηση των βοηθητικών μηχανών του πλοίου (οι οποίες παραμένουν σε λειτουργία από την στιγμή που θα εισέλθει στο λιμάνι και σβήνουν μόνο όταν το πλοίο αναχωρήσει) ή στην κάλυψη ενός ποσοστού ενέργειας με σκοπό τη μείωση των ρύπων που εκπέμπονται στα λιμάνια. Μία ανάλυση για την εκτίμηση της ηλεκτρικής ισχύος και των ενεργειακών απαιτήσεων λόγω εφαρμογής του cold ironing στα λιμάνια παρουσιάζεται στην πρόσφατη εργασία (D'Agostino et al., 2021).



Εικόνα 8: Σύστημα cold ironing στο λιμάνι

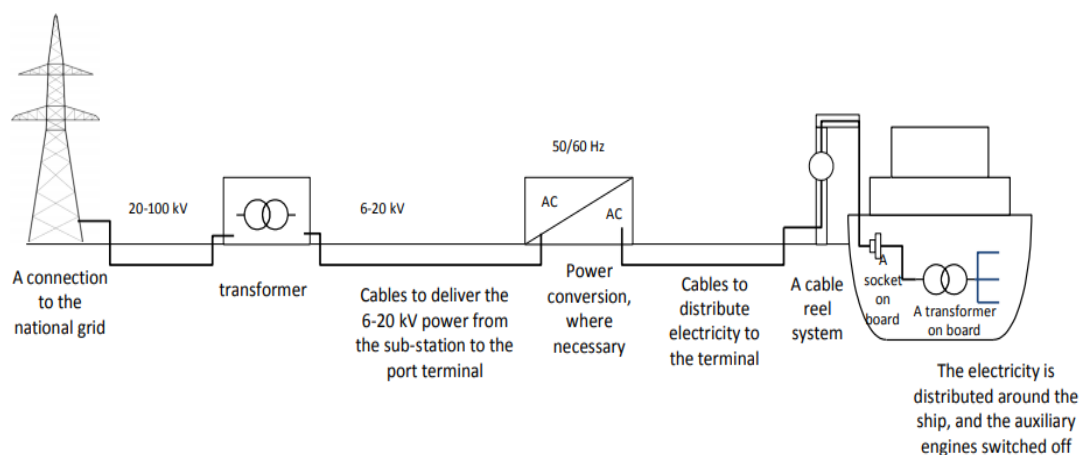
<https://library.e.abb.com/public/1e41315575b90dd4c1257c9a00398c02/power%20from%20shoreGR.pdf>

Για την επίτευξη του σκοπού της εφαρμογής του cold ironing είναι προφανές πως και η πηγή ενέργειας η οποία θα τροφοδοτεί το πλοίο θα πρέπει να είναι φιλική προς το περιβάλλον ή να είναι λιγότερο επιβλαβής από την υπάρχουσα.

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

Σύμφωνα με την πρόταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Tarnapowicz & German-Galkin, 2018), η διάταξη cold ironing έχει τα εξής κύρια στοιχεία τα οποία απεικονίζονται και στην Εικ. 9:

- Σύνδεση τοπικού υποσταθμού με το δίκτυο της πόλης, τάσης από 20-100 kV όπου θα μετασχηματίζεται σε 6-20 kV.
- Καλώδια για την μεταφορά της ισχύος των 6-20 kV από τον υποσταθμό στις αποβάθρες
- Μετατροπή της ισχύος όπου είναι αναγκαία
- Καλώδια για την διανομή του ρεύματος στο λιμάνι. Η εγκατάσταση τους μπορεί να γίνει και υπογείως.
- Σύστημα περιέλιξης των καλωδίων υψηλής τάσης στην αποβάθρα όπου από εκεί θα οδηγούνται στο πλοίο
- Πρίζα στο πλοίο για την σύνδεση καλωδίου.
- Μετασχηματιστής στο πλοίο για την μετατροπή της τάσης στις ανάγκες του κάθε πλοίου.
- Το ρεύμα τροφοδοτείται μέσα στο πλοίο με τις βοηθητικές μηχανές σβηστές.



Εικόνα 9: Διάταξη σύμφωνα με την πρόταση 2006/339/EC (Tarnapowicz & German-Galkin, 2018)

2.3 Διεθνή πρότυπα για το Cold Ironing

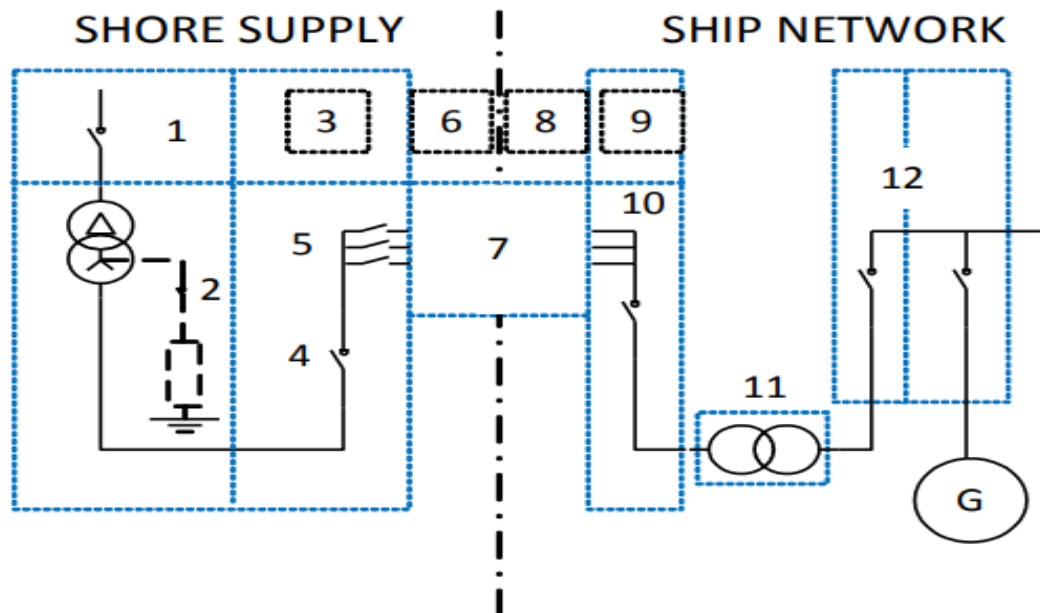
Τα διεθνή πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το Cold Ironing είναι δύο. Το διεθνές πρότυπο ISO/IEC/IEE 8005-1, το οποίο θέτει τις βάσεις και τα προαπαιτούμενα για συνδέσεις υψηλών τάσεων με την ξηρά (High Voltage Shore connections ή HVSC), και το διεθνές πρότυπο ISO/IEC/IEE 8005-3, το οποίο περιγράφει συνδέσεις χαμηλής τάσης με την ξηρά (Low Voltage Shore connections ή LVSC) (Tarnapowicz & German-Galkin, 2018). Το πρότυπο HVSC αντιστοιχεί σε τάσεις όπου απαιτείται ισχύς μεγαλύτερη του 1 MW ή σε πλοία όπου η κύρια λειτουργία τους πραγματοποιείται σε υψηλές τάσεις. Στον αντίποδα το πρότυπο LVSC ασχολείται με χαμηλές τάσεις σύνδεσης σε πλωτά μέσα με ισχύ μικρότερη του 1MW.

Σκοπός των προτύπων αυτών είναι η ικανοποίηση των απαιτήσεων για την επίτευξη συμβατότητας μεταξύ του πλοίου και της στεριάς, η εγκατάσταση κατάλληλων λειτουργιών και η συμμόρφωση με αυτά, με σκοπό όσο το δυνατόν περισσότερα πλοία να συνδέονται σε όσο το δυνατόν περισσότερα λιμάνια. Να σημειωθεί πως τα πρότυπα αυτά εξασφαλίζουν ότι τα πλοία θα μπορούν να συνδέονται σε όλα τα λιμάνια που πληρούν τις προϋποθέσεις χωρίς να χρειάζεται να κάνουν προσαρμογές σε κάθε λιμάνι ξεχωριστά. Είναι προφανές πως για να έχει τη δυνατότητα κάποιο πλοίο να τροφοδοτείται με ρεύμα από το λιμάνι θα πρέπει να συμβαδίζει με τα ανωτέρω πρότυπα.

2.4 Διατάξεις συστημάτων HVSC και LVSC

2.4.1 Διάταξη LVSC

Το παρακάτω σχέδιο της εικόνας 10 απεικονίζει την διάταξη ενός συστήματος LVSC σύμφωνα με τα πρότυπα της ISO/IEC/IEEE 80005-3.



Εικόνα 10: Διάταξη συστήματος LVSC (Tarnawicz & German-Galkin, 2018)

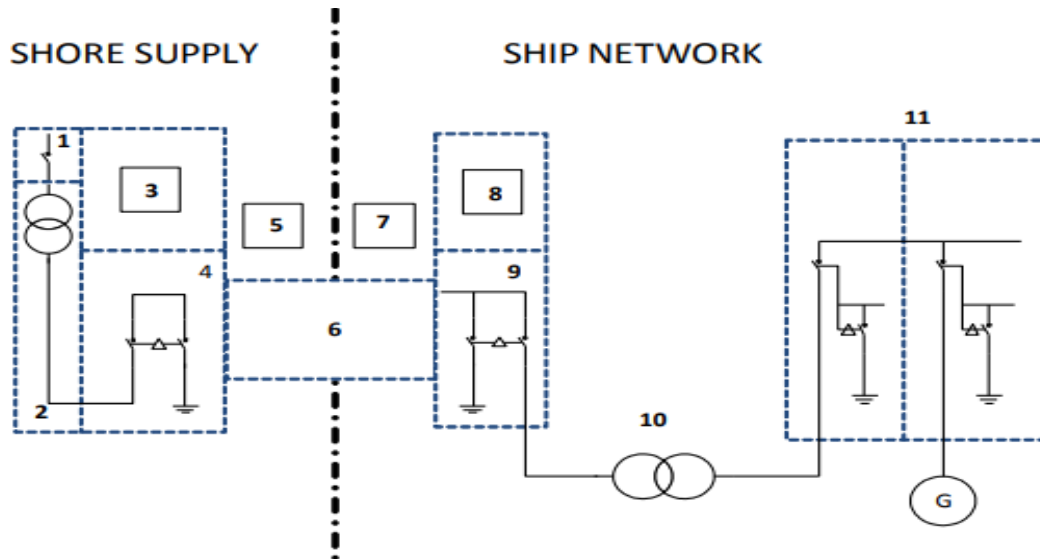
Η διάταξη αυτή αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

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

11. Μετασχηματιστής στο πλοίο (όπου απαιτείται)
12. Πίνακας διανομής στο πλοίο

2.4.2 Διάταξη HVSC

Το παρακάτω σχέδιο της εικόνα 11 απεικονίζει την διάταξη ενός συστήματος HVSC σύμφωνα με τα πρότυπα της ISO/IEC/IEEE 80005-1.



Εικ. 11: Διάταξη συστήματος HVSC (Tarnapowicz & German-Galkin, 2018)

Η διάταξη αυτή αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

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

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

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

2.5 Εναλλακτικός σχεδιασμός του δικτύου στη ξηρά

Κατά το σχεδιασμό ενός λειτουργικού κυκλώματος σύνδεσης του πλοίου με την στεριά είναι χρήσιμο να λαμβάνονται υπόψιν τα σωστά κριτήρια αρχιτεκτονικής (Prousalidis et al., 2017a). Τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού κυκλώματος στη στεριά κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με εξής στοιχεία :

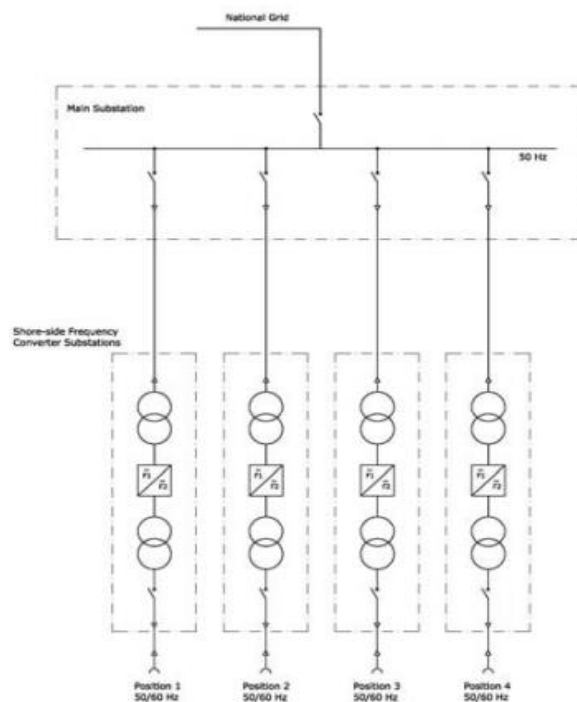
- Την τάση του κυκλώματος (LVSC , HVSC)
- Από την ύπαρξη ή όχι μετατροπέα συχνότητας

Τα δίκτυα τροφοδοσίας Cold Ironing στα οποία περιλαμβάνεται μετατροπέας συχνότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω στις εξής κατηγορίες :

- Σε συστήματα που χρησιμοποιούν περιστροφικούς μετατροπείς συχνότητας και σε στατικούς μετατροπείς συχνότητας
- Σε συστήματα όπου οι μετατροπείς συχνότητας τοποθετούνται σε κάθε σημείο σύνδεσης στο λιμάνι (αποκεντρωμένη επιλογή)
- Σε συστήματα όπου οι μετατροπείς συχνότητας τοποθετούνται στην κύρια πηγή τροφοδοσίας ρεύματος (συγκεντρωτική επιλογή)

2.5.1 Αποκεντρωμένη επιλογή

Στην περίπτωση όπου το δίκτυο εφαρμόζει την αποκεντρωμένη επιλογή υπάρχει σε κάθε σημείο τροφοδοσίας ένας μετατροπέας συχνότητας ο οποίος τροφοδοτείται ο κάθε ένας ξεχωριστά από διαφορετικό υποσταθμό. Το σχέδιο του δικτύου της αποκεντρωτικής επιλογής φαίνεται στην Εικ. 12.



Εικ. 12: Σχέδιο δικτύου με την αποκεντρωμένη επιλογή (Tarnarowicz & German-Galkin, 2018)

Πλεονεκτήματα

1. Το βασικό πλεονέκτημα της διάταξης με την αποκεντρωμένη επιλογή είναι πως σε ενδεχόμενη βλάβη ενός μετατροπέα συχνότητας, υπάρχει η δυνατότητα αποσύνδεσής του χωρίς να επηρεαστούν τα υπόλοιπα σημεία τροφοδοσίας.
2. Ακόμη πλοία με διαφορετικές ονομαστικές τάσεις λειτουργίας μπορούν να τροφοδοτούνται ατομικά με τις κατάλληλες προσαρμογές από τους απομονωμένους μετασχηματιστές τάσης.

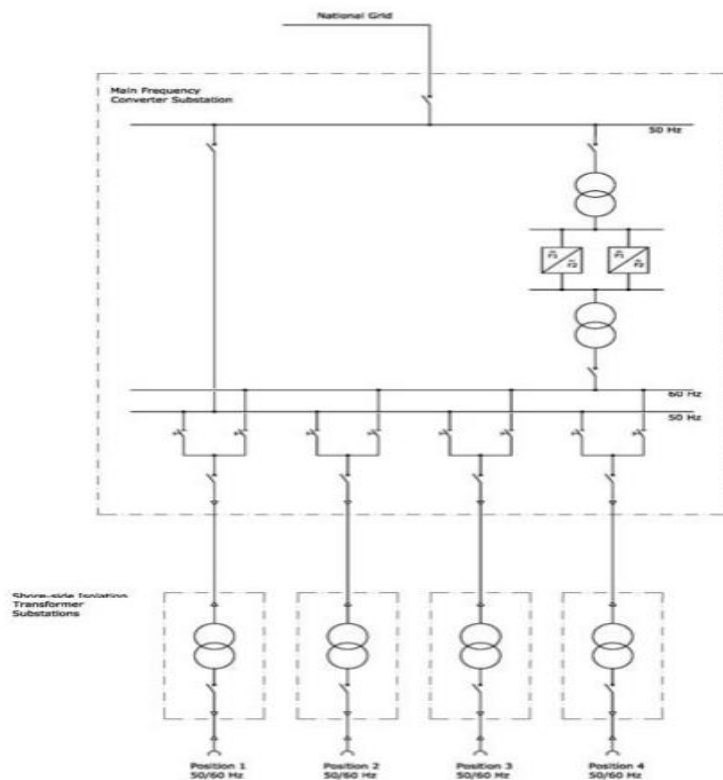
Μειονεκτήματα

1. Απαιτείται μεγάλη έκταση χώρου για την τοποθέτηση των διαφορετικών σημείων σύνδεσης
2. Οι μετατροπείς συχνότητας λειτουργούν και στη περίπτωση όπου η συχνότητα του δικτύου του πλοίου είναι συμβατή με αυτή του λιμανιού, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απώλειες
3. Σε κάθε σημείο σύνδεσης πρέπει να χρησιμοποιείται και διαφορετικός μετατροπέας συχνότητας ανάλογα με την ζήτηση ισχύος
4. Χρήση πολλαπλών μετασχηματιστών, καθώς σε κάθε γραμμή τροφοδοσίας πρέπει να τοποθετείται μετασχηματιστής τάσης πριν τον μετατροπέα συχνότητας για να ελαττώνει την τάση και ένας μετά που θα την ανεβάσει για την τροφοδοσία του πλοίου.

2.5.2 Συγκεντρωτική επιλογή

Στην περίπτωση της συγκεντρωτικής επιλογής (Εικ. 13) υπάρχει ένας τοποθετημένος μετατροπέας συχνότητας ή περισσότεροι συνδεδεμένοι παράλληλα με διπλή δίοδο η οποία διαρρέεται από ρεύμα συχνότητας 50 Hz ή 60 Hz ανάλογα με τις ανάγκες. Πριν και μετά τον μετατροπέα συνδέεται μετασχηματιστής τάσης για την μείωση της τάσης και μετά για την αύξηση της αντίστοιχα. Ο μετατροπέας συχνότητας συνδέεται με τη μία από τις δύο δίοδους. Η άλλη δίοδος συνδέεται με το εξωτερικό δίκτυο και παρεμβάλλεται μετασχηματιστής τάσης. Στη δεύτερη δίοδο συνδέονται οι γραμμές τροφοδοσίας για τα πλοία με δίκτυο συχνότητας 50 Hz. Ο υποσταθμός κάθε γραμμής σύνδεσης περιλαμβάνει έναν μετασχηματιστή οποίος τροφοδοτείται από τη δίοδο την οποία επιλέγει ένας διακόπτης δίνοντας τη δυνατότητα εναλλαγής της συχνότητας.

Πρέπει να αναφερθεί πως η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος στην Ευρώπη είναι στα 50 Hz. Ενώ κάποια πλοία λειτουργούν στα 50 Hz κάποια άλλα λειτουργούν στα 60 Hz. Αυτό συνεπάγεται πως ένα πλοίο που είναι σχεδιασμένο για τα 60 Hz αν τροφοδοτηθεί με ρεύμα τάσης 50 Hz τότε δε θα μπορέσει να καλύψει όλες τις ανάγκες του πάρα μόνο τις πιο απλές όπως ο φωτισμός και η θέρμανση. Μηχανικές λειτουργίες όπως των γερανών ή των αντλιών δε θα λειτουργήσουν με βάση τις εργοστασιακές τους ρυθμίσεις και θα τους προκληθούν σοβαρές βλάβες. Για τον λόγο αυτό για την τροφοδοσία των πλοίων που λειτουργούν στα 60 Hz απαιτείται η μετατροπή της συχνότητας του ηλεκτρικού δικτύου ώστε να καλύψουν τις ανάγκες τους.



Εικόνα 13: Σχέδιο δικτύου με τη συγκεντρωτική επιλογή (Tarnarowicz & German-Galkin, 2018)

Πλεονεκτήματα

1. Δεν απαιτείται μεγάλος αριθμός μετατροπών συχνότητας καθώς δε γίνεται τροφοδοσία πολλαπλών πλοίων την ίδια στιγμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους της επένδυσης.
2. Δεν απαιτείται μεγάλη έκταση χώρου για την εγκατάσταση.
3. Στην περίπτωση που η συχνότητα του δικτύου του πλοίου συμβαδίζει με αυτή του λιμανιού ο μετατροπέας συχνότητων παύει να λειτουργεί.

Μειονεκτήματα

1. Βασικό μειονέκτημα της διάταξης αυτής αποτελεί το γεγονός πως σε περίπτωση βλάβης του μετατροπέα ή του δικτύου μετατροπών συχνότητας, το δίκτυο δε θα μπορεί να τροφοδοτεί πλοία με συχνότητα διαφορετική από αυτή του λιμανιού.
2. Το κόστος switch gear είναι αυξημένο καθώς είναι αναγκαία η ύπαρξη τους και στις δύο διόδους.

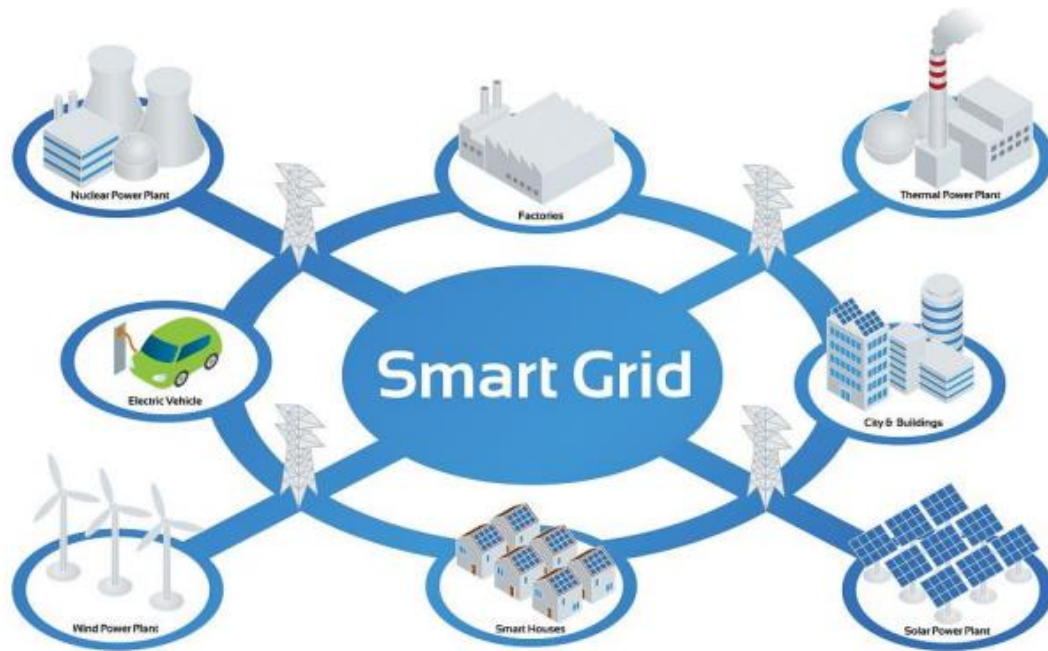
2.6 Τα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids)

Τα έξυπνα δίκτυα λειτουργούν έτσι ώστε η παραγωγή και η μεταφορά ενέργειας να είναι πιο αποδοτικές (Vergetis et al., 2017). Τα τελευταία χρόνια μελετώνται και τα ηλεκτρικά δίκτυα μικρότερης κλίμακας στα οποία η παραγωγή ενέργειας γίνεται μέσω ανανεώσιμων πηγών.

Στα έξυπνα δίκτυα υπάρχουν συσκευές που είναι διάλογοι επικοινωνίας και ελέγχουν τη λειτουργία του συστήματος. Οι συσκευές αυτές έχουν την δυνατότητα να παίρνουν αποφάσεις, να αυτοσυντηρούνται, να κάνουν τις

κατάλληλες μετατροπές στο σύστημα τοπικά, να προειδοποιούν για τυχόν δυσλειτουργίες και διαδικασίες συντήρησης. Οι συσκευές αυτές συμπεριφέρονται όπως ένα κέντρο ελέγχου. Φυσικά όλα τα παραπάνω απαιτούν υψηλά επίπεδα τεχνογνωσίας, δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος παραγωγής και του δικτύου διανομής, συστήματα υπολογιστών και μεγάλες οικονομικές επενδύσεις.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός έξυπνου δικτύου (Εικ. 14) είναι η αξιοπιστία στην τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος, η ευελιξία ως προς την τοποθεσία εγκατάστασής του και η αποδοτικότητα του ως προς το κόστος κατά τις ώρες λειτουργίας του (Soukissian et al., 2017b).



Εικόνα 14: Αναπαράσταση σχεδίου έξυπνου δικτύου (Soukissian et al., 2017b)

Οι βασικές διαφορές μεταξύ ενός τυπικού δικτύου και ενός έξυπνου δικτύου είναι οι εξής :

1. Ένα τυπικό δίκτυο βασίζεται σε μια κεντρική πηγή παραγωγής ενέργειας ενώ το έξυπνο δίκτυο μπορεί να τροφοδοτείται από διαφορετικές πηγές
2. Η ροή ενέργειας σε ένα τυπικό δίκτυο είναι μονοκατευθυντική ενώ σε ένα έξυπνο δίκτυο η τροφοδοσία μπορεί να γίνεται προς πολλές κατευθύνσεις
3. Σε ένα τυπικό δίκτυο η παραγωγή ηλεκτρισμού βασισμένη σε ανανεώσιμες πηγές προέρχεται από το σταθμό συνέχεια ενώ σε ένα έξυπνο δίκτυο η τροφοδοσία μπορεί να διακοπεί και η κατανάλωση ενέργειας πραγματοποιείται από το σύστημα που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο.
4. Η λειτουργία ενός τυπικού δικτύου βασίζεται σε παλαιά στατιστικά δεδομένα ενώ του έξυπνου δικτύου βασίζεται σε δεδομένα πραγματικού χρόνου που αφορούν την επικαιρότητα.

Η εφαρμογή των έξυπνων δικτύων είναι μια αποδοτική επιλογή για την εφαρμογή του Cold Ironing στα λιμάνια (Soukissian et al., 2017b). Τα έξυπνα λιμάνια συνδυάζουν την εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών στο Cold Ironing. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το λιμάνι της Αμβέρσας, στο οποίο έχει εφαρμοστεί με επιτυχία η τεχνολογία του cold ironing. Στα μέσα του 2008, οι λιμενικές της Αμβέρσας ξεκίνησαν διαδικασίες με στόχο τη μείωση της εκπομπής των ρύπων από τα ελλιμενισμένα πλοία. Ύστερα από την συνεργασία των λιμενικών αρχών με την εταιρία Independent Maritime Terminal (IMT) εγκαταστάθηκαν τεχνολογίες τροφοδοσίας ηλεκτρισμού των ποντοπόρων πλοίων ενόσω ήταν ελλιμενισμένα (Papoutsoglou, 2012). Οι λιμενικές αρχές της Αμβέρσας επένδυσαν στην τεχνολογία και την εφαρμογή του cold ironing στα ελλιμενισμένα πλοία, θεωρώντας το ένα μέσο περιορισμού των επιπτώσεων της εκπομπής των ρυπογόνων αερίων στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Το εγχείρημα αυτό εφαρμόστηκε πρώτα στα πλοία που μετέφεραν containers (Container ships) της εταιρίας Independent Container Line (ICL).

2.6.1 Εξοπλισμός

2.6.1.1 Μετασχηματιστής τάσης - Μετατροπέας συχνότητας

Τα πλοία δεν λειτουργούν όλα ούτε στην ίδια τάση ούτε και στην ίδια συχνότητα. Αρκετά πλοία λειτουργούν σε διαφορετική τάση και συχνότητα από αυτή του δικτύου του λιμανιού. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η χρήση μετασχηματιστή τάσης και μετατροπέα συχνότητας όπως φαίνονται και στις Εικ. 15 και 16. Μπορούν να τοποθετηθούν είτε μετά τον υποσταθμό και να τροφοδοτούν το πλοίο με τις κατάλληλες τιμές συχνότητας και τάσης είτε επάνω στο καράβι και η μετατροπή να πραγματοποιείται εκεί.



Εικόνα 15: Μετατροπέας Συχνότητας Ingenio Max 200-300 kVA, www.rutech.gr/



Εικόνα 16: Μετασχηματιστής τάσης (ELFA, www.rutech.gr/)

2.6.1.2 Καλώδια και αγωγοί

Τα καλώδια τροφοδοσίας τοποθετούνται μέσα σε αγωγό ενώ για τις επικοινωνίες και τα χειριστήρια γίνεται χρήση διαφορετικού αγωγού. Τυπικά καλώδια και αγωγοί απεικονίζονται στις Εικ. 17 και 18. Τα καλώδια είναι σχεδιασμένα για την παροχή ενέργειας 4MW. Το ιδανικό υλικό κατασκευής του αγωγού για τα κυκλώματα είναι οι οπτικές ίνες και όχι ο χαλκός.



Εικόνα 17: Καλώδιο τροφοδοσίας από τη στεριά (www.nauticexpo.com)



Εικόνα 18: Αγωγοί για τα καλώδια τροφοδοσίας (www.roxtec.com/en/industries/marine/)

2.6.1.3 Κοιλότητες υποδοχής (Switchgear)

Για την ασφαλή λειτουργία του κυκλώματος τροφοδοσίας γίνεται εγκατάσταση πολλαπλών switchgear (βλ. Εικ. 19) σε κάποια στάδια του κυκλώματος. Στην εικόνα αναπαρίσταται το σύστημα πολλαπλών switchgear. Με τον όρο switchgear περιγράφεται ένα σύνολο ηλεκτρικών διακοπών και ασφαλειών. Το σύστημα αυτό έχει την ικανότητα να διακόπτει την τροφοδοσία του δικτύου σε

περίπτωση βλάβης για τον περιορισμό περαιτέρω ζημιάς στο κύκλωμα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται να συνδέεται πριν τον μετασχηματιστή αλλά και ανάμεσα στον μετασχηματιστή και στα καλώδια που συνδέονται με τον μετατροπέα. Ακόμη συνίσταται να γίνεται χρήση του συστήματος switchgear και στα καλώδια τροφοδοσίας τα οποία θα συνδεθούν στο πλοίο.



Εικ. 19: Switchgear (new.abb.com/medium-voltage/switchgear)

2.6.2 Σύνδεση με το πλοίο

Στην άκρη της προβλήτας υπάρχει εγκατάσταση η οποία είναι συνδεδεμένη με τα καλώδια τροφοδοσίας που φέρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο του λιμανιού με την ανάλογη τάση (kV). Σε κάποια λιμάνια για την τελική σύνδεση του δικτύου με το πλοίο γίνεται χρήση φορηγίδας (Εικ. 20), η οποία φέρει μετασχηματιστή και σύστημα διαχείρισης των καλωδίων. Ακόμη στη φορηγίδα υπάρχει γερανός για την ανύψωση των καλωδίων στο κατάλληλο σημείο της πρύμνης, ώστε να τα παραλάβει το πλήρωμα και να συνδεθούν οι αντίστοιχες υποδοχές.



Εικόνα 20: Φορηγίδα κατά την διαδικασία Cold Ironing (www.portstrategy.com/)

Η χρήση φορηγίδας έχει υψηλό κόστος και τεχνικές δυσκολίες οι οποίες εμφανίζονται κατά τη διαδικασία τροφοδοσίας. Για τον λόγο αυτό γίνεται χρήση κινούμενης αμαξοστοιχίας (Εικ. 21), η οποία φέρει γερανό για την μεταφορά των καλωδίων ή υπάρχει μόνιμη εγκατάσταση γερανού στο συγκεκριμένο σημείο της προβλήτας όπως φαίνεται και στην Εικ. 22.



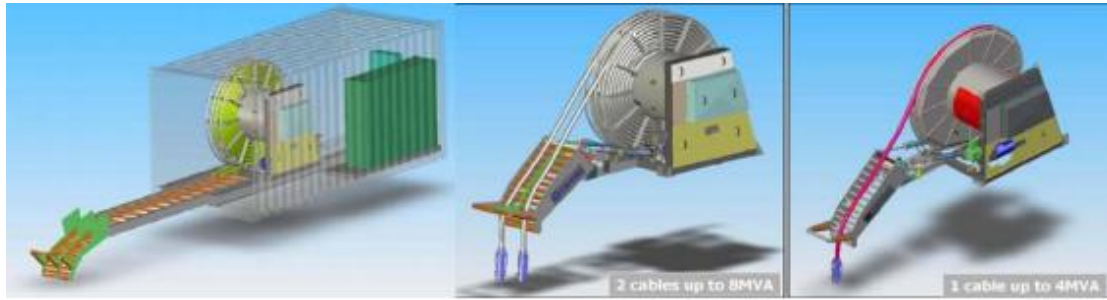
Εικόνα 21: Αμαξοστοιχία κατά τη διαδικασία Cold Ironing (midc.be/machinery)



Εικόνα 22: Γερανός για τη μεταφορά καλωδίων (www.marinelog.com/shipping/environment/cruise-ships-calling-halifax-can-now-plug-in-to-shoreside-power/)

2.6.2.1 Σύστημα διαχείρισης καλωδίων

Για την τροφοδοσία του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια από το λιμάνι είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος διαχείρισης καλωδίων (AAPA, 2007). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει καλώδια, καρούλι και βύσματα. Στις περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη και η ύπαρξη μετασχηματιστή θα ενσωματωθεί και αυτός στο σύστημα. Η εγκατάσταση αυτή θα πρέπει να σχεδιαστεί με βύσματα ταχείας σύνδεσης για μεγαλύτερη ασφάλεια και ευκολότερη χρήση. Συνήθως τα καλώδια αυτά όταν δε χρησιμοποιούνται παραμένουν τυλιγμένα στο καρούλι είτε πάνω στο πλοίο είτε στο λιμάνι. Κάποια νέα πλοία διαθέτουν μόνιμο σύστημα διαχείρισης καλωδίων μαζί με μετασχηματιστή τάσης για τη μετατροπή της όπου είναι αναγκαίο. Το σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί μέσα σε ένα κοντέινερ μαζί με τον μετασχηματιστή όπως φαίνεται και στην Εικ. 23.



Εικόνα 23: Σύστημα διαχείρισης καλωδίων πάνω στο πλοίο (American Association Of Port Authorities, AAPA 2007)

2.6.2.2 Ηλεκτρικό σύστημα στο πλοίο

Τα πλοία που πρόκειται να ενταχθούν στο πρόγραμμα της ηλεκτροδότησης από τη στεριά, θα πρέπει να εγκαταστήσουν υποδοχές για τα καλώδια που έρχονται από το λιμάνι και ένα συμβατό σύστημα διαχείρισης καλωδίων (AAPA, 2007). Στην Εικ. 24 απεικονίζεται ένα σύστημα καλωδίωσης επάνω στο πλοίο.

Για τα εν ενεργεία πλοία δίχως υποδομές εκμετάλλευσης της ενέργειας από τη στεριά ο εκσυγχρονισμός τους σε αυτό το θέμα είναι απαραίτητος. Ακόμη η αναβάθμιση των ήδη εγκατεστημένων συστημάτων ηλεκτροδότησης είναι επιβεβλημένη. Όσον αφορά τα newbuilds ο πλοιοκτήτης μπορεί να ζητήσει εξ αρχής να τοποθετηθεί τέτοιου είδους σύστημα στο ηλεκτρικό σχέδιο του πλοίου.

Το σύστημα ηλεκτροδότησης πάνω στα πλοία περιλαμβάνει switchgears, μετασχηματιστή τάσης, αυτόματους διακόπτες και συστήματα ελέγχου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου και ο μετατροπέας συχνότητας είναι απαραίτητος αν οι συχνότητες του πλοίου και του δικτύου δεν συμβαδίζουν.



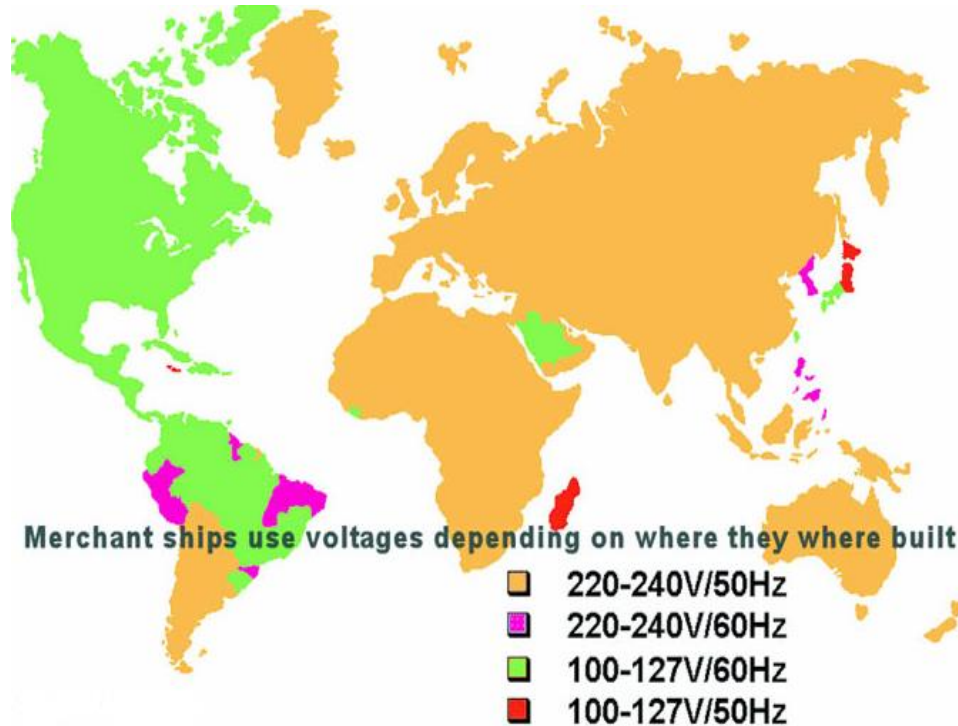
Εικόνα 24: Σύστημα σύνδεσης καλωδίων πάνω στο πλοίο (AAPA, 2007)

Η εναλλαγή της τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου από τις βοηθητικές μηχανές στην τροφοδοσία από την ξηρά γίνεται με δύο τρόπους. Είτε απενεργοποιείται η ηλεκτροδότηση του πλοίου από τις ηλεκτρομηχανές και το καράβι συνδέεται με το δίκτυο της ξηράς είτε γίνεται συγχρονισμός της ενέργειας από τη στεριά και τότε απενεργοποιούνται οι βοηθητικές μηχανές. Στη δεύτερη

περίπτωση υπάρχει μια πιο ομαλή μεταβολή της ενεργειακής κατάστασης του караβιού χωρίς αυξομειώσεις, καθώς οι απότομες αυτές εναλλαγές είναι ζημιογόνες για τον μηχανικό εξοπλισμό του πλοίου.

2.6.2.3 Προκλήσεις της μεθόδου

1. Ένα σημαντικό πρόβλημα για την τροφοδοσία ενέργειας του πλοίου από την ξηρά είναι πως δεν έχουν όλες οι χώρες την ίδια τάση λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου. Η τάση που διανέμεται στα λιμάνια παίρνει τις τιμές 400 V, 660 V, 6,6 kV και 11 kV.



Εικόνα 25: Τιμές λειτουργίας τάσης-συχνότητας πλοίων αναλόγως που ναυπηγήθηκαν (world-power-plugs.com/voltages-frequencies)

2. Ένα ακόμη ζήτημα της μεθόδου αποτελεί η χρήση διαφορετικών συχνοτήτων όπως φαίνεται και στην Εικ. 25. Για παράδειγμα το ηλεκτρικό δίκτυο των κρατών της Ευρώπης λειτουργεί με ρεύμα συχνότητας 50 Hz.
3. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για ένα λιμάνι με μεγάλο αριθμό πλοίων έχει ως αποτέλεσμα το δίκτυο να αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες όλων των πλοίων. Για τα ποντοπόρα πλοία οι ενεργειακές ανάγκες συνήθως κυμαίνονται από 2 MW έως 10 MW.

3 Μεθοδολογία υπολογισμού ρύπων για επιλεγμένα πλοία στο λιμάνι του Πειραιά

3.1 Το λιμάνι του Πειραιά

Το λιμάνι του Πειραιά (Εικ. 25) είναι ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια της Ευρώπης. Καταλαμβάνει την πρώτη θέση σε κίνηση επιβατών στην Ευρώπη και την τρίτη παγκοσμίως εξυπηρετώντας κάθε χρόνο περί τα 20 εκατομμύρια επιβάτες (Progiou et al., 2021). Ο εμπορευματικός σταθμός του λιμανιού βρίσκεται εκτός της κατοικημένης περιοχής του Πειραιά ενώ ο επιβατικός σταθμός βρίσκεται μέσα στην πόλη.

Ο δήμος Πειραιά αποτελεί τον τρίτο πιο πυκνοκατοικημένο δήμο στην Ελλάδα με 16.000 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Είναι μια πόλη με ανεπτυγμένη εμπορική και επιχειρηματική δραστηριότητα κυρίως στον κλάδο της ναυτιλίας με επισκέπτες και εργαζόμενους να φτάνουν τα 350.000 άτομα. Όλοι αυτοί οι άνθρωποι είναι αποδέκτες των ατμοσφαιρικών ρύπων, οι οποίοι παράγονται κατά κύριο λόγο από τα επιβατηγά πλοία και τα κρουαζιερόπλοια. Οι κλήσεις προς το λιμάνι (port calls) από αυτές τις κατηγορίες πλοίων φτάνουν τις 10.000 τον χρόνο.



Εικ. 25: Το λιμάνι του Πειραιά (portnet.gr)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων(PM) στο λιμάνι του Πειραιά είχε φτάσει έως και τα 360.000 PM/cm³ (NABU, 2015), τη στιγμή που οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται από τα 4.000 έως τα 5.000 PM/cm³. Ο βασικός λόγος της ραγδαίας αύξησης των σωματιδίων αυτών είναι η λειτουργία των βοηθητικών μηχανών των πλοίων κατά την είσοδό τους στο λιμάνι και κατά τον ελλιμενισμό τους. Λύση στο πρόβλημα αυτό θα ήταν η εφαρμογή της τεχνικής του Cold Ironing, δηλαδή η παύση λειτουργίας των ηλεκτρομηχανών και η τροφοδοσία του πλοίου με ηλεκτρισμό από το τοπικό δίκτυο. Μια ολοκληρωμένη τεχνική πρόταση σχετικά με τις υποδομές και τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο λιμάνι του Πειραιά (και της Κυλλήνης) έτσι ώστε

να καθίσταται δυνατή η τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας από τα εν λόγω λιμάνια στα πλοία, και η κοστολόγηση τους, μπορεί να βρεθεί στην εργασία (Πανταζόπουλος, 2017).

3.2 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά

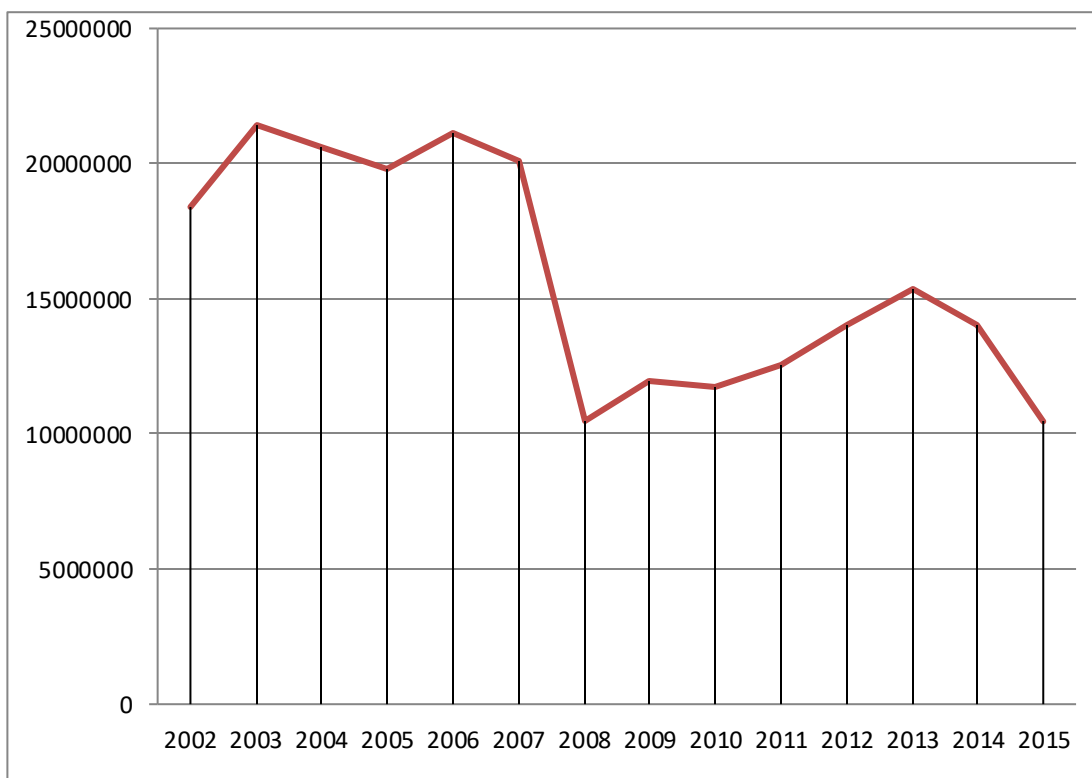
3.2.1 Κίνηση εμπορικών πλοίων

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η κίνηση των εμπορικών πλοίων η οποία αντιστοιχεί σε τόνους φορτίου για τις εισαγωγές και εξαγωγές που πραγματοποιήθηκαν για τα έτη 2002 – 2015. Στη στήλη του γενικού φορτίου εμπεριέχεται και το φορτίο από τα εμπορευματοκιβώτια. Ακόμη στο χύδην φορτίο περιλαμβάνεται το υγρό και το ξηρό φορτίο.

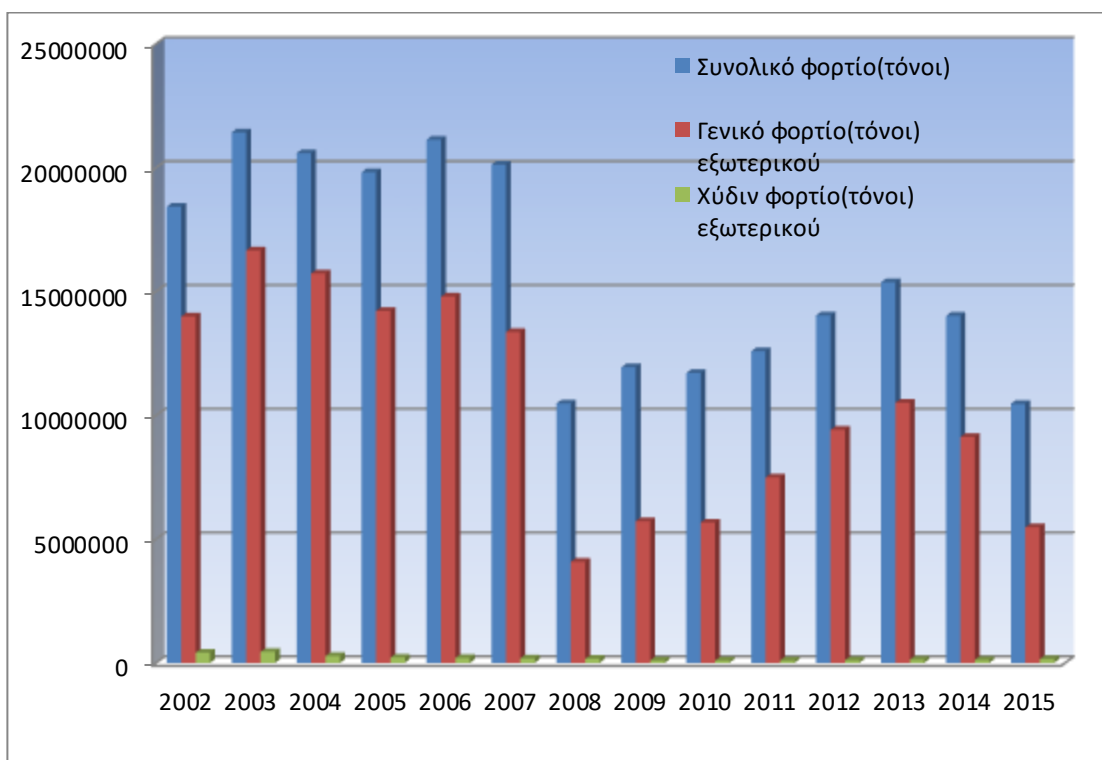
Πίνακας 3: Συνολικό εμπόρευμα σε τόνους για το λιμάνι του Πειραιά για την περίοδο 2002-2015 (Ο.Λ.Π.)

	Εμπορεύματα Εξωτερικού		Εμπορεύματα εσωτερικού		Σύνολο
	Γενικό Φορτίο	Χύδην Φορτίο	Γενικό Φορτίο	Χύδην Φορτίο	
Έτος					
2002	13.990.955	413.802	3.257.663	761.760	18.424.180
2003	16.655.568	445.821	3.968.560	801.250	21.425.378
2004	15.724.084	275.382	4.283.550	303.749	20.586.765
2005	14.216.615	213.278	5.263.749	122.750	19.814.061
2006	14.793.353	194.570	5.857.389	282.222	21.128.134
2007	13.363.942	180.534	6.152.520	425.920	20.121.916
2008	4.084.839	165.044	5.961.407	266.143	10.477.433
2009	5.717.817	95.003	5.568.634	558.531	11.939.985
2010	5.665.461	96.494	5.462.552	481.698	11.706.205
2011	7.488.234	93.486	4.687.499	314.517	12.583.736
2012	9.412.679	106.801	4.236.877	275.268	14.031.625
2013	10.510.440	132.449	4.385.597	348.246	15.376.732
2014	9.126.280	117.978	4.464.350	307.173	14.015.781
2015	5.478.076	149.366	4.713.431	268.568	10.460.075

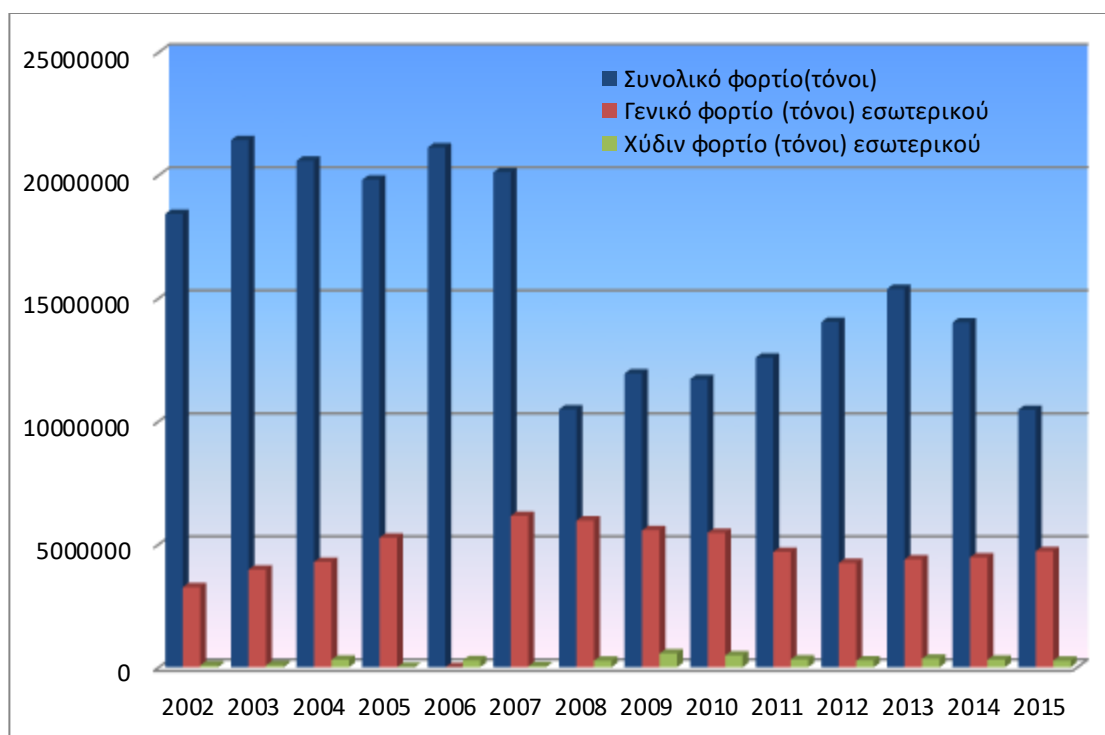
Είναι εμφανές πως η κίνηση των εμπορικών πλοίων παρουσιάζει αυξομειώσεις μέσα στο χρόνο. Για παράδειγμα μέχρι το 2007 το εμπόρευμα σε τόνους βρισκόταν σε υψηλές τιμές ενώ από το 2008 και για κάποια χρόνια υπήρξε δραστική μείωση της κίνησης, καθώς ήταν τα πρώτα χρόνια της οικονομικής κρίσης. Στη συνέχεια έγινε μία μικρή αύξησή της και το 2015 επήλθε πτώση ξανά στην κίνηση των εμπορευμάτων, καθώς το καλοκαίρι του 2015 η χώρα μπήκε στην ρύθμιση των capital controls. Οι απότομες μεταβολές του συνολικού φορτίου φαίνονται και στις Εικ. 26, 27 και 28.



Εικ. 26: Κίνηση συνολικού φορτίου ανά χρονιά από το 2002 έως το 2015 στο λιμάνι του Πειραιά



Εικ. 27: Φορτίο εμπορικών πλοίων εξωτερικού για την περίοδο 2002-2015 στο λιμάνι του Πειραιά



Εικ. 28: Φορτίο εμπορικών πλοίων εσωτερικού για την περίοδο 2002-2015 στο λιμάνι του Πειραιά

3.2.2 Κίνηση ακτοπλοΐας

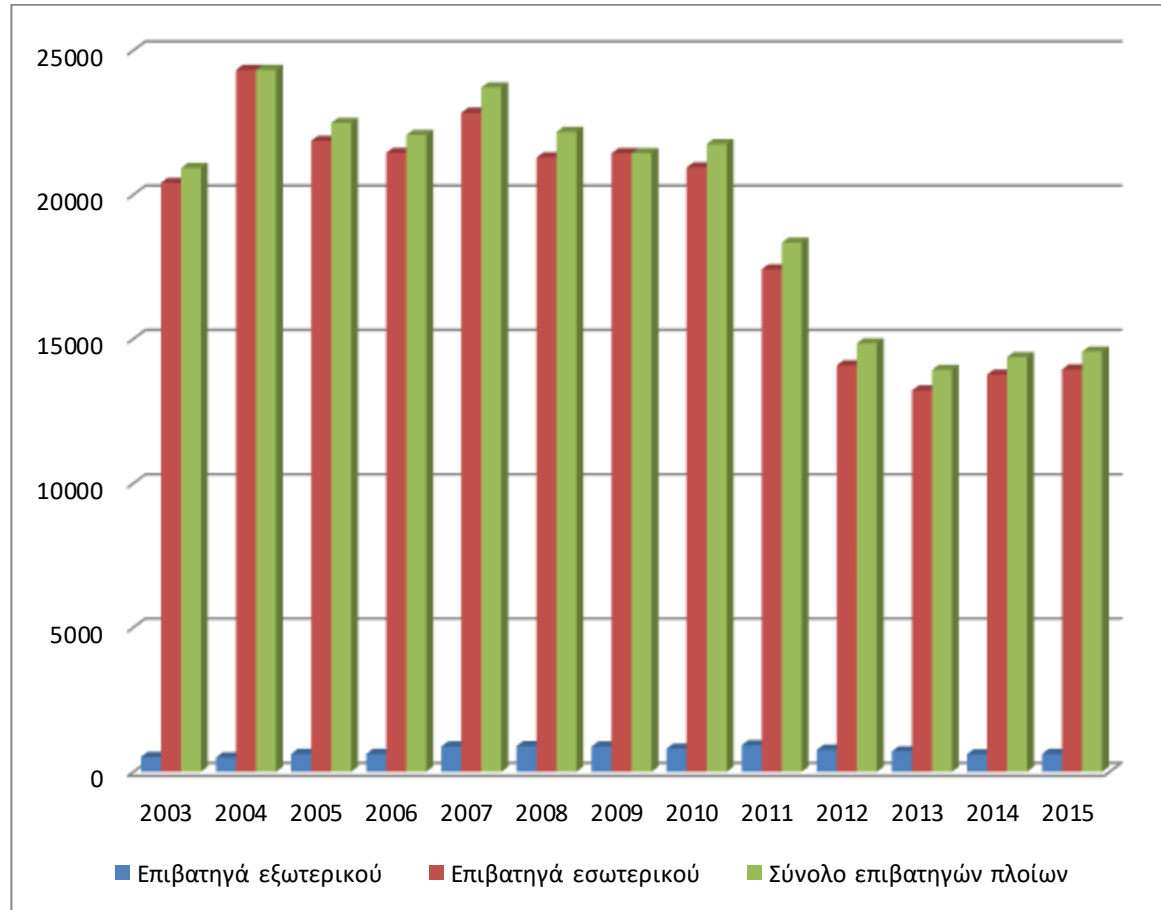
Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται η κίνηση της ακτοπλοΐας και των επιβατών στο λιμάνι του Πειραιά για τη χρονική περίοδο 2003-2015.

Πίνακας 4: Κίνηση ακτοπλοΐας και επιβατών για την περίοδο 2003-2015 (Ο.Λ.Π.)

Έτος	Ακτοπλοΐα Εξωτερικού		Ακτοπλοΐα εσωτερικού		Επιβάτες Πορθμείου	Σύνολο (πλοία)	Σύνολο (επιβάτες)
	Αφίξεις πλοίων Επιβατηγά	Επιβάτες	Αφίξεις πλοίων Επιβατηγά	Επιβάτες			
2003	516	823.339	20.409	11.713.269	8.397.292	20.925	20.933.900
2004	500	757.552	24.323	11.159.724	8.339.053	24.323	20.255.879
2005	620	925.782	21.865	11.484.763	7.977.880	22.485	20.388.425
2006	619	1.202.190	21.448	11.688.647	7.636.426	22.067	20.507.263
2007	877	1.554.747	22.841	11.572.678	8.395.492	23.718	21.522.917
2008	886	1.806.583	21.288	11.413.843	8.763.631	22.174	21.984.057
2009	877	2.028.006	21.435	10.695.228	8.723.709	21.435	21.446.943
2010	805	1.864.657	20.946	10.100.697	8.371.064	21.751	20.336.418
2011	921	2.517.371	17.412	9.351.135	8.304.999	18.333	20.173.505
2012	763	2.066.925	14.083	7.729.778	8.186.932	14.846	17.983.635
2013	710	2,296,457	13.219	7.643.760	7.730.555	13.929	17.669.772
2014	605	1,854,916	13,764	8,093,501	8,687,078	14,369	18,635,495
2015	619	1,678,490	13,943	8,391,632	7,417,892	14,562	17,488,014

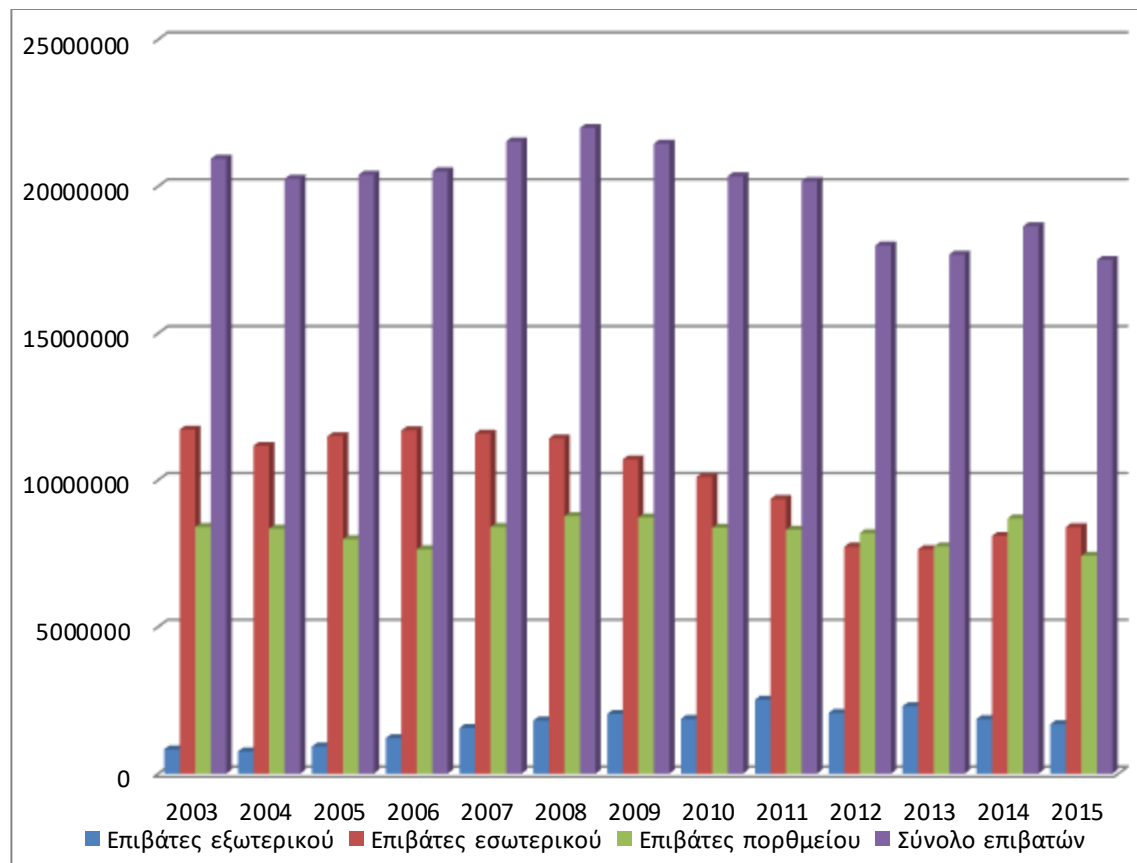
Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 4, παρατηρείται πως οι αφίξεις των επιβατηγών στο λιμάνι του Πειραιά παρουσίαζαν κάποιες μικρές αυξομειώσεις χωρίς ιδιαίτερα μεγάλες αποκλίσεις μέχρι το 2011. Από το 2011 μέχρι το 2015 και μετά υπάρχει ραγδαία μείωση στις αφίξεις ακτοπλοΐας, ειδικά του

εσωτερικού. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στην κίνηση των επιβατών, με τους αριθμούς να κυμαίνονται κοντά στα 20.000.000 μέχρι το 2011, όπου εμφανίζεται μείωση της κίνησης μέχρι το 2015 που δείχνει να σταθεροποιείται. Τα παραπάνω στοιχεία απεικονίζονται στην Εικ. 29.



Εικ. 29: Κίνηση επιβατηγών πλοίων εσωτερικού-εξωτερικού για το λιμάνι του Πειραιά.

Είναι εμφανές στην εικόνα 30 πως οι μετακινήσεις εσωτερικού λαμβάνουν τις μεγαλύτερες τιμές είτε σε αφίξεις πλοίων είτε σε αφίξεις επιβατών. Το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί λογικό αν αναλογιστεί κανείς την πλειάδα των νησιών που υπάρχουν στις Ελληνικές θάλασσες. Η Ελληνική ακτοπλοΐα καταλαμβάνει την πρώτη θέση στην Ευρώπη για τη μεταφορά επιβατών και η συντριπτική πλειοψηφία των μεταφορών αφορά προορισμούς εσωτερικού.



Εικ. 30: Κίνηση επιβατών εσωτερικού – εξωτερικού – πορθμείου για το λιμάνι του Πειραιά.

3.2.3 Κίνηση Κρουαζιερόπλοιων

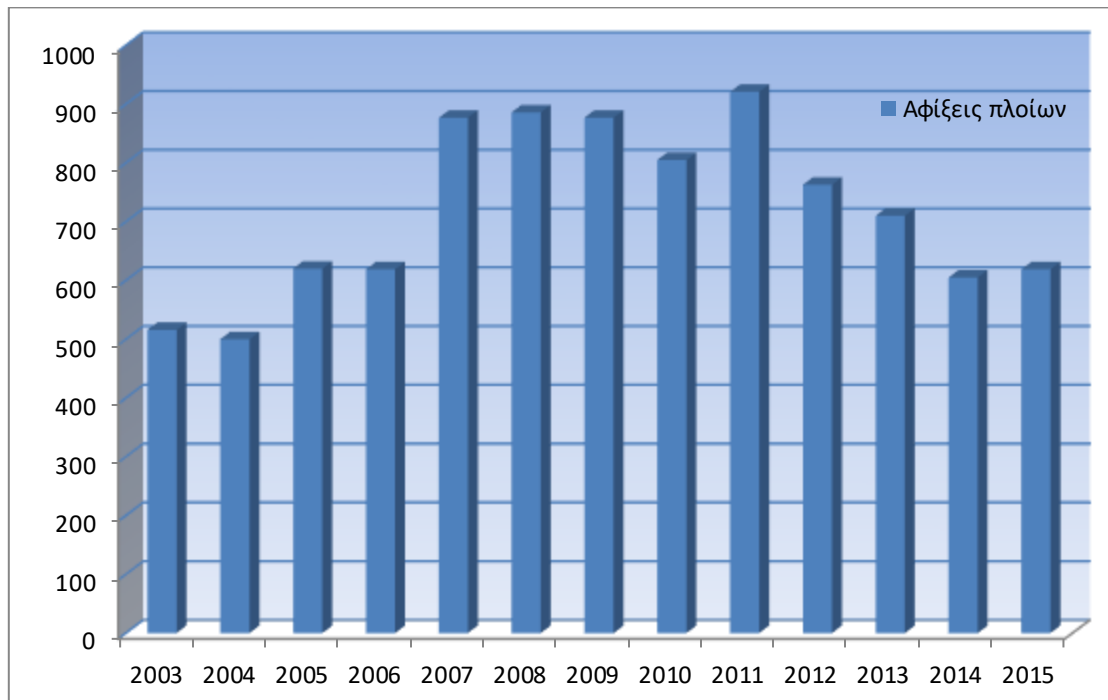
Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η κίνηση των επιβατών κρουαζιέρας στο λιμάνι του Πειραιά για την χρονική περίοδο 2003 έως 2015.

Πίνακας 5: Κίνηση πλοίων και επιβατών κρουαζιέρας για την περίοδο 2003-2015 (Ο.Λ.Π.)

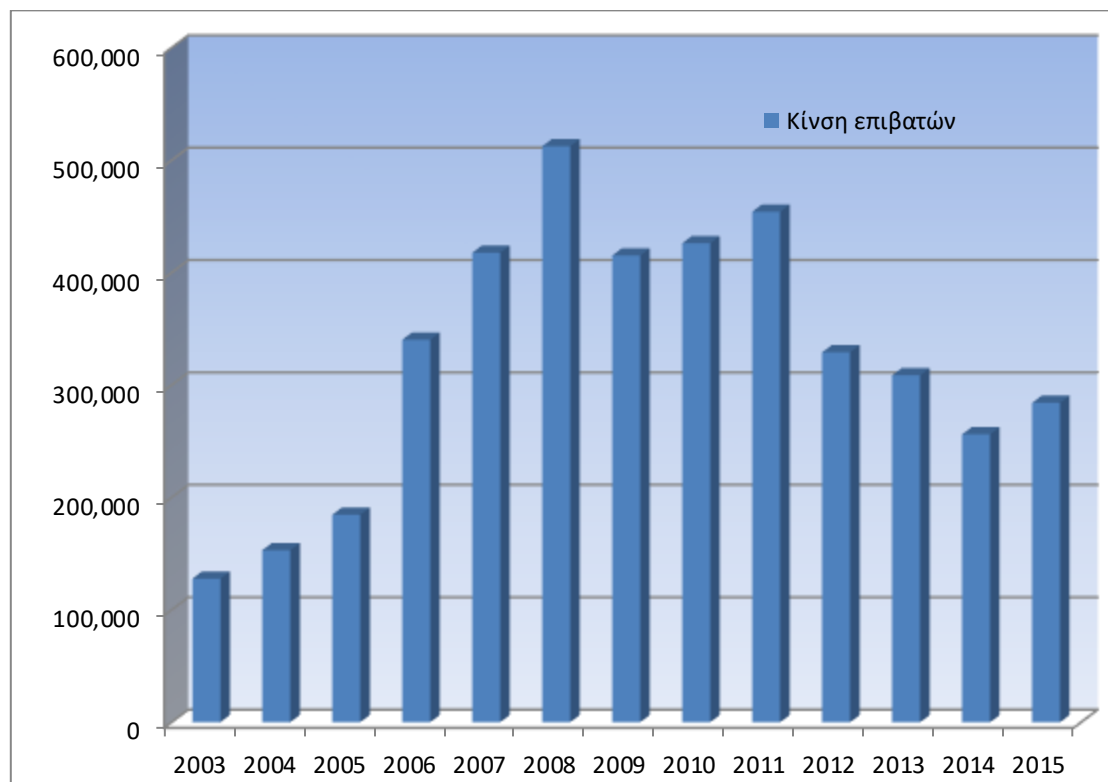
Έτος	Αφίξεις πλοίων	Επιβάτες
2003	516	127,777
2004	500	153,089
2005	620	184,763
2006	619	340,389
2007	877	417,811
2008	886	512,597
2009	877	415,260
2010	805	426,147
2011	921	454,284
2012	763	329,168
2013	710	308,705
2014	605	256,196
2015	619	284,246
Σύνολο	9,318	4,210,432

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 5 παρατηρείται αύξηση των επιβατών κρουαζιέρας μέχρι το 2008. Στην συνέχεια υπάρχει πτώση στα νούμερα γεγονός

που μπορεί να οφείλεται στις οικονομικές αναταραχές που επικρατούν τα τελευταία χρόνια στη χώρα.



Εικ. 31: Ετήσια κίνηση κρουαζιερόπλοιων για το λιμάνι του Πειραιά (Ο.Λ.Π.)



Εικ. 32: Ετήσια κίνηση επιβατών κρουαζιέρας για το λιμάνι του Πειραιά (Ο.Λ.Π.)

Από τις Εικ. 31 και 32 φαίνεται πως υπάρχει αναλογία ανάμεσα στις αφίξεις κρουαζιερόπλοιων και αφίξεις επιβατών ετησίως. Εξαίρεση αποτελεί η χρονιά

του 2011 κατά την οποία ενώ υπήρξε αύξηση των αφίξεων πλοίων κρουαζιέρας τα νούμερα των επιβατών μειώθηκαν.

Στον Πίνακα 6 αναγράφονται τα στατιστικά στοιχεία για τις αφίξεις των κρουαζιερόπλοιων για το έτος 2020 και οι αναμενόμενες αφίξεις για τα έτη 2021-2022.

Πίνακας 6: Ετήσια κίνηση για το 2020 και αναμενόμενη ετήσια κίνηση για τα έτη 2021 και 2022 (Ο.Λ.Π.)

Έτος	Αφίξεις πλοίων
2020	77
2021	711
2022	580
Σύνολο	1,368

Όπως φαίνεται στον πίνακα οι αφίξεις των κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι του Πειραιά για το έτος 2020 λαμβάνουν την χαμηλότερη τιμή συγκριτικά με επόμενες χρονιές. Η ραγδαία αυτή μείωση στα κρουαζιερόπλοια οφείλεται στο ξέσπασμα της πανδημίας Covid-19, εξαιτίας της οποίας εφαρμόστηκαν περιοριστικά μέτρα για την αποτροπή της μετάδοσης του ιού.

3.3 Μεθοδολογία υπολογισμού ρύπων από τα πλοία

Ο υπολογισμός των ρύπων για το λιμάνι του Πειραιά βασίζεται στην εργασία (Tzannatos, 2010).

Η μέθοδος η οποία στηρίζεται στη δραστηριότητα των πλοίων εμπεριέχει τους συντελεστές εκπομπής ρύπων οι οποίοι συσχετίζουν την ποσότητα ρύπων που εκπέμπεται από το πλοίο κατά την ώρα της λειτουργίας του στο λιμάνι. Δημιουργείται ένα προφίλ για το πλοίο το οποίο περιλαμβάνει τις κινήσεις του στο λιμάνι (μανούβρα) ή όταν είναι προσδεδεμένο, το μέγεθος και τον τύπος της μηχανής, τον συντελεστή φορτίου της κύριας μηχανής καθώς και των βοηθητικών και τον τύπο του καυσίμου που κατανάλωσε κατά τις διεργασίες του στο λιμάνι. Κατά την μανούβρα λαμβάνεται υπόψιν η κίνηση του πλοίου με χαμηλή ταχύτητα κατά την είσοδο ή έξοδο του από το λιμάνι ή όταν βρίσκεται στο σημείο όπου πρόκειται να προσδέσει.

Για κάθε κλήση προς το λιμάνι από ένα πλοίο πραγματοποιείται εκπομπή NO_x, SO_x και PM_{2.5} κατά τη διάρκεια των ελιγμών του πλοίου, αλλά και κατά τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τον ελλιμενισμό του. Το μαθηματικό μοντέλο σύμφωνα με το οποίο γίνεται υπολογισμός των ρύπων είναι το εξής :

$$E_M = T_M \times [(ME \times LF_{ME-M} \times EF_{ME}) + (AE \times LF_{AE-M} \times EF_{AE})] \quad (1)$$

$$E_B = T_B \times [(ME \times LF_{ME-B} \times EF_{ME}) + (AE \times LF_{AE-B} \times EF_{AE})] \quad (2),$$

όπου

E_M οι ρύποι του καραβιού την ώρα της μανούβρας (σε τόνους)

T_M ο χρόνος που το πλοίο πραγματοποιεί μανούβρες (σε ώρες)

ME η ισχύς της κύριας μηχανής (σε kW)

LF_{ME-MO} συντελεστής φορτίου κύριας μηχανής κατά τη μανούβρα

EF_{ME} ο συντελεστής εκπομπής ρύπων της κύριας μηχανής για κάθε εκλυόμενο είδος ρύπου (σε $gkWh^{-1}$)

AE η ισχύς των βοηθητικών μηχανών (σε kW)

LF_{AE-MO} συντελεστής φορτίου βοηθητικής μηχανής κατά τη μανούβρα

EF_{AE} ο συντελεστής εκπομπής ρύπων για τις βοηθητικές μηχανές για κάθε είδος ρύπου που εκλύεται (σε $gkWh^{-1}$)

E_{B0} οι ρύποι του πλοίου όσο είναι δεμένο (σε τόνους)

T_B ο χρόνος κατά τον οποίο πραγματοποιεί εργασίες και είναι δεμένο (σε ώρες)

LF_{ME-B} ο συντελεστής φορτίου κύριας μηχανής ενώ το πλοίο είναι δεμένο

LF_{AE-B} ο συντελεστής φορτίου βοηθητικής μηχανής ενώ το πλοίο είναι δεμένο

EF_{AE} ο συντελεστής εκπομπής ρύπων για τις βοηθητικές μηχανές για κάθε είδος ρύπου που εκλύεται (σε $gkWh^{-1}$).

3.4 Συντελεστές φόρτισης βοηθητικών μηχανών

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα πραγματοποιηθεί υπολογισμός των ρύπων που εκλύονται μόνο κατά την ώρα του ελλιμενισμού των πλοίων στο λιμάνι χωρίς να λαμβάνουμε υπόψιν τους ελιγμούς. Αυτό συνεπάγεται πως θεωρούμε τους ρύπους που προέρχονται από τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών των πλοίων και μόνο. Για τον λόγο αυτό θα ασχοληθούμε με τους συντελεστές φόρτισης των βοηθητικών μηχανών.

Οι συντελεστές φόρτισης των βοηθητικών μηχανών σχετίζονται άμεσα με τον τύπο του πλοίου. Οι μεγαλύτερες φορτίσεις που δέχονται οι βοηθητικές μηχανές είναι κατά την ώρα του ελλιμενισμού, καθώς λειτουργούν ακατάπαυστα. Οι συντελεστές φόρτισης των βοηθητικών μηχανών συνδέονται άμεσα με τη μέγιστη ισχύ των ηλεκτρομηχανών.

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται εκτιμώμενες τιμές συντελεστών φόρτισης των βοηθητικών μηχανών ανά τύπο πλοίου κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού (Trozzi, 2010).

Πίνακας 7: Εκτιμώμενες τιμές συντελεστών φόρτισης μηχανών (Trozzi, 2010)

Τύπος πλοίου με βάση το φορτίο	Διανυκτέρευση
Εμπορευματοκιβωτίων	0,25
Επιβατηγά	0,20
RO-RO	0,24
Γενικού φορτίου	0,23
Κρουαζιερόπλοια	0,64
Ξηρού Φορτίου	0,30
Δεξαμενόπλοια	0,26

Οι ηλεκτρομηχανές των επιβατηγών πλοίων τα οποία δραστηριοποιούνται στο λιμάνι του Πειραιά, λειτουργούν σε υψηλό ρυθμό κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού. Οι συντελεστές φόρτισης των βοηθητικών μηχανών εμφανίζονται ελαφρώς αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο συγκριτικά με τους συντελεστές φόρτισης του υπόλοιπου έτους (Tzannatos, 2010). Στον Πίνακα 8 αναγράφονται οι τιμές των συντελεστών φόρτισης των ηλεκτρομηχανών κατά την θερινή περίοδο και το υπόλοιπο έτος. Η αύξηση που εμφανίζουν οι συντελεστές κατά τη θερινή περίοδο οφείλεται στην αύξηση των δρομολογίων των πλοίων καθώς και των επιβατών. Ακόμη οι συντελεστές έχουν διαφορετική τιμή λίγη ώρα πριν αλλά και μετά την αναχώρηση του.

Πίνακας 8: Συντελεστές φόρτισης βοηθητικών μηχανών πλοίων ανά χρονική περίοδο και λειτουργία

Λειτουργία	Συντελεστές Φόρτισης βοηθητικών μηχανών υπόλοιπου έτους	Συντελεστές Φόρτισης βοηθητικών μηχανών θερινής περιόδου
Διανυκτέρευση	0,2	0,2
Προετοιμασία Αναχώρησης	0,4	0,7

Παρατηρούμε πως κατά την προετοιμασία αναχώρησης οι συντελεστές φόρτισης των βοηθητικών μηχανών είναι αυξημένοι. Το χρονικό διάστημα το οποίο θα θεωρήσουμε πως διαρκεί η προετοιμασία αναχώρησης του πλοίου θα είναι η μια ώρα και θα το λάβουμε υπόψιν και αυτό στους υπολογισμούς μας.

3.5 Συντελεστές εκπομπών αέριων ρύπων

Για τον προσδιορισμό των αέριων ρύπων, ο οποίος αποτελεί μια πολύ απαιτητική και χρονοβόρα διαδικασία, είναι απαραίτητοι οι συντελεστές εκπομπής των μηχανών των πλοίων. Για τον υπολογισμό των αέριων ρύπων θα χρειαστούμε τους συντελεστές εκπομπής μόνο των ηλεκτρομηχανών, καθώς οι κύριες μηχανές κατά τον ελλιμενισμό του πλοίου δεν λειτουργούν.

Οι συντελεστές εκπομπής για τις βοηθητικές μηχανές λήφθηκαν από τις εργασίες των Kuzu et al (2020) και Trozzi (2010). Στον Πίνακα 9 παραθέτονται οι συντελεστές εκπομπών των βοηθητικών μηχανών ανάλογα με το καύσιμο που καταναλώνει το πλοίο για την λειτουργία των ηλεκτρομηχανών.

Πίνακας 9: Συντελεστές εκπομπών ηλεκτρομηχανών (Kuzu et al 2020, Trozzi 2010)

Καύσιμο	Συντελεστές Εκπομπών (gr/kWh)								
	Θείο	NO _x	SO _x	PM ₁₀	CO	CO ₂	PM _{2.5}	HC	SFC
RO	2,7%	14,7	11,98	1,4	1	720	1,3	0,4	227
MDO	1%	13,9	4,24	0,49	1	690	0,45	0,4	217
MGO	0,5%	13,9	2,12	0,32	1	690	0,3	0,4	217
MGO	0,1%	13,9	0,42	0,18	1	690	0,17	0,4	217

Στην πρώτη στήλη αναγράφεται το καύσιμο που καταναλώνουν τα πλοία για τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών (Residual Oil, Marine Diesel oil και Marine GasOil) και στη δεύτερη στήλη το ποσοστό θείου που περιέχεται στο συγκεκριμένο καύσιμο. Η συντριπτική πλειοψηφία των πλοίων καταναλώνει MDO με 1% περιεκτικότητα σε θείο για την λειτουργία των ηλεκτρομηχανών. Αυτό αναμένεται να αλλάξει μετά την εφαρμογή των νέων μέτρων από τον IMO (International Maritime Organization), όπου θα πρέπει να καταναλώνεται καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη του 1% σε όλο τον κόσμο (EMSA, 2021). Για τον λόγο αυτό θα θεωρήσουμε πως οι βοηθητικές μηχανές των πλοίων που θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό των ρύπων καταναλώνουν ως καύσιμο το MGO για τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών, με περιεκτικότητα σε θείο 0,1% ώστε να βρισκόμαστε εντός των νομοθετικών πλαισίων.

3.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων που θα εξεταστούν

Τα πλοία βάσει των οποίων θα γίνει υπολογισμός των ρύπων που εκπέμπουν όσο είναι ελλιμενισμένα στο λιμάνι του Πειραιά είναι επιβατηγά και τα δρομολόγια που εκτελούν αφορούν τα νησιά του Αιγαίου (Κυκλάδες και Δωδεκάνησα) και την Κρήτη.

Σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς του IMO, όλα τα πλοία είναι υποχρεωμένα να καταναλώνουν καύσιμο MGO για τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών με περιεκτικότητα σε θείο 0,1%. Η εναλλακτική λύση είναι η τοποθέτηση των scrubbers στις καπνοδόχους ώστε η περιεκτικότητα σε θείο να είναι πάλι 0,1%. Αρα μπορούμε να κάνουμε την παραδοχή πως όλα τα πλοία όσο βρίσκονται ελλιμενισμένα χρησιμοποιούν καύσιμο MGO με περιεκτικότητα σε θείο 0,1% για τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανών.

Στον Πίνακα 10 αναγράφονται τεχνικά στοιχεία των πλοίων που θα εξεταστούν (ισχύς κύριων και βοηθητικών μηχανών, μέγιστη ταχύτητα), τα οποία λήφθηκαν από την MarineTraffic. Μετά από επικοινωνία με εκπρόσωπο της εταιρίας MarineTraffic πραγματοποιήθηκε παραχώρηση δεδομένων στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν κυρίως το είδος και τον αριθμό των πλοίων που εισέρχονταν στο λιμάνι του Πειραιά. Τα τεχνικά στοιχεία των πλοίων (ισχύς κύριων και βοηθητικών μηχανών και μέγιστη ταχύτητα) αντλήθηκαν από το site της MarineTraffic (www.marinetraffic.com/).

Πίνακας 10: Τεχνικά στοιχεία των εξεταζόμενων πλοίων (Ισχύς κύριων και βοηθητικών μηχανών, μέγιστη ταχύτητα)

Όνομα Πλοίου	Ισχύς Κύριων Μηχανών (kW)	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)	Μέγιστη Ταχύτητα (Knots)
Blue Star 1	45050	5080	28
Blue Star 2	45050	5080	28
Blue Star Delos	32000	4500	26
Blue Star Paros	16560	3240	24
Blue Star Chios	32086	4973	24
Blue Star Naxos	16560	3240	24
Blue Star Mykonos	32086	4973	27

Faistos Palace	68062	11000	30
Blue Star Diagoras	11399	1767	23
Knossos Palace	68062	11000	31
High Speed 4	21456	1120	33
High Speed 5	29058	1162	38
High Speed 6	28010	1150	38
Prevelis	11622	1500	20
Venizelos	34130	2950	20
Olympic Champion	51405	10500	32
Speed Runner 4	48616	1099	38
Elyros	26522	4111	25
Adamantios Korais	5960	924	18
Kornaros	10803	1908	19
Superfast XII	48616	10200	29

Οι πληροφορίες που θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό των ρύπων αναγράφονται στη δεύτερη στήλη του Πίνακα 10, δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού των πλοίων λειτουργούν μόνο οι βοηθητικές μηχανές.

3.7 Χρονικό διάστημα ελλιμενισμού των πλοίων

Μια αξιόπιστη εκτίμηση των ρύπων που εκπέμπουν τα πλοία όσο είναι ελλιμενισμένα απαιτεί την συλλογή στοιχείων τουλάχιστον ενός έτους. Στην παρούσα εργασία το χρονικό διάστημα που θα εξετάσουμε είναι οκτώ ημέρες (από την 1/6/2015 έως 8/6/2015) και μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τυπικό διάστημα λειτουργίας του λιμανιού κατά την θερινή περίοδο. Στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας γίνεται η παραδοχή ότι οι ώρες ελλιμενισμού και οι εκπεμπόμενοι ρύποι των επιλεγμένων πλοίων στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα είναι αντιπροσωπευτικές για όλο το έτος (βλ. επίσης Κεφ. 4.2).

Οι χρόνοι ελλιμενισμού των πλοίων λήφθηκαν από την MarineTraffic (www.marinetraffic.com/) και από τον Οργανισμό Λιμένος Πειραιώς (ΟΛΠ) (www.olp.gr/el/). Στον Πίνακα 11 καταγράφονται οι ώρες του ελλιμενισμού των υπό εξέταση πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά.

Πίνακας 11: Ώρες ελλιμενισμού των υπό εξέταση πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά στο χρονικό διάστημα 1/6/2015 – 8/6/2015.

	1/6/2015	2/6/2015	3/6/2015	4/6/2015	5/6/2015	6/6/2015	7/6/2015	8/6/2015
Blue Star 1	13	-	12	-	15,9	17	-	-
Blue Star 2	-	12,5	-	11	-	-	10,5	-
Blue Star Delos	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Blue Star Paros	2,5	2,7	2,7	2	2,7	2,7	2,7	2,7
Blue Star Chios	-	13	-	10	2	-	-	-
Blue Star Naxos	8	7,5	7,5	7,5	8	7,2	7,5	7,5

Blue Star Mykonos	-	-	6	-	-	-	-	-
Faistos Palace	16	-	-	15	16	-	16,5	-
Blue Star Diagoras	4,5	-	5,5	-	7	-	7	-
Knossos Palace	15	-	-	16	-	16,5	-	16
High Speed 4	7	3	10,2	10,6	10,5	10,7	10	9
High Speed 5	9	10	11	11	11	11,5	10	10,5
High Speed 6	8,3	10	10	10,1	10	10	10	9,5
Prevelis	-	11	-	-	-	6,5	-	-
Venizelos	16	-	16	-	15,5	-	16	-
Olympic Champion	16	-	16	-	15,5	-	16	-
Speed Runner 4	9,4	7	9,5	7,5	9,4	7,4	9,5	7,2
Elyros	-	16,3	-	16,3	-	16,2	-	7,3
Adamantios Korais	6,5	15	6,5	14,8	5,2	4,2	14,9	6,5
Kornaros	-	13	-	10,2	-	9,2	-	-
Superfast XII	12	-	12,5	-	12,4	-	12	-

4 Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων και ενέργειας από επιλεγμένα πλοία στο λιμάνι του Πειραιά κατά τον ελλιμενισμό

Σε αυτό το στάδιο θα γίνει ο υπολογισμός των ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία κατά τον ελλιμενισμό τους (σε λειτουργία μόνο οι ηλεκτρομηχανές). Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που αναφέραμε παραπάνω και βασιζόμενοι στην εξίσωση (2), θα ποσοτικοποιήσουμε τους εκλυόμενους ρύπους.

4.1 Αναλυτικός υπολογισμός των ρύπων

Αρχικά θα γίνει ο υπολογισμός των ρύπων για ένα από τα υπό εξέταση πλοία, το Blue Star 1, και για τα υπόλοιπα πλοία οι υπολογισμοί θα γίνουν κατ'αναλογία. Οι πίνακες για τα υπόλοιπα πλοία θα μπούν στο Παράρτημα Α.

Στον Πίνακα 12Α.1 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα χρησιμοποιήσουμε για τους υπολογισμούς. Το χρονικό διάστημα των 8 ωρών αντιστοιχεί στις ώρες που διαρκεί η προετοιμασία της αναχώρησης-άφιξης του πλοίου. Μία ώρα πριν την αναχώρηση και μία ώρα μετά την άφιξη, οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν σε υψηλότερους ρυθμούς. Παρόμοιοι υπολογισμοί μπορούν να βρεθούν και στην εργασία (Kampylis, 2016).

Πίνακας 12Α.1: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star 1

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Άφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	5080
Χρονική Περίοδος (h)	49,9	8	

Με εφαρμογή της εξίσωσης (2) θα υπολογίσουμε τους ρύπους SO_x που εκπέμπονται εξαιτίας της λειτουργίας των ηλεκτρομηχανών κατά τη διανυκτέρευση και κατά την προετοιμασία αναχώρησης-άφιξης:

Διανυκτέρευση

$$E_{B,SO_x} = 49,9h \times 0,2 \times 5080kW \times \frac{0,42gr}{kW} = 21.293 \text{ gr}$$

Προετοιμασία αναχώρησης-άφιξης

$$E_{B,SO_x} = 8h \times 0,7 \times 5080kW \times \frac{0,42gr}{kW} = 11.948 \text{ gr}$$

Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε τις εκπομπές και για τους υπόλοιπους ρύπους.

Στον Πίνακα 12B.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για όλους τους ρύπους που εκπέμπονται από την λειτουργία των ηλεκτρομηχανών.

Πίνακας 12B.1: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Star 1.

Είδος αέριου ρύπου	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Εκπομπές Ηλεκτρομηχανών (gr) κατά τη Διανυκτέρευση	Εκπομπές Ηλεκτρομηχανών (gr) κατά την Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο εκπομπών Ηλεκτρομηχανών (gr)	Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)
SO _x	0,42	21.983	11.948	33.931	80.788
NO _x	13,9	704.707	395.427	1.100.134	79.146
PM ₁₀	0,18	9.125	5.120	14.245	79.138
PM _{2,5}	0,17	8.618	4.836	13.454	79.141
CO	1,10	55.768	31.292	87.060	79.145
CO ₂	690,71	35.017.891	19.649.318	54.667.209	79.227
HC	0,40	20.279	11.379	31.658	79.145
Σύνολο					555.790

Με την ίδια μεθοδολογία θα υπολογίσουμε τους ρύπους και για τα υπόλοιπα πλοία. Στην τελευταία στήλη αναγράφονται οι τιμές της ενέργειας που καταναλώθηκε από τις βοηθητικές μηχανές κάθε πλοίου για κάθε είδος ρύπου. Ο τρόπος υπολογισμού της ενέργειας σε kWh είναι ο εξής: Για το BlueStar 1 υπολογίστηκε πως το σύνολο των ρύπων από SO_x είναι 33.931 γραμμάρια. Διαιρώντας λοιπόν το σύνολο των ρύπων σε γραμμάρια προς τον αντίστοιχο συντελεστή του ρύπου (0,42 gr/kWh) θα έχουμε

$$\frac{33.931 \text{ gr}}{0,42 \text{ gr/kWh}} = 80.788 \text{ kWh}$$

Ακολουθώντας την ίδια λογική και για τους υπόλοιπους ρύπους υπολογίζεται η ενέργεια που καταναλώθηκε για την εκπομπή κάθε είδους ρύπου. Τέλος, αθροίζοντας τις τιμές της ενέργειας καταλήγουμε στο σύνολο της ενέργειας που καταναλώθηκε για την εκπομπή των ρύπων συνολικά.

4.2 Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρομηχανών των πλοίων για ένα έτος. Παρόλο που αυτή η κατανάλωση ενέργειας από τα επιλεγμένα πλοία δεν είναι ομοιογενής μέσα στο έτος, κάνουμε την παραδοχή ότι είναι ισοκατανομημένη με βάση το εξεταζόμενο διάστημα αναφοράς των οκτώ ημερών του Ιουνίου 2015. Λόγω της παραδοχής αυτής αναμένεται η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας να είναι αυξημένη σε σχέση με την πραγματική, δεδομένου ότι στη θερινή περίοδο τα δρομολόγια της ακτοπλοΐας αυξάνονται. Βέβαια, τα μεγαλύτερα πλοία της ακτοπλοΐας, όπως τα Blue Star και τα Faistos και Knossos Palace έχουν σταθερά δρομολόγια και την θερινή αλλά και την χειμερινή περίοδο για την εξυπηρέτηση των επιβατών που διαμένουν μόνιμα στα πολυάριθμα ελληνικά νησιά.

Η λογική, λοιπόν, που ακολουθείται για την εκτίμηση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας των ηλεκτρομηχανών των επιλεγμένων πλοίων είναι η εξής: Για παράδειγμα για το BlueStar 1 η κατανάλωση αυτή για το διάστημα αναφοράς ανέρχεται στις 555.790 kWh, άρα για ένα έτος θα είναι

$$555.790 \text{ kWh} \times \frac{365}{8} = 25.357.918,75 \text{ kWh} \cong 25.358 \text{ MWh}$$

Με ανάλογους υπολογισμούς προκύπτει η ετήσια κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρομηχανών των υπόλοιπων επιλεγμένων πλοίων.

Πίνακας 12: Εκτίμηση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας των ηλεκτρομηχανών των υπό εξέταση πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους στο λιμάνι του Πειραιά.

Όνομα Πλοίου	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)	Εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας (MWh/έτος)
BlueStar 1	5.080	25.358
Blue Star 2	5.080	15.899
Blue Star Delos	4.500	28.743
Blue Star Paros	3.240	14.993
Blue Star Chios	4.973	13.405
Blue Star Naxos	3.240	20.901
Blue Star Mykonos	4.973	6.669
Faistos Palace	11.000	59.546
Blue Star Diagoras	1.767	4.964
Knossos Palace	11.000	59.546
High Speed 4	1.120	7.856
High Speed 5	1.162	8.459
High Speed 6	1.150	8.732
Prevelis	1.500	2.634
Venizelos	2.950	15.128
Olympic Champion	10.500	56.043
Speed Runner 4	1.099	7.500
Elyros	4.111	17.130
Adamantios Korais	924	6.702
Kornaros	1.908	14.109
Superfast XII	10.200	42.642
Σύνολο		445.989

5 Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Φ/Β) στο λιμάνι του Πειραιά

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μία πρόταση εκμετάλλευσης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, συγκεκριμένα ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων, στο λιμάνι του Πειραιά. Αρχικά γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων, το οποίο βασίζεται στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια αναλύεται η αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών (φωτοβολταϊκό φαινόμενο), τα τεχνικά στοιχεία που τα αποτελούν και ο τρόπος λειτουργίας τους. Ακόμη αναφέρονται τα δομικά χαρακτηριστικά, το υλικό κατασκευής, οι κατηγορίες ανάλογα με το υλικό κατασκευής και η απόδοσή τους. Έπειτα παρουσιάζονται τα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά τα οποία επιλέχθηκαν για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στις στέγες τους και τα κριτήρια για την επιλογή τους. Τα επόμενα βήματα είναι η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στις στέγες τους, σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες χωροθέτησης, και η επιλογή τύπου πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί. Τέλος, κάνοντας χρήση ενός υπολογιστικού προγράμματος PVGIS εξάγεται η ετήσια παραγόμενη ενέργεια για κάθε κτίριο.

5.2 Ηλιακή Ακτινοβολία

5.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η κατανομή της ηλιακής ενέργειας είναι ομοιόμορφη στην επιφάνεια της γης. Είναι καθαρή μορφή ενέργειας με δυνατότητα μετατροπή της σε άλλες μορφές. Στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα σε επίπεδο είναι 1.367 W/m^2 . Η τιμή αυτή της ηλιακής ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται ως ηλιακή σταθερά I_{sc} (Τρυπαναγνωστόπουλος, 2016). Βέβαια είναι ενέργεια χαμηλής πυκνότητας και εμφανίζει ασυνέχεια στο χρόνο (Palmer, 1995). Η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται στα όρια της ατμόσφαιρας σε ένα εύρος $\pm 1,5\%$ λόγω της μεταβολής της εκπομπής από τον ήλιο και κατά 3% λόγω της μεταβολής της απόστασης Γη-Ήλιος. Η εξάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το χρόνο είναι

$$I_{on} = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \text{ W/m}^2 \quad (3),$$

όπου n ο αριθμός που αντιστοιχεί στο μήνα του χρόνου. Η ηλιακή ακτινοβολία εξασθενεί κατά την διαδρομή της εντός της ατμόσφαιρας λόγω, ανάκλασης, απορρόφησης και σκέδασης. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης έχει μικρότερη ένταση και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή και την κατάσταση της ατμόσφαιρας.

5.2.2 Συνιστώσες Ηλιακής Ακτινοβολίας

Κατά τη διαδρομή των ακτινών του ήλιου μέσα στην ατμόσφαιρα της γης τα φωτόνια σκεδάζονται στα μόρια της και σε αιωρούμενα σωματίδια όπως η σκόνη

και οι υδρατμοί. Ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από συστατικά της ατμόσφαιρας και ένα μέρος της φτάνει στην επιφάνεια. Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε κάποια επιφάνεια είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας:

$$I = I_B + I_D, \quad (4)$$

όπου I η ολική ακτινοβολία, I_B η ηλιακή ακτινοβολία η οποία δεν έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα και I_D η ηλιακή ακτινοβολία που έχει αλλάξει διεύθυνση λόγω σκέδασης στην ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση που η επιφάνεια είναι κεκλιμένη, τότε στον τύπο προστίθεται ένας ακόμη όρος, η ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος:

$$I_T = I_{B,T} + I_{D,T} + I_{GR}, \quad (5)$$

όπου I_T η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης, $I_{B,T}$ η άμεση συσυστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο, $I_{D,T}$ η διάχυτη συσυστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο και I_{GR} η διάχυτη ακτινοβολία η οποία ανακλάται από το έδαφος. Η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία μεταβάλλονται με το ύψος του ήλιου, την ημέρα του έτους και την κατάσταση της ατμόσφαιρας.

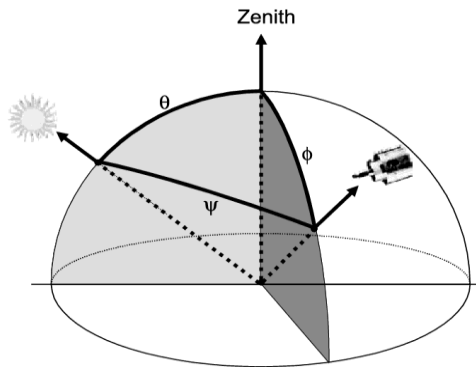
Τις ημέρες ηλιοφάνειας η άμεση ακτινοβολία αποτελεί την μεγαλύτερη συσυστώσα της ολικής ακτινοβολίας. Αντιθέτως, σε ημέρες με πυκνή νέφωση, η συνολική ακτινοβολία εξαρτάται από την ύπαρξη της διάχυτης ακτινοβολίας. Ακόμη η μορφολογία του εδάφους και το χρώμα του μεταβάλλουν τη διάχυτη ανακλώμενη ακτινοβολία. Ο συντελεστής της διάχυτης ανάκλασης λέγεται albedo. Η μεταβολή που υφίσταται η ακτινοβολία πριν προσπέσει στο έδαφος είναι υψηλή. Πέρα από τη συνεχή μετατόπιση της θέσης του ήλιου, μεταβολές προκαλούνται και από τις εκάστοτε συνθήκες ατμόσφαιρας.

Το μέγεθος το οποίο συνδέεται με την διαδρομή των ακτίνων του ήλιου μέσα στην ατμόσφαιρα αλλά και το πάχος αυτής ονομάζεται αέρια μάζα. Η αέρια μάζα περιγράφει τη διαφορά της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα συγκριτικά με το μήκος της κατακόρυφης διαδρομής (Tiano et al., 2020), συμβολίζεται με m ή AM και δίνεται από τη σχέση

$$m = \frac{L}{H}, \quad (6)$$

όπου L το μήκος της διαδρομής των ακτίνων του Ήλιου και H το πάχος της ατμόσφαιρας.

Η αέρια μάζα συνδέεται άμεσα με την ζενιθιακή γωνία θ . Ζενιθιακή ονομάζεται η γωνία που διαγράφεται μεταξύ της καθέτου στο οριζόντιο επίπεδο ενός τόπου και της ευθείας που ενώνει τον τόπο με τον ήλιο, όπως φαίνεται στην Εικ. 33, και ουσιαστικά είναι η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια.



Εικ. 33: Προσδιορισμός ζενιθιας γωνίας (Dagestad ,2015)

Η σχέση μεταξύ αέριας μάζας και ζενιθιακής γωνίας μπορεί προσεγγιστικά να γραφεί και ως

$$m = \frac{1}{\cos\theta} \cdot (7)$$

5.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα

5.3.1 Εισαγωγή

Την αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών, γνωστό και ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ανακάλυψε ο Γάλλος φυσικός Becquerel το 1839. Σύμφωνα με τον Becquerel μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν κάποια αγώγιμα υλικά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία (Becquerel,1839). Υστερα από κάποιες δεκαετίες, το 1876, οι Αμερικανοί Adams και Day κάνοντας χρήση ενός κρύσταλλου σεληνίου έκαναν επίδειξη του φαινομένου. Η απόδοση ήταν της τάξης του 1%. Το 1904 ο Albert Einstein ολοκλήρωσε την θεωρία γύρω από το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο που κατασκευάστηκε το 1956 είχε απόδοση 6% ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου με απόδοση 10% (Fraas,2014).

Με το πέρασμα του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας δημιουργήθηκαν προοπτικές για την εξέλιξη των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Το 1970, η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων ήταν για διαστημικές εφαρμογές και έφτανε τα 500 m². Στόχος της επιστημονικής κοινότητας τα επόμενα χρόνια ήταν η ελάττωση του κόστους των φωτοβολταϊκών με την εφαρμογή νέων φθηνότερων υλικών (Goetzberger et al., 2002). Με την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια σε όλες τις πτυχές της σύγχρονης κοινωνίας τα φωτοβολταϊκά αποτελούν πλέον μέρος της καθημερινότητας και καλύπτουν ένα φάσμα εφαρμογών που κυμαίνεται από μικρής κλίμακας συστήματα μέχρι και εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος. Η απόδοση τους έχει εύρος 12-18% σε συγκεκριμένες συνθήκες.

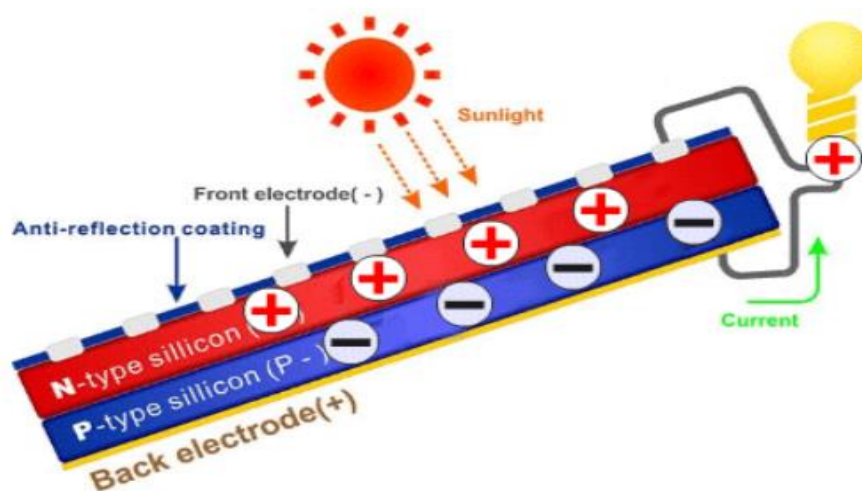
5.3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών, δηλαδή η άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο (Luque et al., 2011). Το φαινόμενο αυτό βασίζεται στη διαφορά δυναμικού που

δημιουργείται όταν το φως προσπέσει σε υλικό στο οποίο υπάρχει εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα όταν έρθουν σε επαφή δύο υλικά με διαφορετικές προσμίξεις. Η επαφή p-n αυτών των δύο ημιαγωγίμων υλικών αποτελείται από την επαφή p και από την επαφή n. Η επαφή τύπου p εμφανίζει πλεόνασμα οπών (άτομα με έλλειμα ηλεκτρονίων) και η επαφή τύπου n που έχει πλεόνασμα ηλεκτρονίων.

Η διαφορά αυτή των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό των δύο υλικών δημιουργεί εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο από την περιοχή n προς την περιοχή p. Η φορά του πεδίου είναι τέτοια ώστε να οδηγεί τους δημιουργημένους φορείς ηλεκτρισμού μέσα στο υλικό, ηλεκτρόνια ή οπές, στην επαφή n ή p αντίστοιχα. Οι φορείς αυτοί δημιουργούνται όταν το ηλιακό φως προσπέσει στην περιοχή και διεγείρει τα ηλεκτρόνια. Δηλαδή, οι φορείς του ηλεκτρισμού που σχηματίζονται στην περιοχή της επαφής κινούνται σε τμήματα του κρυστάλλου όπου όμοια φορτία αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των φορέων. Βάσει της διαδικασίας αυτής αναπτύσσεται δυναμικό και λαμβάνεται ρεύμα σε εξωτερικό κύκλωμα. Μέσω του κυκλώματος αυτού τροφοδοτείται το ρεύμα για την παροχή ενέργειας.

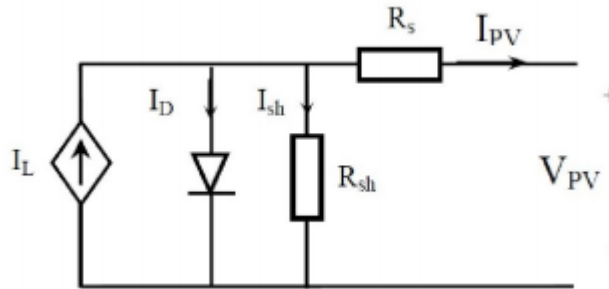
Στο κέντρο κάθε φωτοβολταϊκού κυττάρου βρίσκεται μια επαφή p-n. Το βασικό ημιαγωγίμο υλικό που χρησιμοποιείται στις φωτοβολταϊκές διατάξεις είναι το πυρίτιο (Si), μονοκρυσταλικό, πολυκρυσταλικό είτε άμορφο. Το φωτοβολταϊκό κύτταρο αποτελεί μια αγωγή διόδος που απορροφά και μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Η διασύνδεση πολλών τέτοιων κυττάρων δημιουργούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα τοποθετούνται σε ένα μεταλλικό πλέγμα το οποίο είναι και μια από τις ηλεκτρικές επαφές της διόδου. Στην επαφή n υπάρχει ένα σύστημα μεταλλικών ηλεκτροδίων για τη συλλογή των ελεύθερων ηλεκτρονίων όπως φαίνεται και στην εικόνα 34. Ακόμη στην πλευρά αυτή υπάρχει ένα αντανάκλαστικό επίστρωμα το οποίο αντανάκλα την ηλιακή ακτινοβολία και ταυτόχρονα αυξάνει την απορροφούμενη ακτινοβολία. Στην άλλη ηλεκτρική επαφή υπάρχει ένα μεταλλικό στρώμα στην πίσω όψη του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Ακόμη, για την μετατροπή του παραγόμενου ρεύματος από συνεχές (DC) σε εναλλασσόμενο (AC) γίνεται χρήση μετασχηματιστή.



Εικ. 34: Αναπαράσταση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (Omniphos A.T.E, www.omniphos.gr/)

5.3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βασίζονται στο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα. Ο όρος φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell) αντιστοιχεί στην ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Στην βιβλιογραφία μπορεί να βρεθεί ακόμη και ως φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.



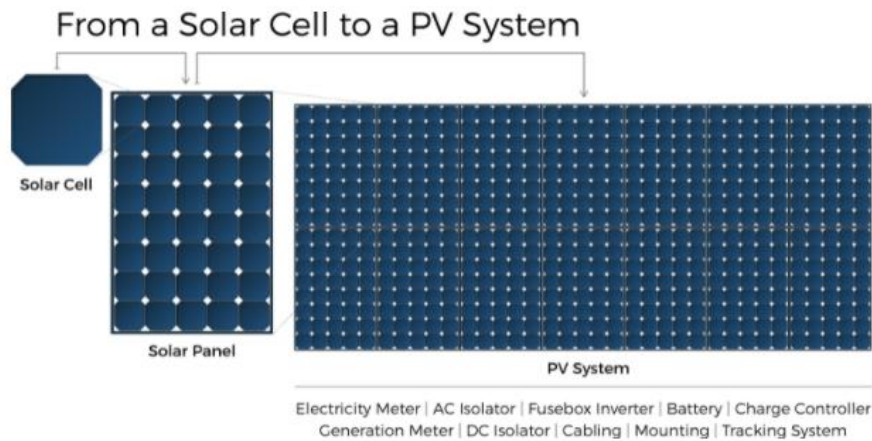
Εικ. 35: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου (Fesharaki et al., 2011)

Στην Εικ. 35, I_L είναι το φωτόρευμα, I_D το ρεύμα της επαδής p-n, R_{sh} αντίσταση σειράς, και R_{sh} η ισοδύναμη παράλληλη αντίσταση του φωτοβολταϊκού. Η αντίσταση R_s αναπαριστά σε συγκεντρωμένη μορφή όλα τα καταναμημένα στοιχεία αντίστασης κατά τη ροή των φορέων στον κυρίως ημιαγωγό. Η αντίσταση R_{sh} αναπαριστά τις απώλειες των φορέων που συμβαίνουν στην επαφή p-n, στην εξωτερική παράπλευρη επιφάνεια του στοιχείου και λόγω ανωμαλιών του κρυστάλλου. Η αντίσταση R_{sh} είναι της τάξης των $k\Omega$ ενώ η αντίσταση R_s συνήθως είναι μικρότερη από 1Ω .

5.3.4 Κατασκευαστικά στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το βασικότερο υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το πυρίτιο. Αρχικά συνδέονται σε σειρά ένα πλήθος φωτοβολταϊκών (συνήθως 36) κυττάρων με τάση ανοιχτού κυκλώματος 22 V. Στη συνέχεια τοποθετούνται σε επίπεδη γυάλινη πλάκα η οποία τοποθετείται σε μεταλλικό πλαίσιο υψηλής αντοχής. Η πίσω όψη καλύπτεται από ειδικό πλαστικό υλικό ενθυλάκωσης. Η κατασκευή συνολικά πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές έτσι ώστε να διαθέτει την κατάλληλη μηχανική αντοχή, τις σωστές υποδοχές στήριξης και την στεγανότητα για την προστασία από την υγρασία. Επίσης η κατασκευή θα πρέπει να είναι ανθεκτική στις μεταβολές της θερμοκρασίας και στις εξάρσεις των καιρικών φαινομένων.

Η κατασκευή στην Εικ. 36 ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Οι εκμεταλλεύσιμες τιμές ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου κυμαίνονται από 25 W έως 85 W. Σύγχρονες κατασκευές διαθέτουν μεγαλύτερη ισχύ.



Εικ. 36: Αναπαράσταση φωτοβολταϊκού κυττάρου, μονάδας και συστήματος (www.infiniteenergy.com.au)

Σήμερα τα φωτοβολταϊκά που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια έχουν σχήμα τετραγωνικό (p-Si) ή τετραγωνικό με κομμένες τις γωνίες του (c-Si), ώστε η ενεργός επιφάνεια να προσεγγίζει την γεωμετρία της επιφάνειας του πλαισίου. Η όψη του φωτοβολταϊκού καλύπτεται από διαφανή ουσία (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Si_3N_4 , MgF_2). Η μεμβράνη αυτή χαρακτηρίζεται από δείκτη διάθλασης τέτοιο ώστε να ελαχιστοποιείται το ανακλώμενο φως. Τα μήκη κύματος που συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι περίπου 600 nm, δηλαδή κοντά στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας. Έπειτα τα μεταλλικά ηλεκτρόδια, οι συλλογείς των φορέων, πρέπει να βρίσκονται κοντά στην ενεργό περιοχή. Το ηλεκτρόδιο που βρίσκεται στην πίσω όψη καλύπτει όλη την έκταση του φωτοβολταϊκού και αποτελείται από λεπτό και πυκνό μεταλλικό πλέγμα. Αντίθετα το μεταλλικό πλέγμα που τοποθετείται στην όψη του φωτοβολταϊκού στοιχείου όπου προσπίπτει το φως, έχει το σχήμα μεταλλικής σχάρας με σκοπό οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς να συλλέγονται από όλη την έκταση της επιφάνειάς του και ταυτόχρονα η διέλευση του φωτός να είναι η μεγαλύτερη δυνατή.

Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να γίνει είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Ο συνδυασμός πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων σε μία επιφάνεια, αποτελεί την φωτοβολταϊκή συστοιχία. Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών συστοιχιών αποτελεί το φωτοβολταϊκό πάρκο. Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων υπάρχουν δύο βασικοί τύποι:

- Τα αυτόνομα συστήματα
- Τα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα

Τα αυτόνομα συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα με κάποιο δίκτυο και συνδυάζονται συχνά με ηλεκτρικό συσσωρευτή. Η ισχύς του εναλλασσόμενου ρεύματος από ένα σύστημα συνδεδεμένο με το δίκτυο καταλήγει στη πηγή κατανάλωσης μέσω ενός μετατροπέα, ο οποίος γενικά συνδέεται με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων, είναι αναγκαία η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και ακόμη η μετατροπή αυτής σε ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος. Συνεπώς, ο προσδιορισμός των κατάλληλων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων αποτελεί αναγκαία συνθήκη για τη μελέτη και το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές και τα ηλεκτρονικά ισχύος όπως οι μετατροπείς τάσεως και τα συστήματα ελέγχου λειτουργίας φόρτισης αποτελούν τα βασικότερα τμήματα ενός φωτοβολταϊκού σταθμού.

5.3.5 Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ο ρυθμός παραγωγής των φωτοβολταϊκών στοιχείων αυξάνεται ραγδαία. Απόρροια της αύξησης αυτής είναι η βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών και η μείωση του κόστους τους λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας αυτών των συστημάτων. Ακόμη, καθοριστικός παράγοντας της ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών αποτέλεσε η ευρύτερη εφαρμογή τους. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων από κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si), έχει εύρος από 14% έως 17% ενώ τα φωτοβολταϊκά από άμορφο πυρίτιο (a-Si:H), προηγούμενης γενιάς δεν ξεπερνά το 6%. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si) συνδυάζουν καλή ποιότητα κατασκευής, καλή απόδοση (13%-14%) και μικρότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά. Το χρονικό διάστημα καλής λειτουργίας των φωτοβολταϊκών φτάνει τα 30 χρόνια.

Η αύξηση της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στον αντίποδα, η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει την μείωση της απόδοσης. Επίσης, σκόνες και άλλα σώματα στην επιφάνεια όψης των πλαισίων μειώνουν την απόδοσή τους.

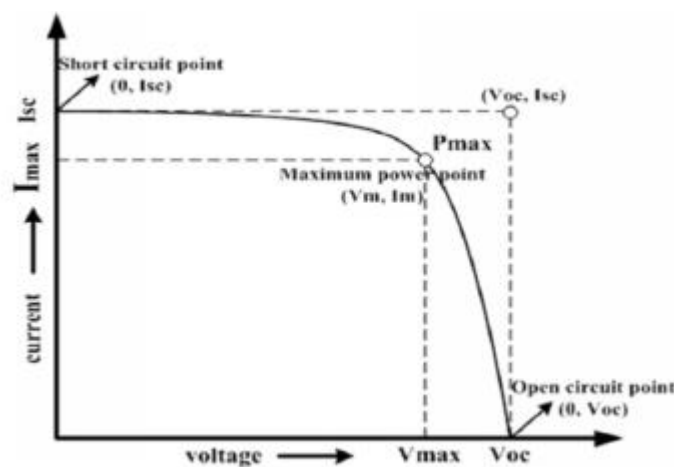
Δύο ακόμη παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση του φωτοβολταϊκού είναι η κλίση και ο προσανατολισμός του. Η απόκλιση από το οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται κλίση ενώ προσανατολισμός ονομάζεται η απόκλιση από το Νότο. Τα φωτοβολταϊκά παίρνουν κλίση γύρω από τον οριζόντιο άξονα και προσανατολίζονται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Η κατάλληλη κλίση των φωτοβολταϊκών προκύπτει από το γεωγραφικό πλάτος τοποθέτησης και ο ιδανικός προσανατολισμός είναι ο νότιος. Λόγω της τροχιάς του ήλιου, εμφανίζονται μεγάλες διαφορές στην κλίση ανά εποχή και ανά περιοχή. Για την αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών, μπορούν να τοποθετηθούν στα πλαίσια ειδικοί μηχανισμοί οι οποίοι επιτρέπουν την κίνηση. Επιπρόσθετα, η απόδοση των φωτοβολταϊκών αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας που δημιουργείται λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού πρέπει ο αερισμός να είναι επαρκής. Συνεπώς, το φωτοβολταϊκό δε θα πρέπει να εφάπτεται με την επιφάνεια τοποθέτησης του, αλλά να υπάρχει κενό ανάμεσα στο πάνελ και την επιφάνεια. Μια άλλη λύση για τη μείωση της θερμοκρασίας είναι η χρήση υβριδικών φωτοβολταϊκών.

Τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν ένα ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική, ενώ το υπόλοιπο γίνεται θερμότητα η οποία μειώνει την απόδοση του συστήματος. Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου n_m είναι το πηλίκο της αποδιδόμενης μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος, P_m (W), προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο ηλιακή ακτινοβολία $G \cdot S$, όπου G (W/m^2) η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου και S (m^2) το εμβαδόν του πλαισίου:

$$n_m = \frac{P_m}{G S} \quad (8)$$

Η απόδοση εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών παρασκευής του, τη θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ο έλεγχος της απόδοσης λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού αλλά και ο σχεδιασμός των ηλεκτρονικών που συνδυάζονται με αυτό γίνονται με βάση τον προσδιορισμό των σημείων μέγιστης ισχύος, τα οποία αντιστοιχούν σε

διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του στοιχείου. Ιδανικά το σημείο λειτουργίας του, σε κάθε διαφορετική κατάσταση που θα προκύψει, αποτελεί και το σημείο μέγιστης ισχύος P_m για τη δεδομένη κατάσταση. Είναι εμφανές λοιπόν πως η προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος στο σημείο μέγιστης ισχύος είναι αναγκαία. Η διαδικασία αυτή, δηλαδή η μετακίνηση του σημείου λειτουργίας καθώς αλλάζουν οι συνθήκες καθορισμού της καμπύλης έντασης ρεύματος – τάσης (I - V) όπως φαίνεται στην Εικ. 37, επιτυγχάνεται με χρήση ειδικής ηλεκτρονικής διάταξης παρακολούθησης του (Maximum Power Point Tracker). Το σημείο αυτό μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με την γραφική αναπαράσταση της παρεχομένης ηλεκτρικής ισχύος, $P = I \cdot V$, υπό δεδομένη ένταση πάνω σε μία μεταβλητή ηλεκτρική αντίσταση, σαν συνάρτηση της τάσης V . Το μέγιστο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος βρίσκεται στο σημείο καμπής της καμπύλης I - V .



Εικ. 37: Χαρακτηριστική καμπύλη I - V (Ahmar et al., 2016)

Οι τιμές έντασης ρεύματος και τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος συμβολίζονται με I_m και V_m αντίστοιχα. Η μέγιστη δυνατή ισχύς που μπορεί να παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, υπό δεδομένη προσπίπτουσα πυκνότητα ακτινοβολίας, ισούται με

$$P_m = I_m V_m \quad (9)$$

Εάν η τιμή της τάσης μηδενιστεί ($V = 0$) τότε λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , ενώ εάν η τιμή του ρεύματος μηδενιστεί ($I = 0$), τότε λαμβάνεται η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} . Ο παράγοντας πληρότητας FF (Fill Factor) ορίζεται ως εξής:

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (10)$$

Ο παράγοντας πληρότητας σχετίζεται με την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανάλογα με τις κατασκευαστικές ιδιότητες του φωτοβολταϊκού και τις συνθήκες λειτουργίας του. Η μέγιστη τιμή του παράγοντα πληρότητας είναι το 1. Άρα η απόδοση των φωτοβολταϊκών μπορεί να υπολογιστεί και από την σχέση

$$n_{el} = \frac{I_m V_m}{S G} = \frac{FF I_{sc} V_{oc}}{S G} \quad (11)$$

5.3.6 Περιβαλλοντικά – τεχνο-οικονομικά θέματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά ως μέσα παραγωγής ενέργειας προσφέρουν ολοένα και περισσότερα οφέλη σε διάφορους τομείς της κοινωνίας. Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον προβάλλει την οικολογική πτυχή τους. Θεωρούνται περιβαλλοντικά αποδοτικά, δεδομένου ότι έχουν περιβαλλοντική απόσβεση κοντά στα 4 χρόνια και ανακτούν την ενέργεια που δαπανήθηκε για την δημιουργία των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να εκπέμπουν βλαβερούς ρύπους και ουσίες. Επίσης δεν προκαλούν ηχορύπανση καθώς η λειτουργία τους είναι αθόρυβη.

Τα φωτοβολταϊκά έχουν υψηλή αντοχή στα καιρικά φαινόμενα ενώ παράλληλα παρέχουν θερμομόνωση και ηχομόνωση. Ακόμη η λειτουργία τους θεωρείται τεχνικά αξιόπιστη. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να αξιοποιηθούν σε πλήθος ηλεκτρικών εφαρμογών (φάροι ναυσιπλοΐας, αριθμητικοί υπολογιστές, ηλιακά φανάρια) και άλλα συστήματα μεγάλης ισχύος συνδεδεμένων ή όχι στο δίκτυο.

Στην κατηγορία των κρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών, η παρασκευή της πρώτης ύλης καλύπτει το 30 – 35% του συνολικού κόστους και η παρασκευή του φωτοβολταϊκού στοιχείου καλύπτει επίσης το ίδιο ποσοστό του συνολικού κόστους. Για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου το κόστος παρασκευής της πρώτης ύλης ελαττώνεται περίπου στο μισό (18%). Το μεταλλικό πλαίσιο, μαζί με τα υλικά ενθυλάκωσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων, τον υαλοπίνακα και το κιβώτιο για τις ηλεκτρικές απολήξεις, απαιτεί το υπόλοιπο 30- 40% του συνολικού κόστους της μονάδας. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν διάρκεια ζωής που ξεπερνάει τα 30 έτη χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση, ενώ σε αυτό το διάστημα οι συσσωρευτές αντικαθίστανται 4-5 φορές.

Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος ενός συστήματος είναι το είδος της εφαρμογής και το αν το σύστημα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο ή όχι. Το κόστος είναι συνήθως χαμηλότερο για συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο και η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι, σε αντίθεση με τα αυτόνομα συστήματα, δεν απαιτούν συσσωρευτές. Επίσης, το κόστος ανά Wp μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του φωτοβολταϊκού συστήματος. Το Wp ή αλλιώς Watt αιχμής προσδιορίζει την ισχύ που παράγεται από μια φωτοβολταϊκή μονάδα σε θερμοκρασία $25^{\circ}C$ και υπό ηλιακή ακτινοβολία $1kW/m^2$ (ακτινοβολία που λαμβάνεται το μεσημέρι σε επιφάνεια κάθετη προς τις ακτίνες του ήλιου). Το $1 Wp$ παρέχει ηλεκτρική ισχύ $1 Watt$ με ηλιακή ακτινοβολία $1kW/m^2$.

Παρά το σχετικά υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων, προβλέπεται τα επόμενα χρόνια η μείωση του κόστους τους, με προοπτική το κόστος της φωτοβολταϊκής kWh να καταστεί συγκρίσιμο με το κόστος που θα έχει η kWh από συμβατικά καύσιμα.

Από κοινωνική σκοπιά, η ανάπτυξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας. Επίσης, η χρήση τους μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε δυσπρόσιτη περιοχή καθώς δεν εξαρτώνται από την τροφοδοσία συμβατικών καυσίμων.

Δομή και τεχνικά χαρακτηριστικά

Η διάκριση των φωτοβολταϊκών στοιχείων γίνεται με βάση την δομή του βασικού υλικού κατασκευής τους και τον τρόπο παρασκευής τους. Οι τύποι των φωτοβολταϊκών είναι οι εξής :

1. Φωτοβολταϊκά πυριτίου

- 1.1. Φωτοβολταϊκά μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single-crystal silicon, c-Si). Το υλικό διακρίνεται από το πάχος του. Τα εργαστηριακά φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν φτάσει σχεδόν σε αποδοτικότητα 24%, ενώ τα εμπορικά κυμαίνονται από 13-16%. Το χρώμα των κυττάρων είναι συνήθως σκούρο μαύρο.
- 1.2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline silicon mc-Si). Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά παρασκευάζονται σε μεγάλες επιφάνειες με στοιχεία τετραγωνικής μορφής και λεπτά επιστρώματα. Στην επιφάνεια της κυψελίδας διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Γενικά όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού στοιχείου, τόσο υψηλότερη είναι και η απόδοση του. Οι τιμές της απόδοσης κυμαίνονται από 17-20%, με τις εμπορικές μονάδες γύρω στο 12 – 15%. Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερη συγκριτικά με το αντίστοιχο των μονοκρυσταλλικών. Με την επιλογή κατάλληλου επιστρώματος δημιουργείται ποικιλία χρωματιστών φωτοβολταϊκών, με πιο διαδεδομένο το σκούρο μπλε λόγω της καλύτερης απόδοσης που παρουσιάζει.
- 1.3. Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας (Ribbon silicon). Αποτελείται από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο με απόδοση κοντά στο 13%. Επειδή η κατασκευή του απαιτεί υψηλό κόστος, η βιομηχανική παραγωγή του είναι περιορισμένη.

2. Φωτοβολταϊκά λεπτού φιλμ

- 2.1. Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου. Τα φωτοβολταϊκά λεπτών επιστρώσεων έχουν χαμηλό κόστος λόγω της μικρής μάζας υλικού που απαιτείται για την παρασκευή τους. Η απόδοση τους ελαττώνεται στην αρχή λειτουργίας τους 6-8%. Η τεχνολογία αυτή αξιοποιείται για τη δημιουργία σύνθετων φωτοβολταϊκών με διαδοχικές ενώσεις στρωμάτων για την αύξηση της αξιοποίησης του ηλιακού φάσματος με απόδοση που φτάνει το 13% για τα εργαστηριακά κύτταρα. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες πλαισίων.

3. Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων λεπτών επιστρώσεων

- 3.1. Δισεληνοϊδούχος Χαλκός ($CuInSe_2$). Αποτελείται από ένα λεπτό πολυκρυσταλλικό υλικό που έχει εργαστηριακή απόδοση σχεδόν 18%. Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής όμως τα εμπορικά μοντέλα έχουν χαμηλή απόδοση, περίπου 10%.
- 3.2. Τελουριούχο Κάδμιο ($CdTe$). Αποτελείται από ένα λεπτό πολυκρυσταλλικό υλικό που δημιουργείται με τη διαδικασία της ηλεκτροαπόθεσης. Εκμεταλλεύεται επαρκώς το ηλιακό φάσμα, όμως

παρατηρείται δυσκολία στην δημιουργία μεταλλικών επαφών. Η απόδοση κυμαίνεται από 7 έως 8%.

3.3. Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs). Αποτελείται από κρυσταλλική δομή όπως αυτής του πυριτίου, όμως τα στοιχεία του είναι Γάλλιο και Αρσενικό. Αμφότερα η ενεργειακή του απόδοση, 17%, και το κόστος κατασκευής τους είναι υψηλά.

4. Οργανικά φωτοβολταϊκά. Τα οργανικά-πολυμερή φωτοβολταϊκά εμφανίζονται με τη μορφή λεπτού φιλμ. Η αρχική τους μορφή ήταν υγρή που στη συνέχεια έφτασε σε παχύρρευστη μορφή. Η ρευστότητα παρέχει στα φωτοβολταϊκά την ιδιότητα της ευκαμψίας. Στο οργανικό διάλυμα από το οποίο παρασκευάζονται μπορούν να προστεθούν χρωστικές ουσίες και να δημιουργηθούν πολύχρωμα φωτοβολταϊκά. Το κόστος παραγωγής τους είναι αρκετά χαμηλό εξαιτίας των φθηνών πρώτων υλών, όμως έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Η απόδοση τους είναι περίπου 10% (Ibrahim et al., 2017).
5. Φωτοβολταϊκά πολλαπλών επιστρώσεων. Τα φωτοβολταϊκά πολλαπλών επιστρώσεων αποτελούν υπέρθεση διαφορετικών ημιαγωγικών υλικών που διαθέτουν διαφορετικά ενεργειακά διάκενα. Με την κατασκευή αυτή επιτυγχάνεται αξιοποίηση μεγαλύτερου μέρους του ηλιακού φάσματος και ως επέκταση υψηλότερη απόδοση και χαμηλές θερμοκρασίες.
6. Φωτοβολταϊκά κβαντικής τελείας. Τα φωτοβολταϊκά κβαντικής τελείας διαφέρουν από τα συμβατικά φωτοβολταϊκά διότι χρησιμοποιούν κβαντικές τελείες (ανόργανους ημιαγωγίμους νανοκρυσταλλούς κατασκευασμένους από ανόργανα υλικά 2-10 nm) ως ενεργό φωτοβολταϊκό στοιχείο (Nozik, 2002). Μελέτες που έχουν γίνει δείχνουν ότι μπορούν να φτάσουν αποδόσεις της τάξης του 60%. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά κβαντικής τελείας κατασκευάστηκαν από ομάδα ερευνητών του πανεπιστημίου του Queensland, με απόδοση 16% (Rojas et al., 2019).

5.4 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων στο λιμάνι του Πειραιά

Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πραγματοποιηθεί σε στέγες κτιρίων τα οποία βρίσκονται εντός του λιμανιού. Η λύση αυτή αποτελεί την καλύτερη δυνατή επιλογή καθώς οι διαθέσιμοι χώροι είτε διασχίζονται από δρόμους όπου διέρχονται οχήματα και επιβάτες είτε χρησιμοποιούνται για άλλες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο λιμάνι. Ακόμη, τα κτίρια αυτά διαθέτουν τις κατάλληλες υποδομές και είναι αρκετά μεγάλα σε έκταση έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν αρκετά φωτοβολταϊκά συστήματα.

5.4.1 Επιλογή κτιρίων για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

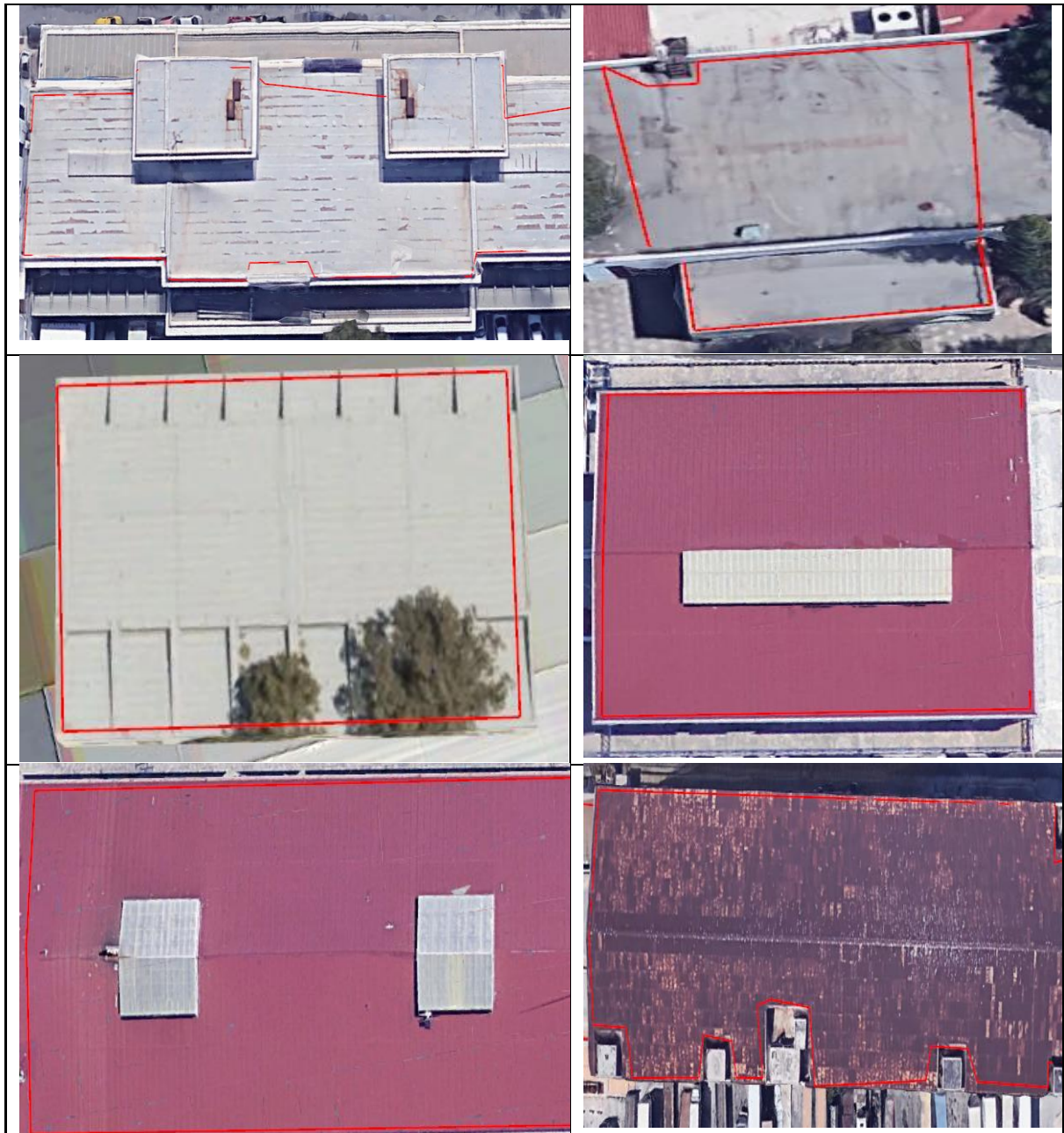
Για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων επιλέχθηκαν συνολικά 11 κτίρια. Τα κριτήρια με βάση τα οποία προτιμήθηκαν τα κτίρια αυτά είναι τα εξής:

- Οι στέγες των κτιρίων θα πρέπει να είναι επίπεδες
- Να υπάρχει σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο

Αρχικά, μέσω του προγράμματος Google Earth Pro πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του εμβαδού της εκμεταλλεύσιμης επιφάνειας της στέγης για κάθε

κτίριο ξεχωριστά. Τα κτίρια, τα οποία επιλέχθηκαν και η θέση τους στο λιμάνι του Πειραιά φαίνεται με κόκκινο περίγραμμα στην αριστερή εικόνα της πρώτης σειράς της Εικ. 37, είναι τα εξής: Επιβατικός Σταθμός Περικλέους, Α&Β Τελωνείο Πειραιά, Πέτρινη Αποθήκη, Μικρή Αποθήκη, Μεγάλη Αποθήκη, Επιβατικός Σταθμός Ηετίων, Γενική Διεύθυνση Τελωνείων, Επιβατικός Σταθμός Τζελέπη, Επιβατικός Σταθμός Εξωτερικού β, Κτίριο ΟΛΠ 1 και Κτίριο ΟΛΠ 2. Επίσης, στην Εικ. 37 φαίνονται οι στέγες των κτιρίων όπου προτείνεται να γίνει η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών, και φέρουν ένα κόκκινο περίγραμμα το οποίο ορίζει το εμβαδόν τους.





Εικ. 37: Οι στέγες των επιλεγμένων κτιρίων για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στο λιμάνι του Πειραιά (Google Earth Pro)

Στον Πίνακα 13 αναγράφεται για κάθε κτίριο το εκμεταλλεύσιμο εμβαδόν για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Πίνακας 13 : Εμβαδόν της στέγης κάθε κτιρίου

Κτίρια	Εμβαδόν (m ²)
Επιβατικός Σταθμός Περικλέους	898
A&B Τελωνείο Πειραιά	2.519
Πέτρινη Αποθήκη	3.366
Μικρή Αποθήκη	1.643
Μεγάλη Αποθήκη	2.661
Επιβατικός Σταθμός Ηετίων	1.196
Γενική Διεύθυνση Τελωνείων	1.212

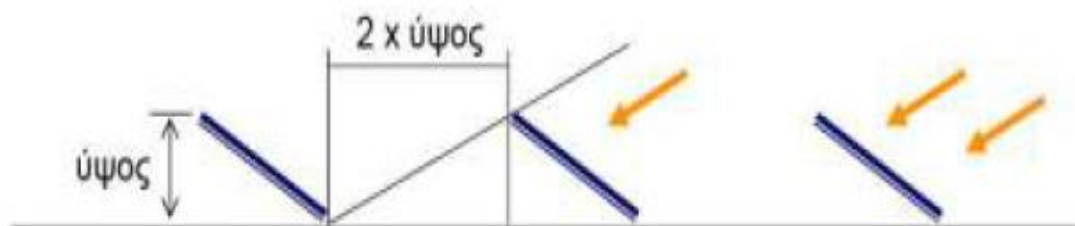
Επιβατικός Σταθμός Τζελέπη	360
Επιβατικός Σταθμός Εξωτερικού β	1.199
Κτίριο ΟΛΠ 1	1.932
Κτίριο ΟΛΠ 2	3.206

5.4.2 Κανόνες Χωροθέτησης των Φ/Β πλαισίων

Βασικό ζητούμενο αποτελεί η επίτευξη της μέγιστης δυνατής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η ένταση της ακτινοβολίας είναι αρκετά μεγαλύτερη το καλοκαίρι από το χειμώνα. Ωστόσο, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απολαβής πρέπει να κανείς να λάβει υπόψη και το γεγονός πως οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού επιδρούν αρνητικά στην παραγωγή ενέργειας.

Για την μέγιστη απολαβή ενέργειας τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό και με κλίση η οποία καθορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Μια χαρακτηριστική τιμή της κλίσης για τα ελληνικά δεδομένα είναι οι 30 μοίρες. Η απολαβή της ηλιακής ενέργειας μπορεί να αυξηθεί αναγκάζοντας τα φωτοβολταϊκά να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου από την ανατολή προς τη δύση με μεταβλητή κλίση έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψιν και θέση του ήλιου όταν βρίσκεται στον ορίζοντα. Σε κάθε περίπτωση, η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε νότιο προσανατολισμό και με κλίση 30 μοιρών αποτελεί κανόνα τοποθέτησης για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

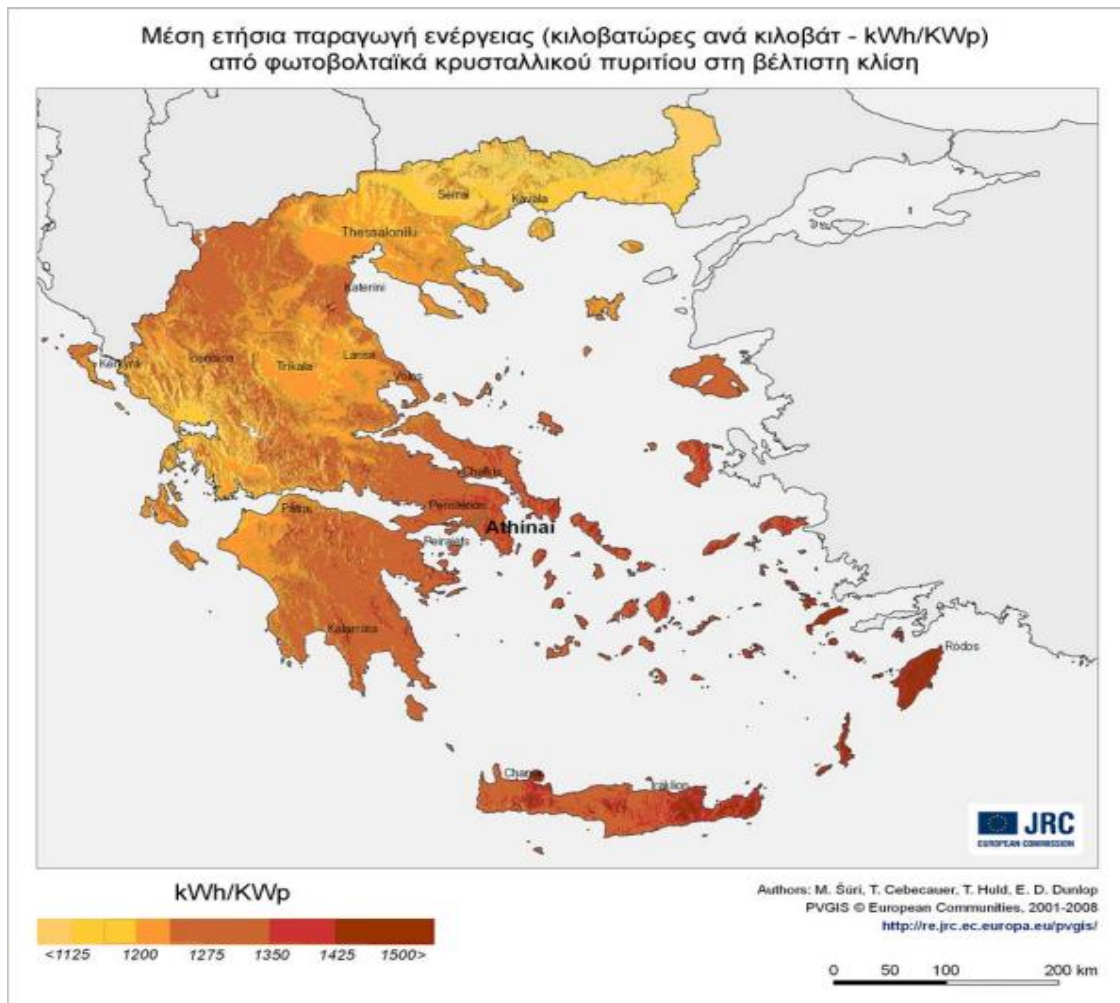
Όσον αφορά τη σκίαση, η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πρέπει να γίνεται σε χώρο όπου δεν υπάρχουν εμπόδια, φυσικά ή μη, τα οποία εμποδίζουν τη διέλευση του φωτός. Ένας πρακτικός κανόνας ο οποίος ακολουθείται κατά την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών είναι ο εξής: η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης (βλ. Εικ. 38).



Εικ. 38 : Χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων (ΤΕΕ/ΤΚΜ)

Επίσης, τα κλιματολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης επηρεάζουν την ενεργειακή απολαβή από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Είναι προφανές πως φωτοβολταϊκά πλαίσια με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά τοποθετημένα ακριβώς με την ίδια μέθοδο θα έχουν διαφορετική παραγωγή ενέργειας στη Βόρεια από ότι στη Νότια Ελλάδα όπου επικρατούν διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πάντοτε ότι η αναγραφόμενη ονομαστική ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου (W_p) αναφέρεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) οι οποίες διαφέρουν αρκετά από τις πραγματικά επικρατούσες συνθήκες.

Ο χάρτης της Εικ. 39 παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανά έτος και ανά εγκατεστημένο kWp για τα έτη 2004-2010. Πρόκειται για φωτοβολταϊκά πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου σε σταθερές βάσεις.



Εικ. 39 : Ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh/kWp) στην Ελλάδα, έτη υπολογισμού 2004-2010
(www.helapco.gr)

Ένα συχνό ζήτημα αποτελεί ο υπολογισμός της απόδοσης όταν υπάρχει απόκλιση μεταξύ των ιδανικών και πραγματικών συνθηκών προσανατολισμού και κλίσης. Κάτι τέτοιο εμφανίζεται συνήθως σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε κτίρια στα οποία οι επιφάνειες χωροθέτησης είναι προκαθορισμένης κλίσης και προσανατολισμού.

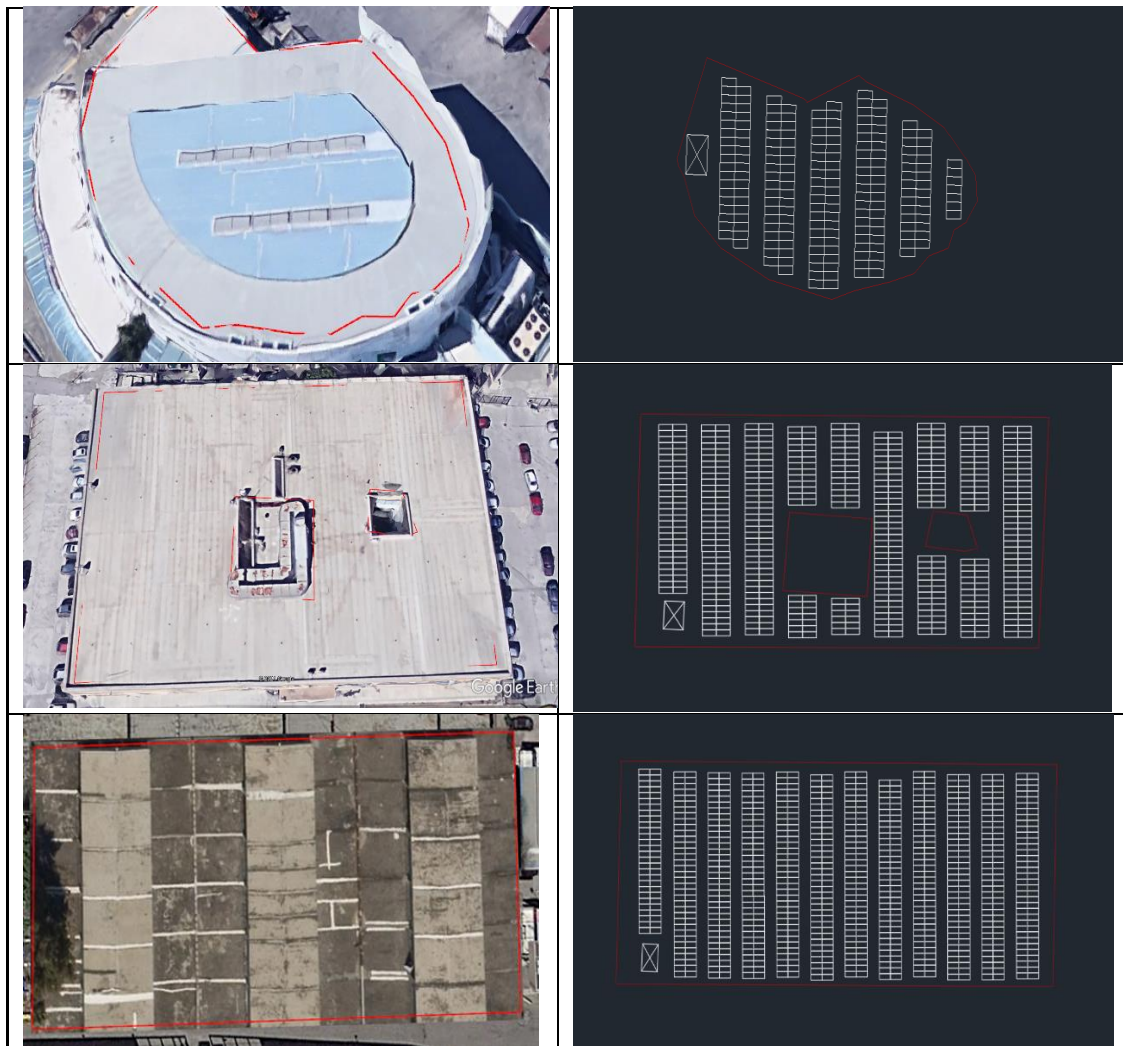
5.4.3 Εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

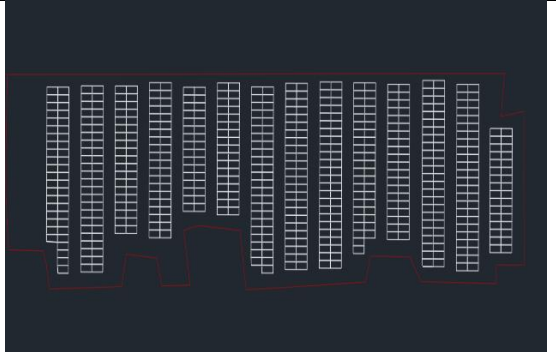
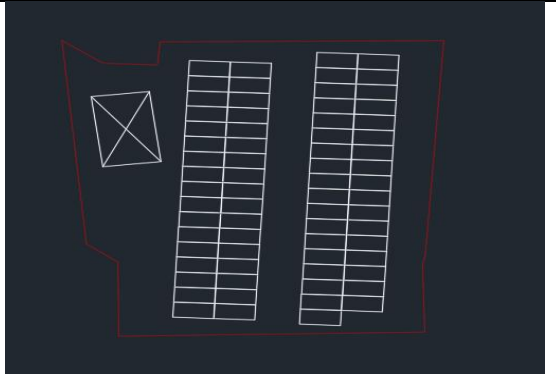
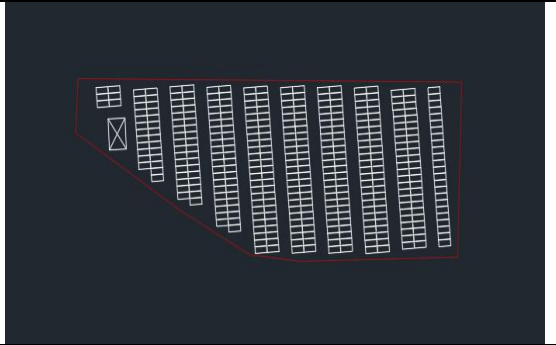
Η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με την εταιρία περιβαλλοντικών μελετών ARCVIRO. Με τη χρήση του προγράμματος AutoCad σχηματίστηκαν οι κατόψεις των κτιρίων όπου θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά. Ο τύπος του φωτοβολταϊκού πλαισίου που επιλέχθηκε για τις ανάγκες της εργασίας αυτής είναι της εταιρίας JA SOLAR και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καταγράφονται στον Πίνακα 14.

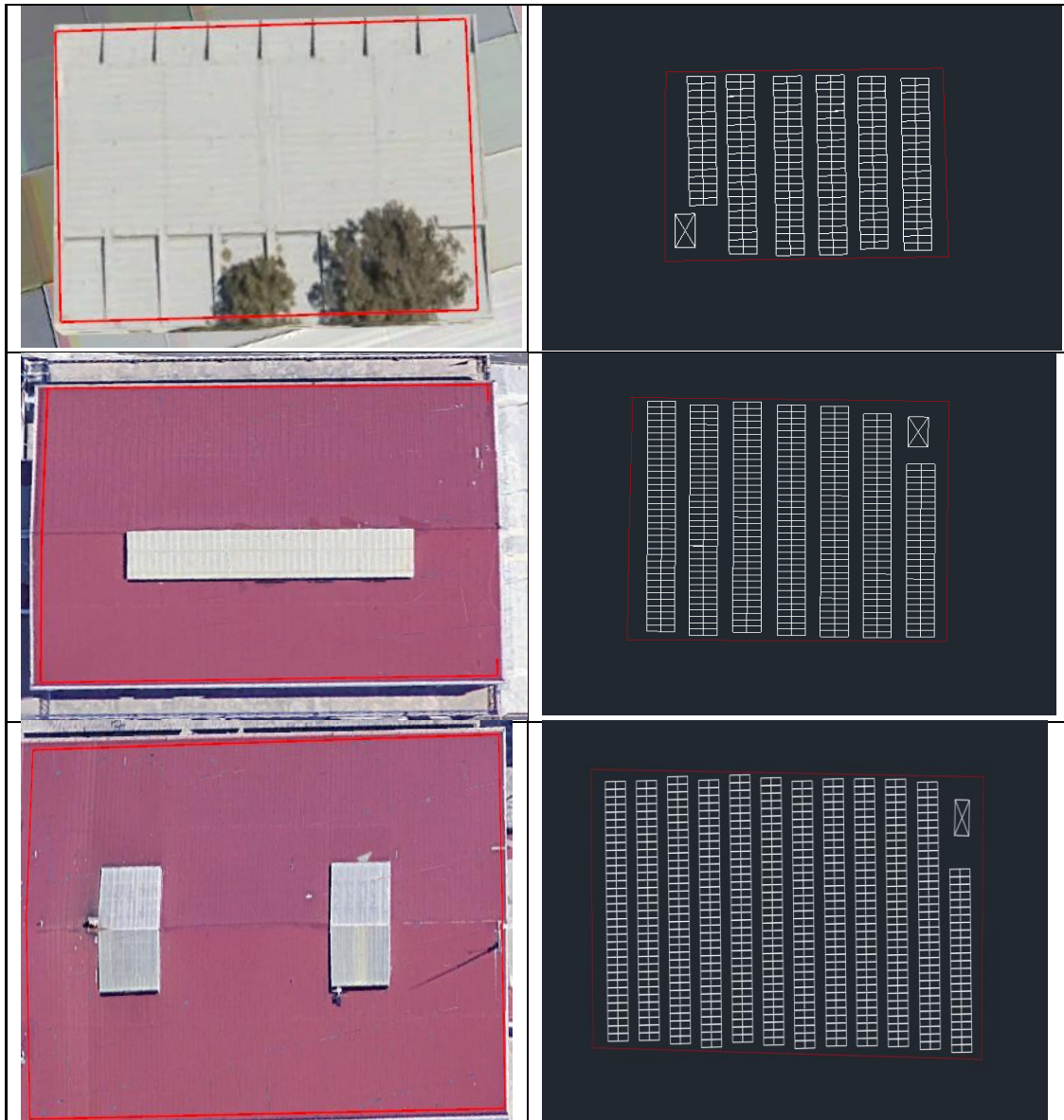
Πίνακας 14: Τεχνικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίου που επιλέχθηκε για την περίπτωση της μελέτης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στο λιμάνι του Πειραιά.

Όνομασία	JAM72D30 550/MB
Τύπος	Μονοκρυσταλλικό
Όνομαστική ισχύς	550W
Απόδοση	21.2
Διαστάσεις	2,2m x 1,1 m x 0,035m
Τάση (V_{mp})	41,96V
Ρεύμα (I_{mp})	13,11A

Στην Εικ. 40 παραθέτονται συγκριτικά οι φωτογραφίες των επιλεγμένων κτιρίων και οι κατόψεις τους με εγκατεστημένα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια με χρήση του προγράμματος AutoCad στις εκμεταλλεύσιμες επιφάνειές τους.







Εικ. 40: Οι στέγες των επιλεγμένων κτιρίων στο λιμάνι του Πειραιά (αριστερή στήλη) και οι κατόψεις τους με τα χωροθετημένα φωτοβολταϊκά (δεξιά στήλη).

Η εγκατεστημένη ισχύς για κάθε κτίριο υπολογίζεται ως το γινόμενο του συνόλου των πλαισίων επί την ονομαστική ισχύ τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15: Στοιχεία κτιρίων που επιλέχθηκαν στο λιμάνι του Πειραιά για την εγκατάσταση φ/β συστημάτων

Όνομα κτιρίου	Εμβαδόν επιφάνειας (m ²)	Σύνολο Φ/Β πλαισίων	Εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	Ποσοστό Απωλειών(%)
Επιβατικός σταθμός Περικλέους	898	223	122,65	15
A&B Τελωνείο Πειραιά	2302	524	288,2	15
Πέτρινη Αποθήκη	3366	802	441,1	15

Μικρή Αποθήκη	1643	387	212,85	15
Επιβατικός σταθμός Ηετίων	1012	286	157,3	15
Μεγάλη Αποθήκη	2661	627	344,85	15
Επιβατικός σταθμός ακτής Τζελέπη	360	67	36,85	15
Γενική Διεύθυνση Τελωνείων	1212	306	138,3	15
Επιβατικός σταθμός εξωτερικού β	1199	286	157,3	15
Κτίριο ΟΛΠ 1	1199	286	157,3	15
Κτίριο ΟΛΠ 2	3206	818	444,9	15

5.5 Παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στα επιλεγμένα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά

5.5.1 Υπολογιστικό πρόγραμμα PVGIS

Το PVGIS είναι ένα ελεύθερα διαθέσιμο υπολογιστικό πρόγραμμα για την εκτίμηση της παραγωγής ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Παρέχει την ετήσια ισχύ εξόδου και την ετήσια παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών πάνελ. Ως Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών χρησιμοποιεί την εφαρμογή Google Maps. Το εύρος περιοχών που καλύπτει είναι παγκόσμιο και περιλαμβάνει την Αμερική, Ευρώπη, Ασία και Αφρική.

Η εφαρμογή υπολογίζει τη μηνιαία και ετήσια πιθανή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [kWh] ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με καθορισμένες μονάδες

κλίσης και προσανατολισμού. Με την επιλογή GRID CONNECTED παρέχονται αποτελέσματα για ηλιακούς συλλέκτες με σταθερό προσανατολισμό. Με το μενού TRACKING PV, το PVGIS υπολογίζει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά τα οποία διαθέτουν συστήματα για την ιχνηλάτηση της θέσης του ήλιου.

Όλα τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μπορούν να εξαχθούν σε αρχείο pdf. Να σημειωθεί ότι το PVGIS χρησιμοποιείται από το JRC (Joint Research Center) και από τις εσωτερικές επιστημονικές υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (<https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>).

5.5.2 Αποτελέσματα

Η εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα έγινε με χρήση του προγράμματος PVGIS. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιείται σε περιβαλλοντικές μελέτες λόγω της υψηλής του ακρίβειας. Εισάγοντας στο πρόγραμμα τις τιμές της εγκατεστημένης ισχύος, της κλίσης στην οποία τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά και του αζιμουθίου λαμβάνουμε τα αποτελέσματα του Πίνακα 15, όπου παραθέτονται συγκεντρωτικά για κάθε ένα από τα επιλεγμένα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά οι τιμές της κλίσης φ/β, του αζιμουθίου, της εγκατεστημένης ισχύος φ/β και της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας.

Πίνακας 16: Η ετήσια ενέργεια που παράγεται από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά στη στέγη κάθε κτιρίου

Κτίριο	Κλίση φ/β	Αζιμούθιο	Εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)
Επιβατικός Σταθμός Περικλέους	30°	45°	122,65	181,715
A&B Τελωνείο Πειραιά	30°	45°	288,2	425,479
Πέτρινη Αποθήκη	30°	45°	441,1	651,515
Μικρή Αποθήκη	30°	45°	212,85	315,200
Επιβατικός Σταθμός Ηετίων	30°	45°	157,3	231,945
Μεγάλη Αποθήκη	30°	45°	344,85	508,211
Επιβατικός Σταθμός Ακτής Τζελέπη	30°	45°	36,85	54,662
Γενική Διεύθυνση Τελωνείων	30°	45°	138,3	248,196
Κτίριο ΟΛΠ 1	30°	45°	157,3	384,113
Κτίριο ΟΛΠ 2	30°	45°	157,3	695,836
Επιβατικός Σταθμός Εξωτερικού β	30°	45°	444,9	231,945
ΣΥΝΟΛΟ				3.928,817

Διαγράμματα με τα εκτιμώμενα ποσά ενέργειας που παράγονται κάθε μήνα για κάθε ένα από τα επιλεγμένα κτίρια με την προτεινόμενη εγκατάσταση φ/β μπορούν να βρεθούν στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

6 Κάλυψη ενεργειακών αναγκών cold ironing από φ/β σε επιλεγμένα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά - Συμπεράσματα

6.1 Ποσοστιαία κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους από την παραγόμενη ενέργεια των εγκατεστημένων φ/β στα κτίρια

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ του εκτιμώμενου ετήσιου ποσού ενέργειας που καταναλώνει καθένα από τα εξεταζόμενα επιβατηγά πλοία (βλ. Κεφ. 3, 4) όσο αυτά είναι ελλιμενισμένα και της παραγόμενης ενέργειας από την προτεινόμενη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στα επιλεγμένα κτίρια του λιμένα Πειραιά (βλ. Κεφ. 5). Με τη σύγκριση αυτή θα γίνει εκτίμηση του ποσοστού ενέργειας που μπορεί να καλυφθεί για κάθε πλοίο (ενεργειακές ανάγκες λειτουργίας ηλεκτρομηχανών πλοίου κατά τον ελλιμενισμό) με τη χρήση των φωτοβολταϊκών μέσω της διαδικασίας του cold ironing.

Η **συνολική ετήσια εκτιμώμενη ενέργεια** που παράγεται από τα **φωτοβολταϊκά** που προτείνεται να εγκατασταθούν στα επιλεγμένα κτίρια του λιμένα Πειραιά είναι περίπου **3.928 MWh**, όπως υπολογίστηκε στην Ενότητα 5.5. Το ετήσιο ποσό ενέργειας που καταναλώνεται από καθένα από τα εξεταζόμενα επιβατηγά πλοία κατά τον ελλιμενισμό του στο λιμάνι του Πειραιά εκτιμήθηκε στην Ενότητα 4.2. Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και συγκριτικά η ισχύς των βοηθητικών μηχανών, το ετήσιο ποσό ενέργειας που καταναλώνεται από καθένα από τα εξεταζόμενα πλοία κατά τον ελλιμενισμό του στο λιμάνι του Πειραιά και η ποσοστιαία κάλυψη του ποσού αυτού από την παραγόμενη ενέργεια από τα φ/β που προτείνονται να εγκατασταθούν στα επιλεγμένα κτίρια του λιμανιού.

Η ποσοστιαία κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των πλοίων από την παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδέεται άμεσα με την ισχύ των ηλεκτρομηχανών κάθε πλοίου και με τις ώρες ελλιμενισμού.

Με βάση τον Πίνακα 16, τα εξεταζόμενα επιβατηγά πλοία έχουν κατηγοριοποιηθεί σε κλάσεις ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών κατά τον ελλιμενισμό τους στον Πίνακα 17. Από τον πίνακα αυτόν προκύπτουν οι ακόλουθες εκτιμήσεις:

Το 1/3 των εξεταζόμενων επιβατηγών πλοίων καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τον ελλιμενισμό σε ετήσια βάση κατά 21-30% από την προτεινόμενη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε επιλεγμένα κτίρια του λιμένα Πειραιά, ενώ περίπου άλλο 1/3 καλύπτει τις ανάγκες αυτές κατά 41-60%.

Ένα μόνο επιβατηγό πλοίο καλύπτει πλήρως τις ετήσιες ενεργειακές του ανάγκες κατά τον ελλιμενισμό. Στο πλοίο αυτό (Prevelis), η σχετικά χαμηλή ισχύς των ηλεκτρομηχανών σε συνδυασμό με τις λίγες ώρες ελλιμενισμού παρέχει τη δυνατότητα στα φωτοβολταϊκά συστήματα να υπερκαλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου στο αγκυροβόλιο σχεδόν μιάμιση φορά.

Εκτός από το Prevelis, μόνο το Blue Star Diagoras καλύπτει πολύ μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών κατά τον ελλιμενισμό από την προτεινόμενη λύση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών (79%).

Τέσσερα από τα εξεταζόμενα πλοία (Faistos Palace, Knossos Palace, Olympic Champion και Superfast XII) πραγματοποιούν δρομολόγια στην ακτοπλοΐα και ανήκουν στην κατηγορία των επιβατηγών, διαθέτουν όμως ηλεκτρομηχανές με ισχύ αντίστοιχη αυτής των ηλεκτρομηχανών ενός κρουαζιερόπλοιου. Για κρουαζιερόπλοια μήκους μικρότερου των 200 μέτρων η μέση τιμή της ισχύος των ηλεκτρομηχανών τους είναι οι 9500 kW ενώ για κρουαζιερόπλοια μήκους μεγαλύτερου των 200 μέτρων η μέση τιμή της ισχύος είναι οι 11500 kW (AAPA, 2007). Ο συνδυασμός αυτής της μεγάλης ισχύος με τις ώρες ελλιμενισμού των συγκεκριμένων πλοίων έχει ως αποτέλεσμα το μικρότερο ποσοστό ενεργειακής κάλυψης.

Πίνακας 17 : Ποσοστιαία κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κάθε εξεταζόμενου επιβατηγού πλοίου κατά τον ελλιμενισμό του στο λιμάνι του Πειραιά από την παραγόμενη ενέργεια από τα φ/β που προτείνονται να εγκατασταθούν στα επιλεγμένα κτίρια.

Όνομα Πλοίου	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (MWh)	Ποσοστό ενεργειακής κάλυψης (%)
BlueStar 1	5080	25.358	15
Blue Star 2	5080	15.899	24
Blue Star Delos	4500	28.743	13
Blue Star Paros	3240	14.993	26
Blue Star Chios	4973	13.405	29
Blue Star Naxos	3240	20.901	18
Blue Star Mykonos	4973	6.669	58
Faistos Palace	11000	59.546	6
Blue Star Diagoras	1767	4.964	79
Knossos Palace	11000	59.546	6
High Speed 4	1120	7.856	50
High Speed 5	1162	8.459	46
High Speed 6	1150	8.732	44
Prevelis	1500	2.634	149
Venizelos	2950	15.128	25
Olympic Champion	10500	56.043	7
Speed Runner 4	1099	7.500	52
Elyros	4111	17.130	22
Adamantios Korais	924	6.702	58
Kornaros	1908	14.109	27
Superfast XII	10200	42.642	9

Τέλος, να σημειώσουμε ότι η επιλογή του χρονικού διαστήματος αναφοράς των 8 ημερών κατά τη θερινή περίοδο (έτος 2015) για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνουν οι ηλεκτρομηχανές των εξεταζόμενων πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους και η παραδοχή ότι η ετήσια κατανάλωσή τους είναι ομοιόμορφη με βάση το διάστημα αυτό, οδηγεί πιθανόν σε υπερεκτίμηση του συνολικού ποσού της ενέργειας (βλ. σχετικό σχόλιο στην Ενότητα 4.2). Συνεπώς, μπορούμε να θεωρήσουμε τα ποσοστά του Πίνακα 16 ως ελάχιστα ποσοστά κάλυψης.

Πίνακας 18: Κατηγορίες ποσοστιαίας ενεργειακής κάλυψης αναγκών ελλιμενισμού από την προτεινόμενη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στο λιμάνι του Πειραιά και εξεταζόμενα επιβατηγά πλοία.

Ποσοστιαία ενεργειακή κάλυψη (%)	Εξεταζόμενα επιβατηγά πλοία
0-10	Faistos Palace, Knossos Palace, Olympic Champion, Superfast XII
11-20	Blue Star Delos, Blue Star 1, Blue Star Naxos
21-30	Elyros, Blue Star 2, Venizelos, Blue Star Paros, Kornaros, Blue Star Chios
31-40	
41-50	High Speed 6, High Speed 5, High Speed 4
51-60	Speed Runner 4, Adamantios Korais, Blue Star Mykonos
61-70	
71-80	Blue Star Diagoras
81-90	
91-100	
> 100	Prevelis

6.2 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Η συνεχής (και αυξανόμενη) κυκλοφορία των πλοίων ως μέσων μεταφοράς των εμπορευμάτων παγκοσμίως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ενεργειακών αναγκών τους, είτε όσο είναι εν πλω είτε όσο είναι ελλιμενισμένα. Συνέπεια της αύξησης των ενεργειακών απαιτήσεων του πλοίου είναι και η εκπομπή περισσότερων ρύπων. Τα ρυπογόνα αέρια των πλοίων δεν αποτελούν απειλή μόνο για το περιβάλλον αλλά και για την ανθρώπινη υγεία.

Κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού, τα πλοία συνεχίζουν να καταναλώνουν καύσιμο για τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών. Συνεπακόλουθα, εκπέμπονται επιβλαβείς ρύποι και το πρόβλημα εντείνεται στα μεγαλύτερα λιμάνια που βρίσκονται συνήθως πολύ κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα. Για το λόγο αυτό αναμένεται πως τα επόμενα χρόνια θα υπάρξει ανάπτυξη στη χρήση των ΑΠΕ για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης ή ένα ποσοστό αυτής στον τομέα της ναυτιλίας (Zis ,2019).

Η συνεισφορά της εργασίας αυτής στο ανωτέρω πρόβλημα είναι η παρουσίαση μίας μελέτης περίπτωσης (case study) για την εκτίμηση του βαθμού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών συγκεκριμένων επιβατηγών πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους στο λιμάνι του Πειραιά μέσω της διαδικασίας του cold ironing από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και συγκεκριμένα, την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε διαθέσιμα επιλεγμένα κτίρια που βρίσκονται μέσα στο χώρο του λιμανιού. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάστηκαν επίσης συνοπτικές γενικές πληροφορίες και στοιχεία για το πρόβλημα της ρύπανσης στα λιμάνια, τη διαδικασία του cold ironing, την κίνηση των πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Συμπερασματικά, ο βαθμός κάλυψης των προαναφερόμενων ενεργειακών αναγκών εξαρτάται άμεσα από την ισχύ των ηλεκτρομηχανών κάθε πλοίου και τις ώρες ελλιμενισμού του. Όσο μεγαλύτερη η ισχύς των ηλεκτρομηχανών και περισσότερες οι ώρες του ελλιμενισμού τόσο μικρότερο θα είναι και το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των πλοίων από τα φωτοβολταϊκά. Η εφαρμογή της τεχνολογίας του cold ironing με τη χρήση των φωτοβολταϊκών θα είναι πιο αποδοτική σε πλοία της ακτογραμμής που διαθέτουν ηλεκτρομηχανές μικρότερης ισχύος (βλ. Πλοία της εταιρίας Blue Star) συγκριτικά με πλοία που διαθέτουν ηλεκτρομηχανές με ισχύ παρόμοια με αυτή των κρουαζιερόπλοιων.

Η εργασία αυτή θα μπορούσε να εξελιχθεί περαιτέρω ως ακολούθως:

- Να ληφθούν πρόσφατα στοιχεία για τις ώρες ελλιμενισμού των εξεταζόμενων πλοίων για ένα ολόκληρο έτος και να γίνει σύγκριση των νέων αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής.
- Να μελετηθεί με λεπτομέρεια η σχέση που συνδέει την ισχύ των ηλεκτρομηχανών των πλοίων, τις ώρες ελλιμενισμού με τους αντίστοιχους συντελεστές φόρτισης και τα ποσοστά κάλυψης των ενεργειακών αναγκών κατά τον ελλιμενισμό τους.
- Να μελετηθούν άλλες κατηγορίες πλοίων εκτός των επιβατηγών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο Παράρτημα αυτό παραθέτονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν στο Κεφάλαιο 4, Ενότητα 4.1. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν την ποσοτικοποίηση των ρύπων που εκπέμπονται από τις ηλεκτρομηχανές όλων των υπό εξέταση πλοίων εκτός του Blue Star 1.

BlueStar 2

Πίνακας 12Α.2: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star 2.

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	5080
Χρονική Περίοδος(h)	28	6	

Πίνακας 12Β.2: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Star 2.

Εκπομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	11.948	8.961	20.909	49.783
NO _x	13,9	395.427	296.570	691.997	49.783
PM ₁₀	0,18	5.120	3.840	8.960	49.777
PM _{2,5}	0,17	4.836	3.627	8.463	49.782
CO	1,10	31.292	23.469	54.761	49.782
CO ₂	690,71	19.629.120	14.721.840	34.350.960	49.784
HC	0,40	11.379	8.534	19.913	49.782
Σύνολο					348.473

Blue Star Delos

Πίνακας 12A.3: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star Delos

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	4500
Χρονική Περίοδος(h)	44	16	

Πίνακας 12B.3: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Star Delos

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	16.632	21.168	37.800	90.000
NO _x	13,9	550.440	700.560	1.251.000	90.000
PM ₁₀	0,18	7.128	9.072	16.200	90.000
PM _{2,5}	0,17	6.732	8.568	15.300	90.000
CO	1,10	43.560	55.440	99.000	90.000
CO ₂	690,71	27.324.000	34.776.000	62.100.000	90.000
HC	0,40	15.840	20.160	36.000	90.000
Σύνολο					630.000

Blue Star Paros

Πίνακας 12A.4: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star Paros

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	3240
Χρονική Περίοδος(h)	0	20,7	

Πίνακας 12B.4: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Star Paros

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	0	19.717	19.717	46.945
NO _x	13,9	0	652.571	652.571	46.947
PM ₁₀	0,18	0	8.450	8.450	46.944
PM _{2,5}	0,17	0	7.981	7.981	46.947
CO	1,10	0	51.642	51.642	46.947
CO ₂	690,71	0	32.393.844	32.393.844	46.947
HC	0,40	0	18.779	18.779	46.947
Σύνολο					328.629

Blue Star Naxos

Πίνακας 12Α.5: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star Naxos

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	3240
Χρονική Περίοδος(h)	45	16	

Πίνακας 12Β.5: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Star Naxos

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	12.247	15.240	27.487	65.445
NO _x	13,9	405.324	504.403	909.727	65.447
PM ₁₀	0,18	5.248	6.531	11.779	65.438
PM _{2,5}	0,17	4.957	6.168	11.125	65.441
CO	1,10	32.074	39.916	71.990	65.445
CO ₂	690,71	20.120.400	25.038.720	45.159.120	65.448
HC	0,40	11.664	14.515	26.179	65.447
Σύνολο					458.1157

Blue Star Chios

Πίνακας 12Α.6: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star Chios

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	4973
Χρονική Περίοδος(h)	19	6	

Πίνακας 12Β.6: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Star Chios

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	7.936	8.772	16.708	39.780
NO _x	13,9	262.673	504.403	767076	55.18
PM ₁₀	0,18	3.401	3.759	7160	39.777
PM _{2,5}	0,17	3.212	3.550	6.762	39.776
CO	1,10	20.787	22.975	43.762	39.78
CO ₂	690,71	13.039.206	14.411.754	27.450.960	39.743
HC	0,40	7.558	8.354	15.912	39.780
Σύνολο					293.827

Blue Star Diagoras

Πίνακας 12Α.7: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star Diagoras

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Σύντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	1767
Χρονική Περίοδος(h)	16	8	

Πίνακας 12Β.7: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Star Diagoras

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών (gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	2.374	4.155	6.529	15.545
NO _x	13,9	78.596	137.543	216.139	15.549
PM ₁₀	0,18	1.017	1.781	2.798	15.544
PM _{2,5}	0,17	961,24	1.682	2.643	15.547
CO	1,10	6.219	10.884	17.103	15.548
CO ₂	690,71	3.901.563	6.827.688	10.729.251	15.549
HC	0,40	2.261	3.958	6.219	15.547
Σύνολο					108.815

Blue Star Mykonos

Πίνακας 12Α.8: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Blue Star Mykonos

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Σύντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	4973
Χρονική Περίοδος(h)	0	6	

Πίνακας 12Β.8: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Blue Mykonos

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	0	8.772	8.772	20.88
NO _x	13,9	0	290.323	290.323	20.886
PM ₁₀	0,18	0	3.759	3.759	20.883
PM _{2,5}	0,17	0	3.550	3.550	20.882
CO	1,10	0	22.975	22.975	20.886
CO ₂	690,71	0	14.411.754	14.411.754	20.86
HC	0,40	0	8.354	8.354	20.885
Σύνολο					146.174

Faistos Palace

Πίνακας 12A.9: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Faistos Palace

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	11000
Χρονική Περίοδος(h)	55,5	8	

Πίνακας 12B.9: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Faistos Palace

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης /Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	51.282	25.872	77.154	183.700
NO _x	13,9	1.697.190	856.240	2.823.430	203.124
PM ₁₀	0,18	21.978	11.088	33.066	183.700
PM _{2,5}	0,17	20.757	10.472	31.229	183.700
CO	1,10	134.310	67.760	202.070	183.700
CO ₂	690,71	84.249.000	42.504.000	126.753.000	183.511
HC	0,40	48.840	24.640	73.480	183.700
Σύνολο					1.305.135

Knossos Palace

Πίνακας 12A.10: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Knossos Palace

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	11000
Χρονική Περίοδος(h)	55,5	8	

Πίνακας 12B.10: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Knossos Palace

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	51.282	25.872	77.154	183.700
NO _x	13,9	1.697.190	856.240	2.823.430	203.12
PM ₁₀	0,18	21.978	11.088	33.066	183.700
PM _{2,5}	0,17	20.757	10.472	31.229	183.700
CO	1,10	134.310	67.760	202.070	183.700
CO ₂	690,71	84.249.000	42.504.000	126.753.000	183.511
HC	0,40	48.840	24.640	73.480	183.700
Σύνολο					1.305.135

High Speed 4

Πίνακας 12A.11: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το High Speed 4

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Σύντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	1120
Χρονική Περίοδος(h)	54	16	

Πίνακας 12AB11: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο High Speed 4

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστές Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	5.080	5268	10.348	24.638
NO _x	13,9	168.134	174.361	342.495	24.639
PM ₁₀	0,18	2.177	2.257	4.434	24.633
PM _{2,5}	0,17	2.056	2.132	4.188	24.635
CO	1,10	13.050	13.798	26.848	24.407
CO ₂	690,71	8.346.240	8.655.360	17.001.600	24.614
HC	0,40	4.838	5.017	9.855	24.637,5
Σύνολο					172.206

High Speed 5

Πίνακας 12A.12: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το High Speed 5

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Σύντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	1162
Χρονική Περίοδος(h)	58	16	

Πίνακας 12B.12: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο High Speed 5

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστές Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης /Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	5.661	5.466	11.127	26.492
NO _x	13,9	187.360	180.900	368.260	26.493
PM ₁₀	0,18	2.426	2.342	4.768	26.488
PM _{2,5}	0,17	2.291	2.212	4.503	26.488
CO	1,10	14.827	14.315	29.142	26.492
CO ₂	690,71	9.300.648	8.979.936	18.280.584	26.46
HC	0,40	5.391	5.205	10.596	26.490
Σύνολο					185.412,6003

High Speed 6

Πίνακας 12A.13: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το High Speed 6

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	1150
Χρονική Περίοδος(h)	62,9	16	

Πίνακας 12B.13: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο High Speed 6

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστές Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	6.076	5.409	11.485	27.345
NO _x	13,9	201.091	179.032	380.123	27.346
PM ₁₀	0,18	2.604	2.318	4.922	27.34
PM _{2,5}	0,17	2.459	2.189	4.648	27.341
CO	1,10	15.913	14.168	30.081	27.346
CO ₂	690,71	9.982.230	8.887.200	18.869.430	27.318
HC	0,40	5.786	5.152	10.938	27.345
Σύνολο					191.395

Prevelis

Πίνακας 12A.14: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Prevelis

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	1500
Χρονική Περίοδος(h)	13,5	4	

Πίνακας 12B.14: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Prevelis

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστές Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	1.701	1.764	3.465	8.250
NO _x	13,9	56.295	58.380	114.675	8.250
PM ₁₀	0,18	729	756	1.485	8.250
PM _{2,5}	0,17	688,5	714	1.402	8.247
CO	1,10	4.455	4.620	9.075	8.250
CO ₂	690,71	2.794.500	2.898.000	5.692.500	8.241
HC	0,40	1.620	1.680	3.300	8.250
Σύνολο					57.738

Venizelos

Πίνακας 12A.15: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Venizelos

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	2950
Χρονική Περίοδος(h)	52,3	8	

Πίνακας 12B.15: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Venizelos

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστές Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	12.959	6.938	19.897	47.374
NO _x	13,9	428.912	229.628	658.540	47.377
PM ₁₀	0,18	5.554	2.973	8.527	47.372
PM _{2,5}	0,17	5.245	2.808	8.053	47.371
CO	1,10	33.942	18.172	52.114	47.376
CO ₂	690,71	21.291.330	11.398.800	32.690.130	47.328
HC	0,40	12.342	6.608	18.950	47.375
Σύνολο					331.573

Olympic Champion

Πίνακας 12A.16: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Olympic Champion

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	10500
Χρονική Περίοδος(h)	55,5	8	

Πίνακας 12B.16: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Olympic Champion

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστές Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	48.951	24.696	73.647	175.350
NO _x	13,9	1.620.045	817.320	2.437.365	175.350
PM ₁₀	0,18	20.979	10.584	31.833	176.850
PM _{2,5}	0,17	19.813	9.996	29.809	175.347
CO	1,10	128.205	64.680	192.885	175.350
CO ₂	690,71	80.129.700	40.572.000	120.701.700	174.750
HC	0,40	46.620	23.520	70.140	175.350
Σύνολο					1.228.347

Speed Runner 4

Πίνακας 12A.17: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Speed Runner 4

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	1099
Χρονική Περίοδος(h)	50	16	

Πίνακας 12B.17: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Olympic Champion

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	4.615	5.169	9.784	23.295
NO _x	13,9	152.761	171.092	323.853	23.299
PM ₁₀	0,18	1.978	2.215	4.193	23.294
PM _{2,5}	0,17	1.868	2.092	3.960	23.294
CO	1,10	12.089	13.539	25.628	23.298
CO ₂	690,71	7.583.100	8.493.072	16.076.172	23.275
HC	0,40	4.396	4.923	9.859	24.648
Σύνολο					164.403

Elyros

Πίνακας 12A.18: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Elyros

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	4111
Χρονική Περίοδος(h)	48,1	8	

Πίνακας 12B.18: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Elyros

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	16.610	9.669	26.279	62.569
NO _x	13,9	549.714	320.000	869.714	62.569
PM ₁₀	0,18	7.118	4.143	11.261	62.561
PM _{2,5}	0,17	6.723	3.913	10.636	62.565
CO	1,10	43.502	25.323	68.825	62.568
CO ₂	690,71	27.287	15.884	43.171	63.000
HC	0,40	15.819	9.208	25.027	62.568
Σύνολο					375.462

Adamantios Korais

Πίνακας 12A.19: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Adamantios Korais

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	924
Χρονική Περίοδος(h)	57,6	16	

Πίνακας 12B.19: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Adamantios Korais

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	4.470	4.346	8.816	20.990
NO _x	13,9	147.958	143.848	291.806	20.993
PM ₁₀	0,18	1.916	1.862	3.778	20.989
PM _{2,5}	0,17	1.809	1.759	3.568	20.988
CO	1,10	11.708	11.383	23.091	20.992
CO ₂	690,71	7.344.691	7.140.672	14.485.363	20.972
HC	0,40	4.257	4.139	8.396	20.990
Σύνολο					146.914

Kornaros

Πίνακας 12A.20: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Kornaros

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	1908
Χρονική Περίοδος(h)	26,2	6	

Πίνακας 12B.20: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Kornaros

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστής Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφιξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	4.199	3.365	7.564	7.564
NO _x	13,9	138.971	111.389	250.360	250.360
PM ₁₀	0,18	1.799	1.442	3.241	3.241
PM _{2,5}	0,17	1.699	1.362	3.061	3.061
CO	1,10	10.997	8.814	19.811	19.811
CO ₂	690,71	6.898.564	5.529.384	12.427.948	18.011
HC	0,40	3.999	3.205	7.204	7.204
Σύνολο					309.252

Superfast XII

Πίνακας 12Α.21: Χρόνος ελλιμενισμού, συντελεστής φόρτισης ηλεκτρομηχανών και ισχύς βοηθητικών μηχανών για το Superfast XII

	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών (kW)
Συντελεστής Φόρτισης Ηλεκτρομηχανών	0,2	0,7	10200
Χρονική Περίοδος(h)	40,9	8	

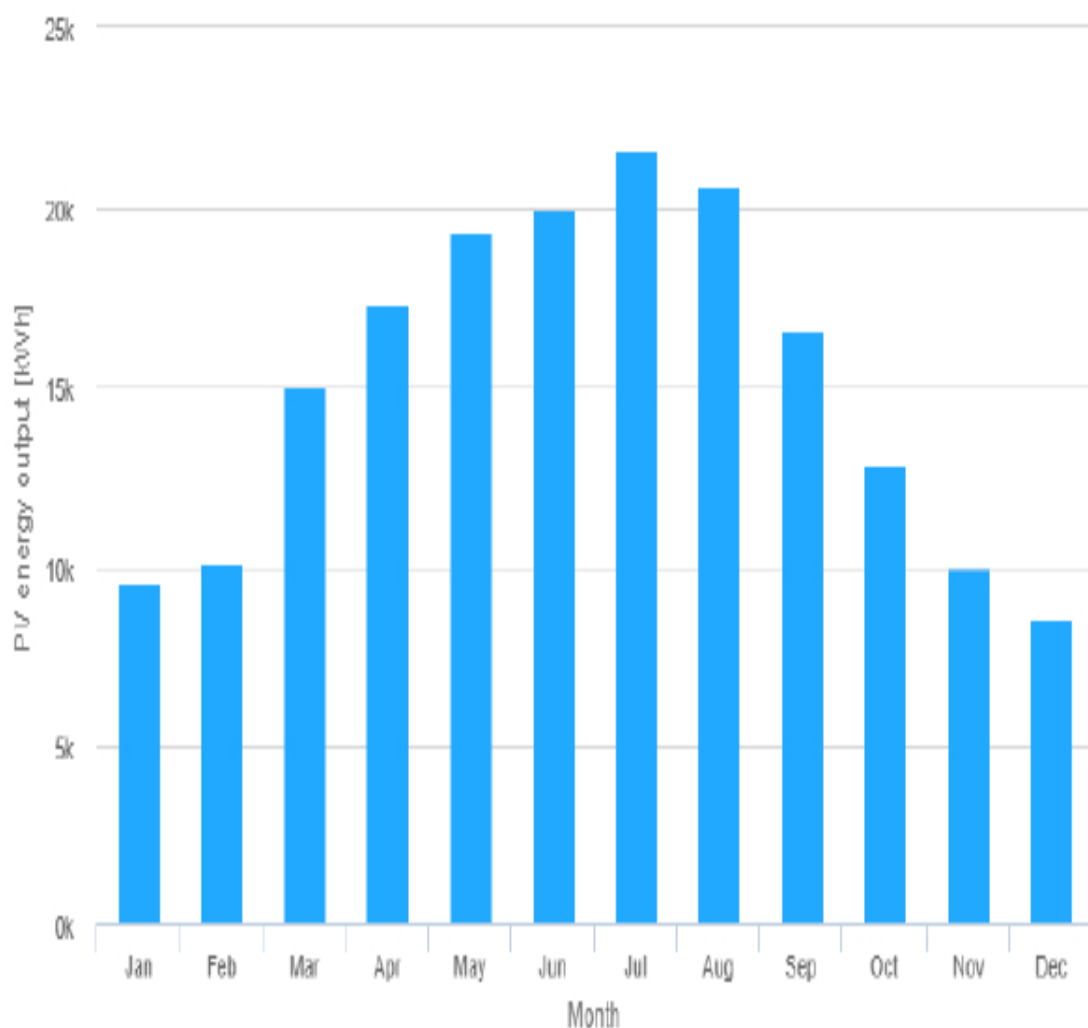
Πίνακας 12Β.21: Το σύνολο των εκπομπών για κάθε ρύπο σε γραμμάρια και η ενέργεια που καταναλώθηκε από τις ηλεκτρομηχανές για την εκπομπή τους σε kWh για το πλοίο Superfast XII

Εκομπές Ηλεκτρομηχανών(gr)	Συντελεστές Εκπομπών για MGO 0,1%	Διανυκτέρευση	Προετοιμασία Αναχώρησης/Αφίξης	Σύνολο	Κατανάλωση Ενέργειας(kWh)
SO _x	0,42	35.043	23.990	59.033	140.554
NO _x	13,9	1.159.760	793.968	1.953.728	140.555
PM ₁₀	0,18	15.018	10.281	25.299	140.550
PM _{2,5}	0,17	14.184	9.710	23.894	140.552
CO	1,10	91.779	62.832	154.611	140.555
CO ₂	690,71	57.570.840	39.412.800	96.983.640	140.411
HC	0,40	33.374	3.205	36.579	91.447
Σύνολο					934.628

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

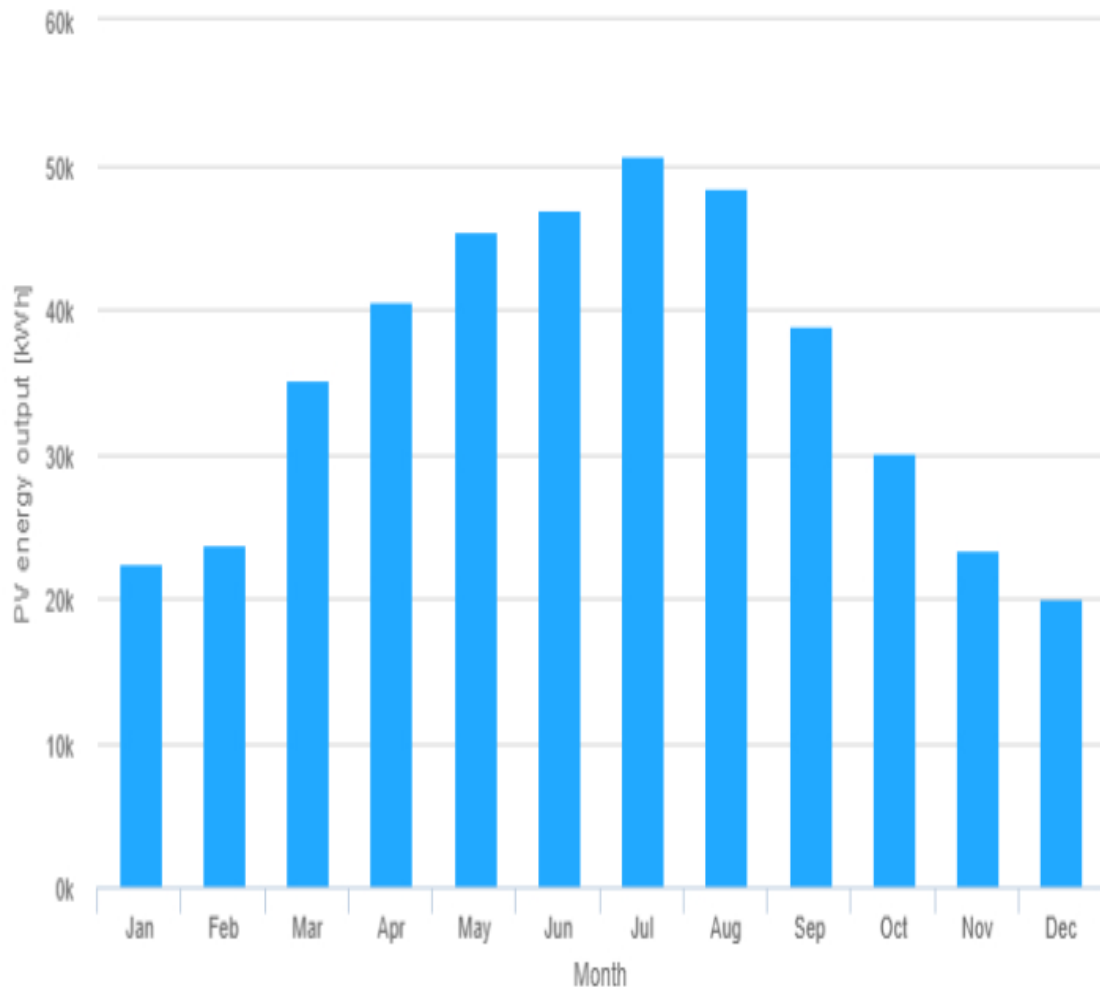
Στο Παράρτημα αυτό παρουσιάζονται διαγράμματα με τα εκτιμώμενα ποσά ενέργειας που παράγονται κάθε μήνα για κάθε ένα από τα επιλεγμένα κτίρια στο λιμάνι του Πειραιά που προτείνεται να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά συστήματα.

Στην Εικ. 41.1 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Επιβατικός σταθμός Περικλέους (122,65 kWp).



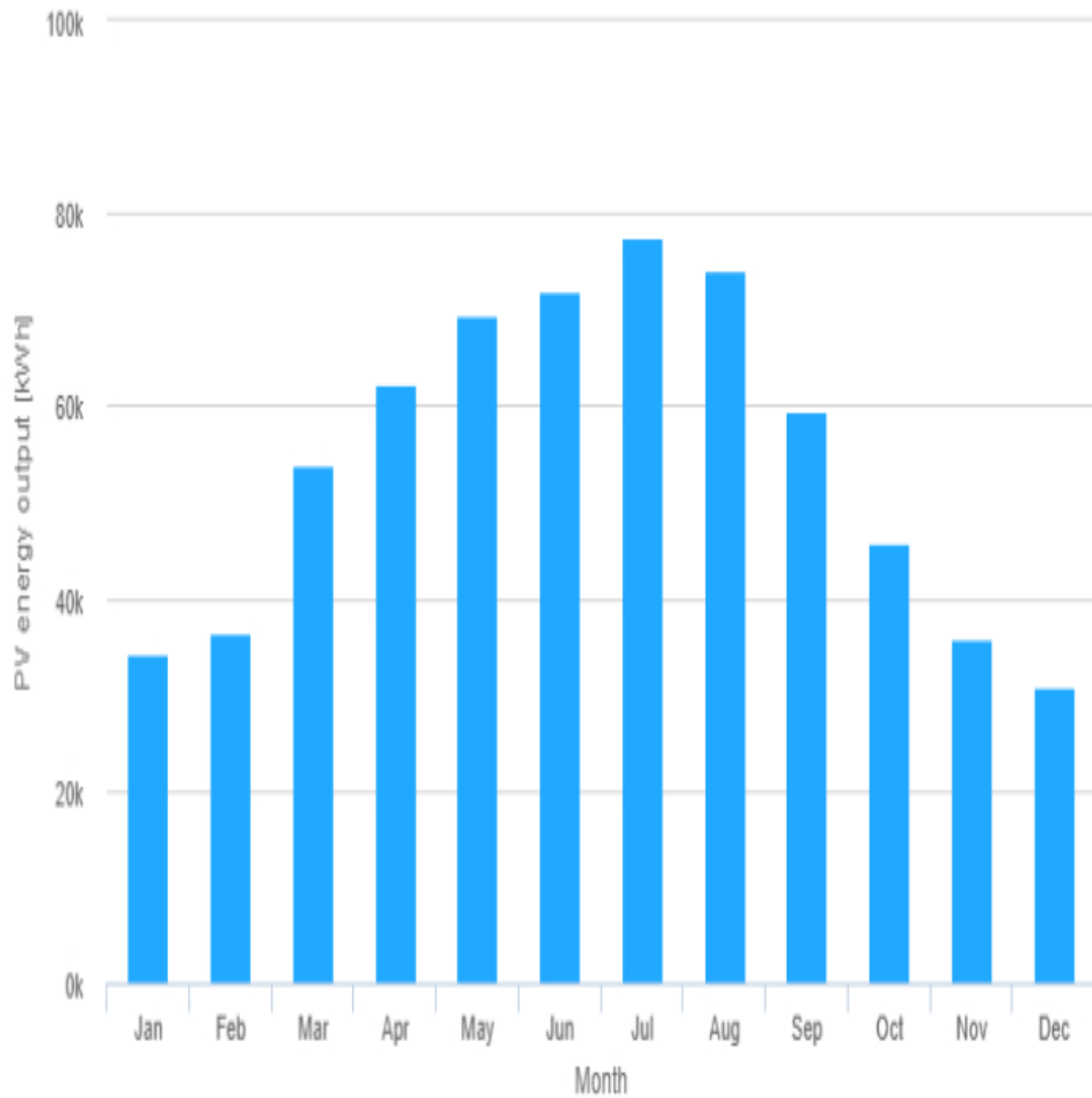
Εικ. 41.1 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Επιβατικός σταθμός Περικλέους(122,65 kWp)

Στην Εικ. 41.2 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο A&B Τελωνείο Πειραιά (288,2 kWp).



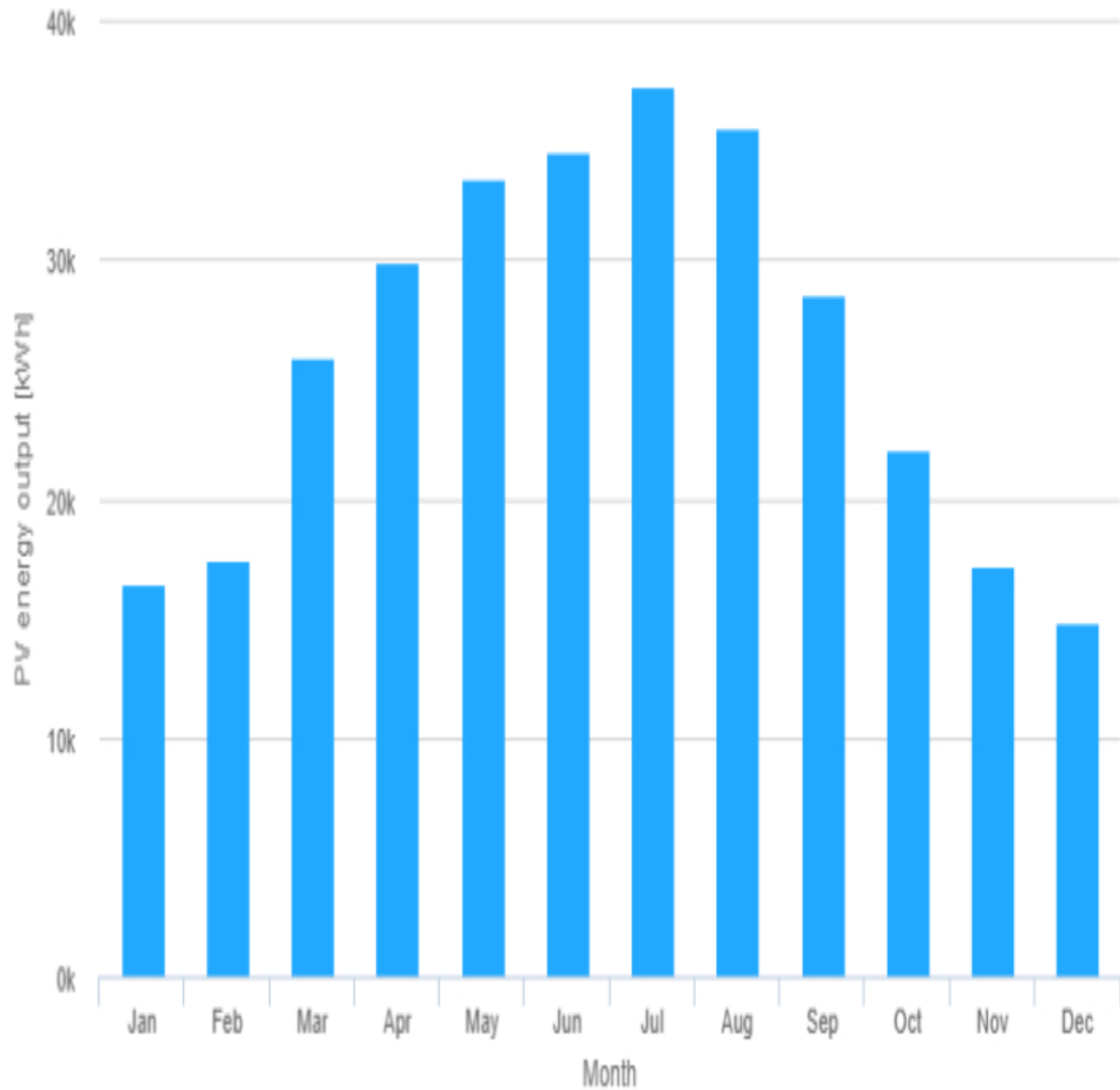
Εικ. 41.2 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο A&B Τελωνείο Πειραιά(288,2 kWp)

Στην Εικ. 41.3 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Πέτρινη Αποθήκη (441,1 kWp).



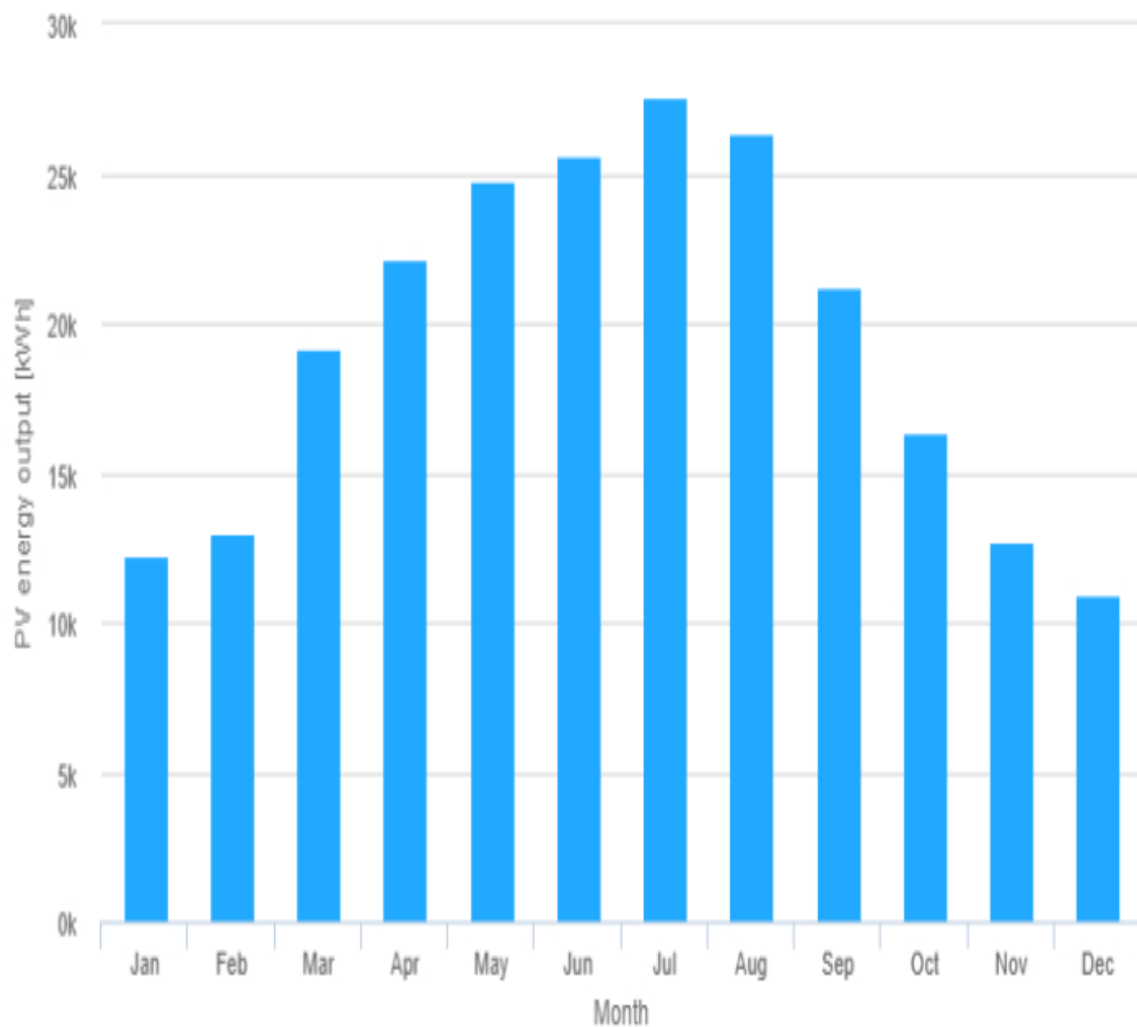
Εικ. 41.3 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Πέτρινη Αποθήκη(441,1 kWp).

Στην Εικ. 41.4 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Μικρή Αποθήκη (441,1 kWp).



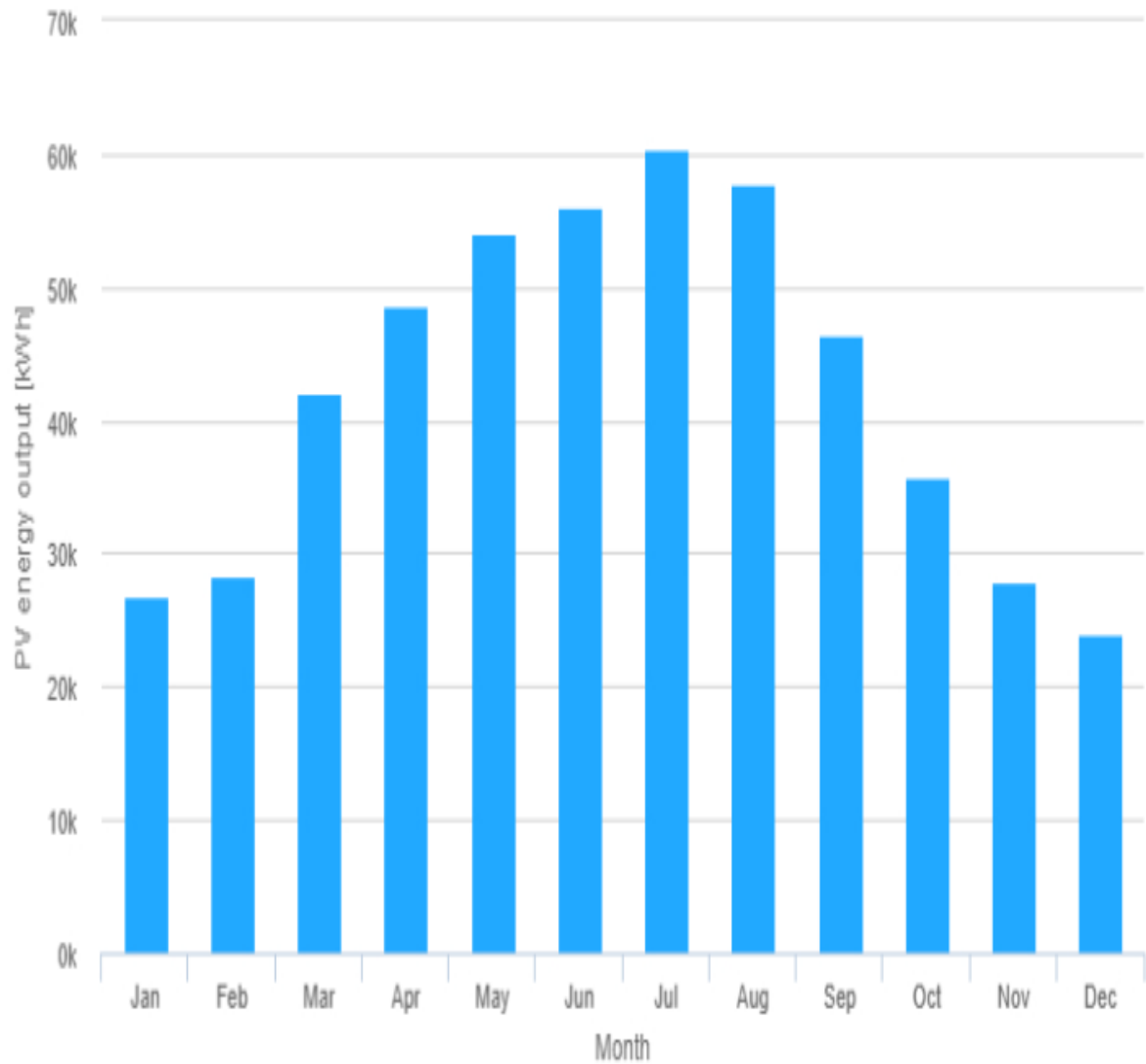
Εικ. 41.4 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Μικρή Αποθήκη(212,85kWp) (441,1 kWp).

Στην Εικ. 41.5 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Επιβατικός σταθμός ακτής Ηετίων (157,3 kWp).



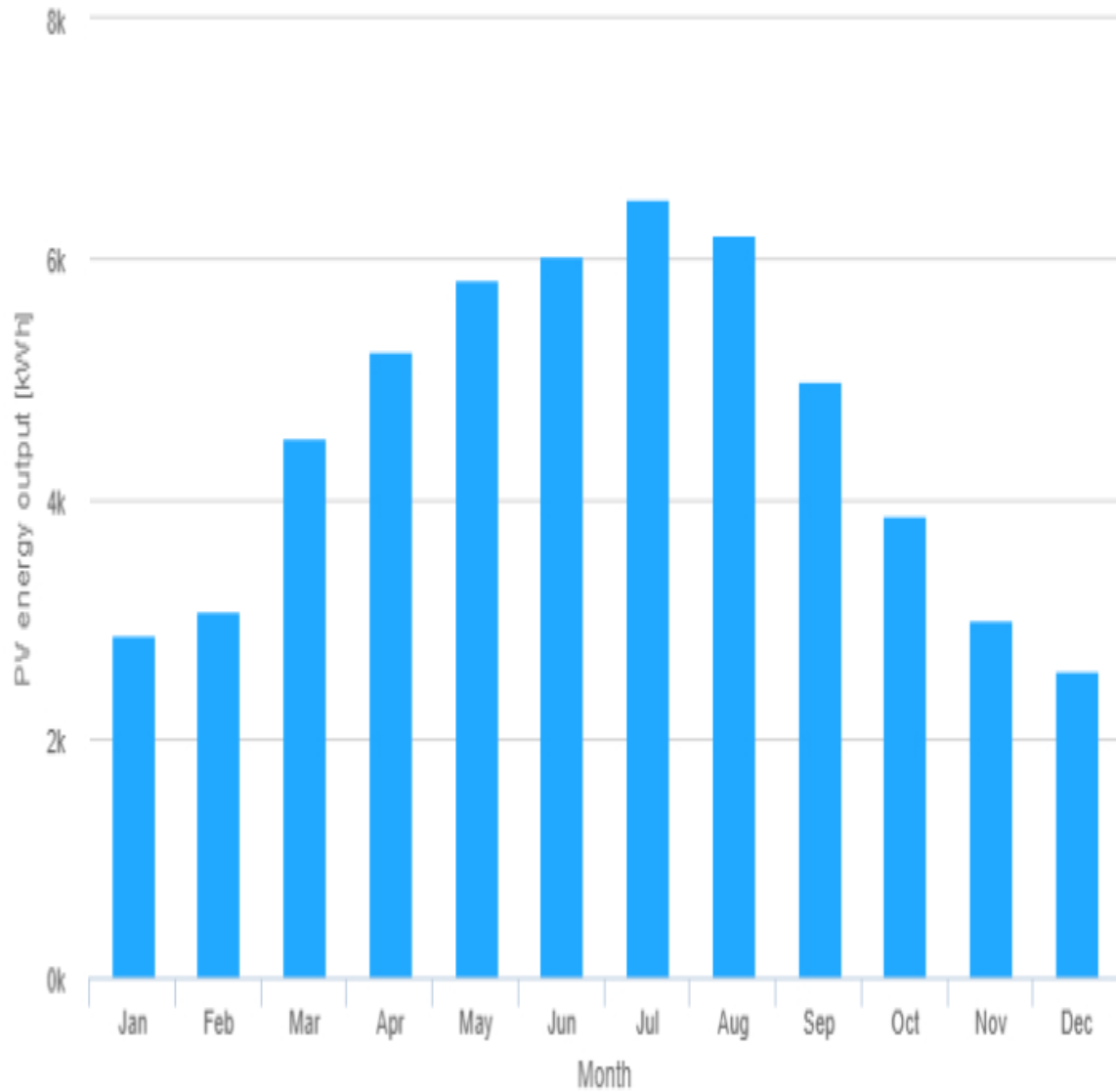
Εικ. 41.5 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Επιβατικός σταθμός Ηετίων(157,3 kWp).

Στην Εικ. 41.6 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Μεγάλη Αποθήκη (344,85 kWp).



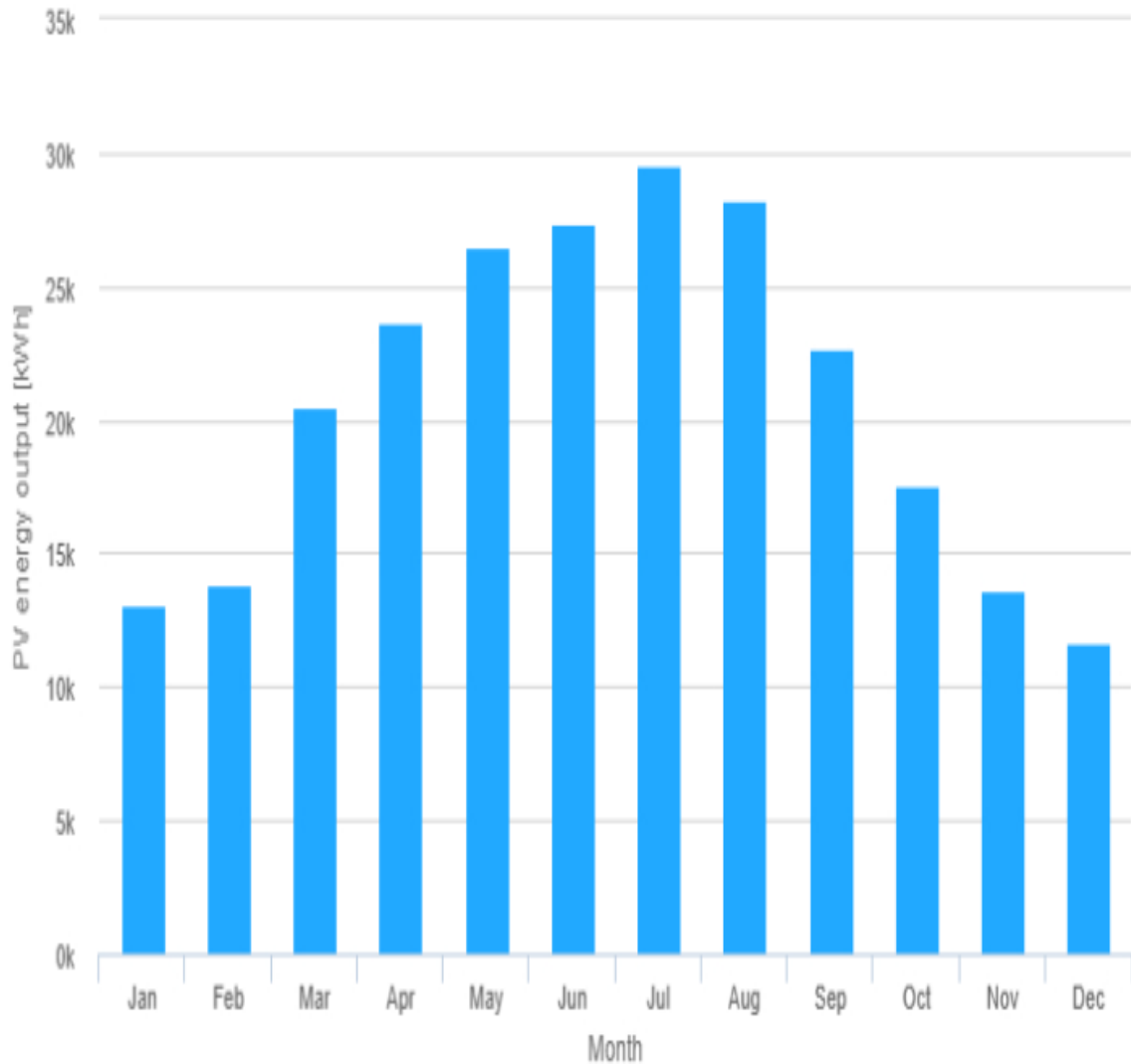
Εικ. 41.6 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Μεγάλη Αποθήκη (344,85 kWp).

Στην Εικ. 41.7 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Επιβατικός Σταθμός Ακτής Τζελέπη (36,85 kWp).



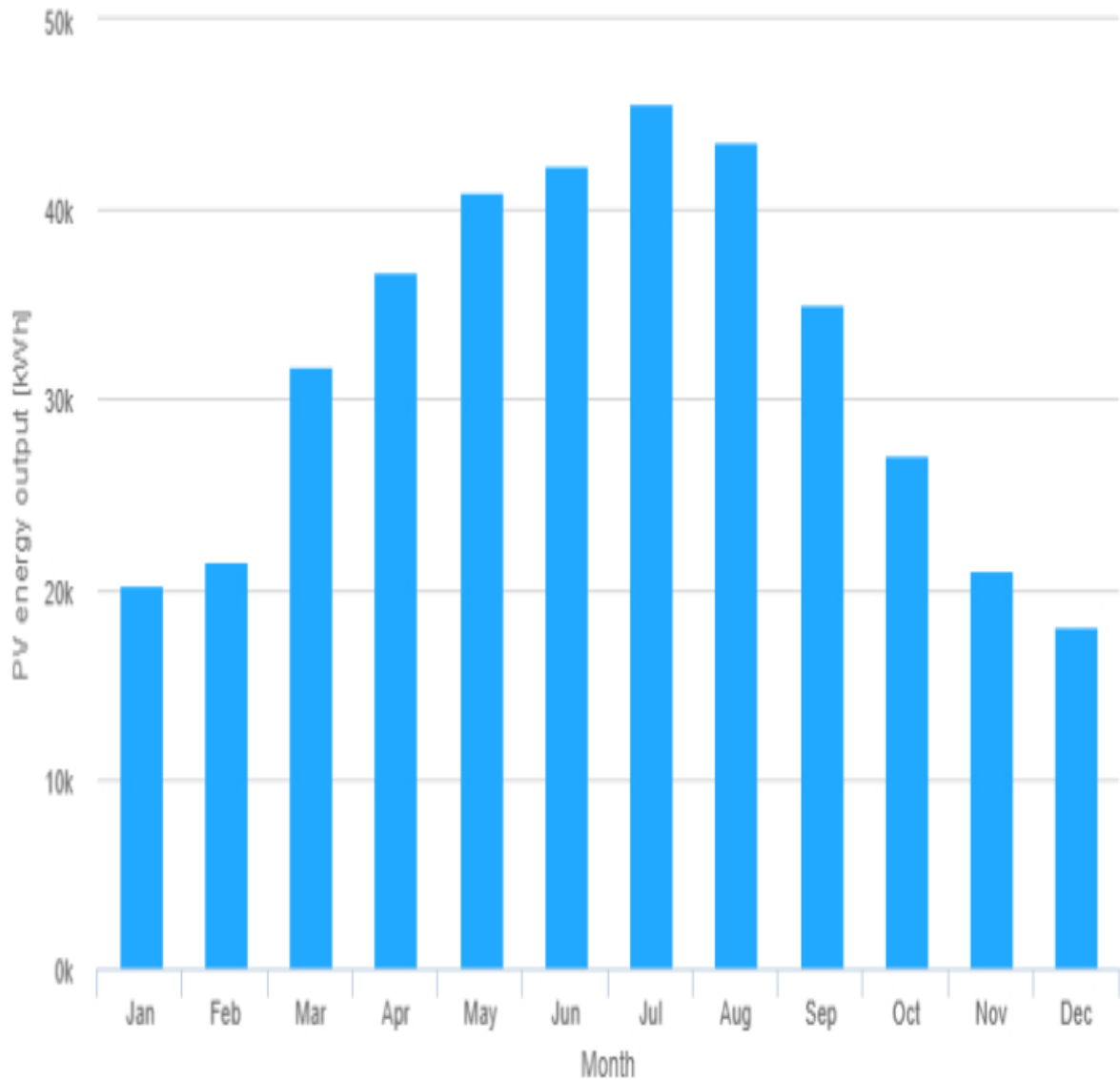
Εικ. 41.7 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Επιβατικός Σταθμός Ακτής Τζελέπη(36,85 kWp)

Στην Εικ. 41.8 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Γενική Διεύθυνση Τελωνείων (138,3 kWp).



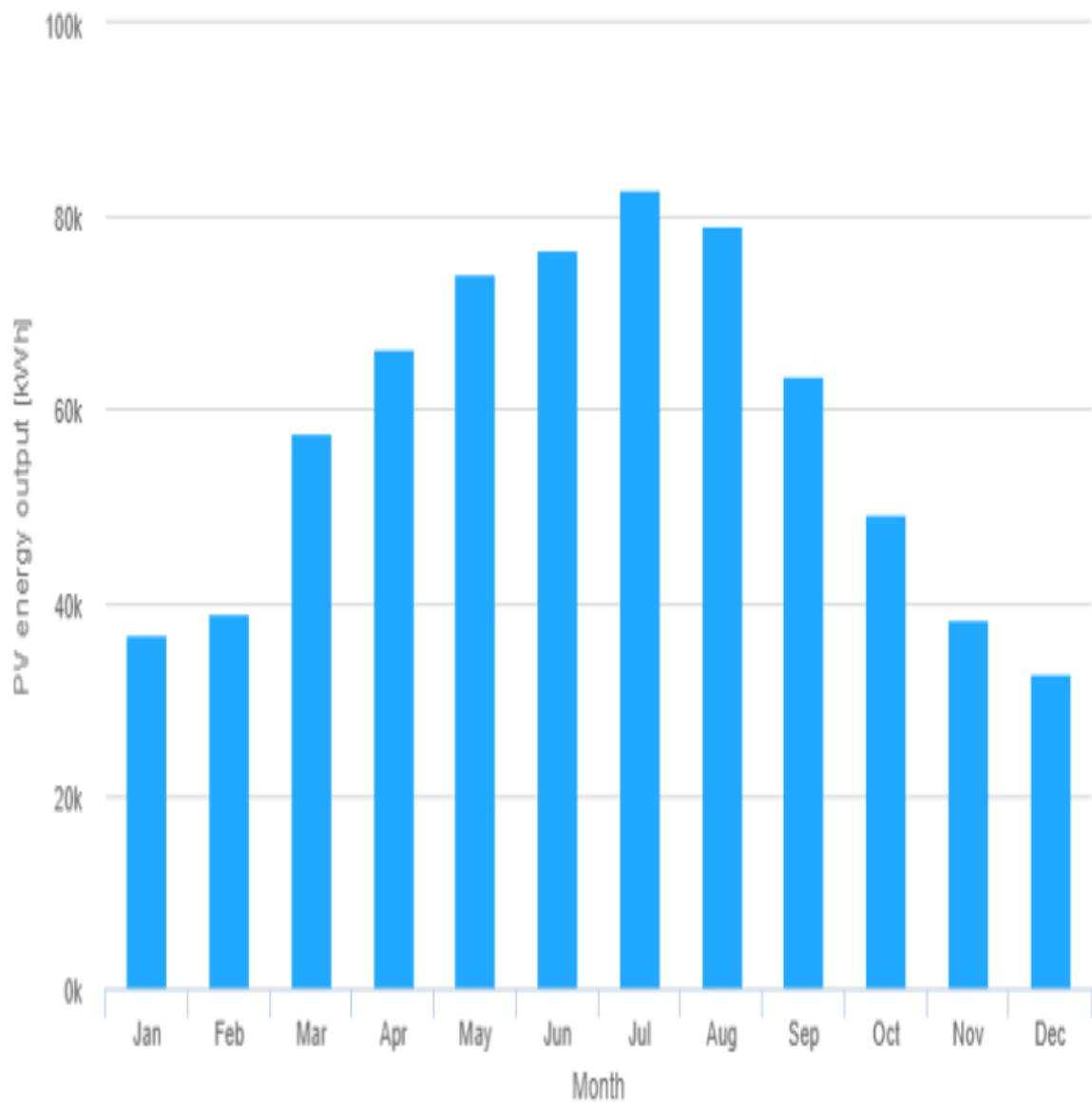
Εικ. 41.8 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Γενική Διεύθυνση Τελωνείων (138,3 kWp)

Στην Εικ. 41.9 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο Επιβατικός σταθμός εξωτερικού β (157,3 kWp).



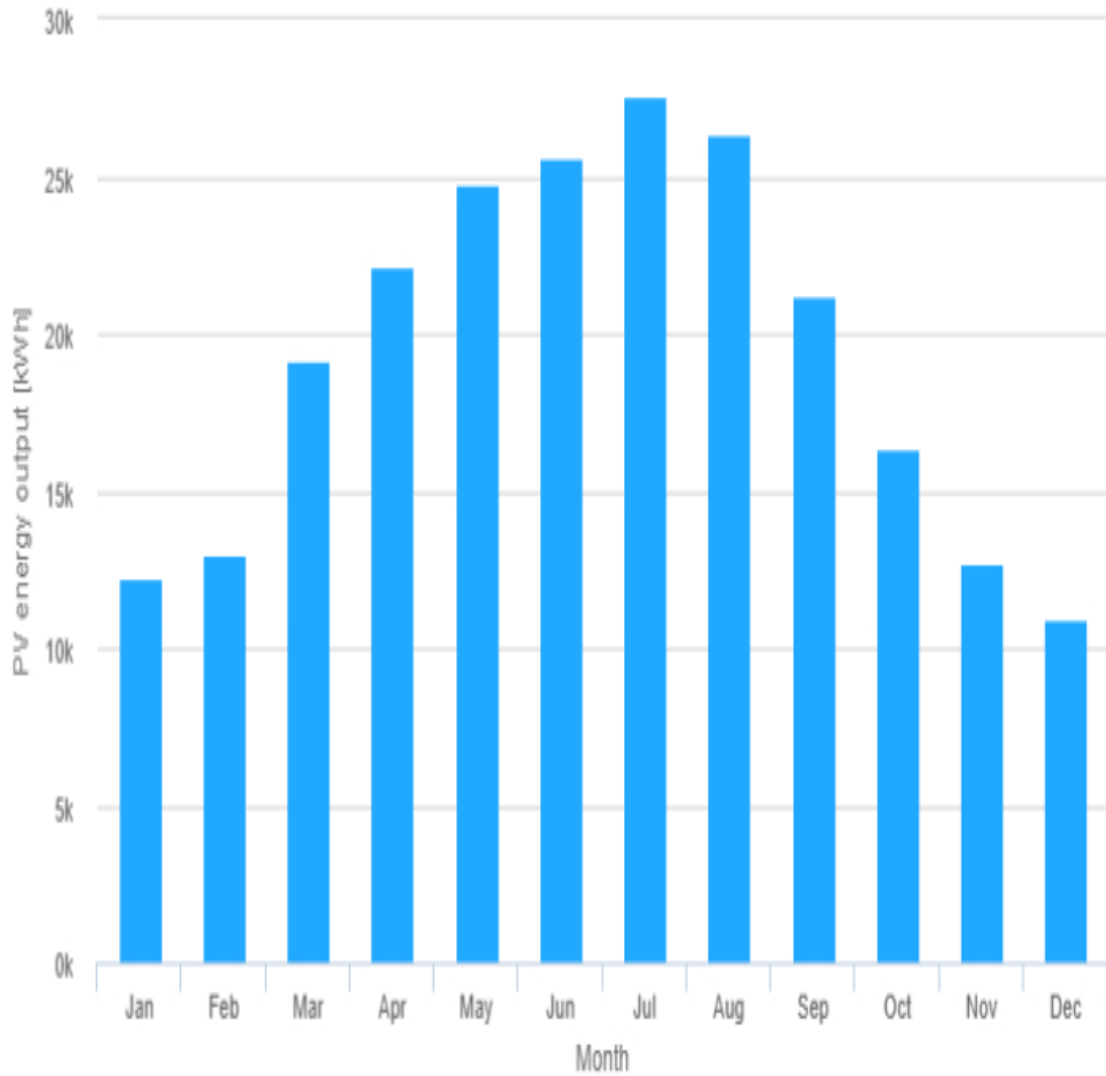
Εικ. 41.9: Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Επιβατικός σταθμός εξωτερικού β (157,3 kWp)

Στην Εικ. 41.10 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο ΟΛΠ 1 (157,3 kWp).



Εικ. 41.10 : Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Κτίριο ΟΛΠ1 (157,3 kWp).

Στην Εικ. 41.11 απεικονίζεται η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το Κτίριο ΟΛΠ 2 (444,9 kWp).



Εικ. 41.11: Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για την εγκατεστημένη ισχύ φ/β στο κτίριο Κτίριο ΟΛΠ 2 (444,9 kWp).

Βιβλιογραφία

- American Association Port Authorities (AAPA) (2007). Use of Shore-side power for Ocean-going Vessels, Draft White Paper.
- Ballini, F., & Bozzo, R. (2015). Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology. *Research in Transportation Business & Management*, 17, 92-98.
- Becquerel, A. E. (1839). Recherches sur les effets de la radiation chimique de la lumiere solaire au moyen des courants electriques. *CR Acad. Sci*, 9(145), 1.
- Berechman, J., & Tseng, P. H. (2012). Estimating the environmental costs of port related emissions: The case of Kaohsiung. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(1), 35-38.
- Cooper, D. A. (2003). Exhaust emissions from ships at berth. *Atmospheric Environment*, 37(27), 3817-3830.
- Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007). Mortality from ship emissions: a global assessment. *Environmental science & technology*, 41(24), 8512-8518.
- D'Agostino, F., Schiapparelli, G.P., Dallas, S., Spathis, D., Georgiou, V., Prousalidis, J. (2021). On Estimating the Port Power Demands for Cold Ironing Applications. In 2021 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS), pp. 1-5.
- Ekmekçiöğlü, A., Kuzu, S. L., Ünlügençoğlü, K., & Çelebi, U. B. (2020). Assessment of shipping emission factors through monitoring and modelling studies. *Science of the Total Environment*, 743(11.6): 140742.
- El-Ahmar, M. H., El-Sayed, A. H. M., & Hemeida, A. M. (2016, December). Mathematical modeling of Photovoltaic module and evaluate the effect of varoius paramenters on its performance. In 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON) (pp. 741-746). IEEE.
- ELEMED (2018), <https://www.elemedproject.eu/single-post/2018/12/21/inauguration-ceremony-of-the-first-cold-ironing-installation-in-eastern-mediterranean-at>
- European Maritime Safety Agency (EMSA). (2021). European Environment Agency. European Maritime Transport Environmental Report
- Facanha, C., & Horvath, A. (2007). Evaluation of life-cycle air emission factors of freight transportation. *Environmental science & technology*, 41(20), 7138-7144.
- Fesharaki, V. J., Dehghani, M., Fesharaki, J. J., & Tavasoli, H. (2011, November). The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency. In Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation–ETEC, Tehran, Iran (pp. 20-21).
- Fraas, L. M. (2014). Low-cost solar electric power (pp. 31-42). New York: Springer.
- Goetzberger, A., Luther, J., and Willeke, G. (2002). Solar cells: past, present, future, *Solar energy materials and solar cells*, vol 74, pp.1-11.
- Ibrahim, H., & Anani, N. (2017). Variations of PV module parameters with irradiance and temperature. *Energy Procedia*, 134, 276-285.
- Index, N. S. D. C. (2008). Prevention of Air Pollution from Ships
- Innes, A., & Monios, J. (2018). Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports–The case of Aberdeen. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 298-313.
- Kampylis, P. (2016). An environmental, technical and economical approach for the use of shore-power in Piraeus port, Diploma Thesis, NTUA, School of Naval Architecture and Marine Engineering.

- Kritikos, O.-M. (2017). A Cold Ironing Feasibility Study and Cost Benefit Analysis: the case of Thessaloniki port, Diploma Thesis, NTUA, School of Naval Architecture and Marine Engineering.
- Kolwzan, K., & Narewski, M. (2012). Alternative fuels for marine applications. *Latvian Journal of chemistry*, 51(4), 398-406.
- Kowsar, A., & Farhad, S. F. U. (2018). High Efficiency Four Junction III-V Bismide Concentrator Solar Cell: Design, Theory, and Simulation. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 8(3), 1762-1769.
- Kuropyatnyk, O., and Sagin, S. (2019). Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NO_x Emissions from Marine Diesel Engines. *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 66(1), 1-9.
- López-Rojas, O., & Guzmán, J. G. (2019, October). A review on quantum dot solar cells: properties, materials, synthesis and devices. In *2019 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV) (Vol. 1, pp. 1-5)*. IEEE.
- Luque, A., & Hegedus, S. (2003). *Photovoltaic science and engineering*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Mannarini, G., Carelli, L., & Salhi, A. (2020, June). EU-MRV: an analysis of 2018's Ro-Pax CO₂ data. In *2020 21st IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM) (pp. 287-292)*. IEEE.
- Merk, O. (2014). Shipping emissions in ports, Discussion Paper 2014-2020, OECD/International Transport Forum 2014.
- Mertikas, P., Dallas, S.E., Spathis, D., Kourmpelis, T., Georgakopoulos, I.P., Prousalidis, J.M., Lyridis, D.V., Nakos, L., Mitrou, P., Georgiou, V. (2018). Furthering the electricity to ships and ports: the ELEMED project. In *2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, IEEE, pp. 2542-2548.
- Nozik, A. J. (2002). Quantum dot solar cells. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 14(1-2), 115-120.
- Palmer, J. M. (1995). The measurement of transmission, absorption, emission, and reflection. *Handbook of optics*, 2, 25-1.
- Paul, D., Peterson, K., & Chavdarian, P. R. (2014). Designing cold ironing power systems: electrical safety during ship berthing. *IEEE Industry Applications Magazine*, 20(3), 24-32.
- Progiou, A. G., Bakeas, E., Evangelidou, E., Kontogiorgi, C., Lagkadinou, E., & Sebos, I. (2021). Air pollutant emissions from Piraeus port: External costs and air quality levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 91, 102586.
- Prousalidis, J., Antonopoulos, G., Patsios, C., Greig, A., & Bucknall, R. (2014). Green shipping in emission controlled areas: Combining smart grids and cold ironing. In *2014 International Conference on Electrical Machines (ICEM) IEEE*, pp. 2299-2305.
- Prousalidis, J., Lyridis, D. V., Dallas, S., Papaleonidas, C., Mitrou, P., Vergetis, E., Vaimaki, E., Aggelopoulos, S., Kourmpelis, T., Georgiou, V., Katsikas, P., Boutsika, T., Spathis, D. (2017a). The ports as smart micro-grids: development perspectives. In *Proceedings of HAEE*, pp. 12-16.
- Prousalidis, J., Lyridis, D., Dallas, S., Soghomonian, Z., Georgiou, V., Spathis, D., Kourmpelis, T., Mitrou, P. (2017b). Ship to Shore Electric Interconnection: from adolescence to maturity. In *2017 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)*, pp. 200-206.
- Soukissian, T.H., Denaxa, D., Karathanasi, F., Prospathopoulos, A., Sarantakos, K., Iona, A., Georgantas, K., and Mavrakos, S. (2017a). Marine Renewable Energy in the Mediterranean Sea: Status and Perspectives. *Energies*, 10, 1512.

- Soukisian, T., Prospathopoulos, A., Karathanasi, F., Sarantakos, K., and Mavrakos, S. (2017b). Report of the ELEMED (ELectrification of the Eastern MEDiterranean area - use of Cold Ironing and electricity as a propulsion alternative) project: Ship electrification in ports; Renewable energy sources in ports; EU-National legal status and regulations; Gap analysis; Recommendations for cold ironing based on renewables.
- Soukisian, T., Prospathopoulos, A., Karathanasi, F., Georgantas, K. (2017c). Report of the ELEMED (ELectrification of the Eastern MEDiterranean area - use of Cold Ironing and electricity as a propulsion alternative) project: Report on the Environmental/ Societal/ Financial Benefits from the Electrification of East Med Corridor Short Sea Shipping interconnection routes.
- Sciberras, E. A., Zahawi, B., & Atkinson, D. J. (2015). Electrical characteristics of cold ironing energy supply for berthed ships. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 39, 31-43.
- Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S., ... & Pandey, A. (2015). Third IMO greenhouse gas study 2014.
- Tang, R., Wu, Z., & Li, X. (2018). Optimal operation of photovoltaic/battery/diesel/cold-ironing hybrid energy system for maritime application. *Energy*, 162, 697-714.
- Tarnapowicz, D., & German-Galkin, S. (2018). International standardization in the design of "Shore to Ship"-power supply systems of ships in port. *Management Systems in Production Engineering*, 26(1), 9-13.
- Tiano, F. A., Rizzo, G., Marino, M., & Monetti, A. (2020). Evaluation of the potential of solar photovoltaic panels installed on vehicle body including temperature effect on efficiency. *eTransportation*, 5, 100067.
- Toscano, D., & Murena, F. (2019). Atmospheric ship emissions in ports: A review. Correlation with data of ship traffic. *Atmospheric Environment: X*, 4, 100050.
- Trozzi, C. (2010). Emission estimate methodology for maritime navigation. *Techne Consulting*, Rome.
- Tzannatos, E. (2010). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus–Greece. *Atmospheric Environment*, 44(3), 400-407.
- Winkel, R., Weddige, U., Johnsen, D., Hoen, V., & Papaefthimiou, S. (2016). Shore side electricity in Europe: potential and environmental benefits. *Energy Policy*, 88, 584-593.
- Zis, T. P. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82-95.
- Δανιήλ, Α. (2018). Διερεύνηση Μεθόδων Ενεργειακής Αναβάθμισης στο Λιμάνι της Πάτρας, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Μουρκοκώστα, Β. (2018). Διερεύνηση Μεθόδων Ενεργειακής Αναβάθμισης στο Λιμάνι της Ηγουμενίτσας, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Πανταζόπουλος, Δ. (2017). Διερεύνηση της Ηλεκτρικής Διασύνδεσης Πλοίων στα Λιμάνια του Πειραιά και της Κυλλήνης, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Ποντικός, Σ. (2018). Διερεύνηση Μεθόδων Ενεργειακής Αναβάθμισης στο Λιμάνι του Ηρακλείου, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Τρυπαναγνωστόπουλος, Ι. (2016). "Συστήματα ηλιακής ενέργειας", Πανεπιστήμιο Πατρών.