

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΩΝ**

**στην**

**ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**«ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΜΠΟΡΙΚΗ**

**ΝΑΥΤΙΛΙΑ»**

**Προβατάς Δημήτριος**

Διπλωματική Εργασία  
που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών  
του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού  
Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Σεπτέμβριος 2017

## ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιείται (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα εικόνες ή χάρτες) του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

Ο δηλών

Προβατάς Δημήτριος

## **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από τη Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από την ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της επιτροπής ήταν:

- Τζαννάτος Ερνεστοσπυρίδων (Επιβλέπων)
- Τσελέντης Βασίλειος - Στυλιανός
- Τσελεπίδης Αναστάσιος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σύνταξη της διπλωματικής αυτής εργασίας βασίστηκε σε εκτενή έρευνα βιβλίων, ακαδημαϊκών και επιστημονικών άρθρων καθώς και ηλεκτρονικών πηγών, όλα σχετικά με την ναυτιλία έχοντας ως κύρια θέματα τις θαλάσσιες μεταφορές και τη ρύπανση που προκαλείται από αυτές, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τη λειτουργία τους και τους τρόπους εφαρμογή τους στην εμπορική ναυτιλία. Τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από τις παραπάνω πηγές, αξιολογήθηκαν, επεξεργάστηκαν και στη συνέχεια παρατέθηκαν ώστε να συνταχθεί και να ολοκληρωθεί η διπλωματική αυτή εργασία. Για το case study το οποίο παρατίθεται στην εργασία, οι πληροφορίες και τα χαρακτηριστικά του πλοίου που χρησιμοποιήθηκαν ως προς μελέτη προήλθαν από επίσημες ιστοσελίδες προκειμένου τα αποτελέσματα να προσεγγίζουν τη πραγματικότητα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου για τη βοήθεια και τις κατευθυντήριες οδούς τις οποίες μου παρείχε κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της υλοποίησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής για την έγκριση που έδωσαν προκειμένου να προχωρήσω στη περάτωση του θέματος της διπλωματικής εργασίας που επέλεξα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους δικούς μου ανθρώπους για τη στήριξη και τη βοήθεια που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των ακαδημαϊκών σπουδών μου.

## Περιεχόμενα

<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>	<b>3</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....</b>	<b>4</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>Κεφάλαιο 1ο Εισαγωγή.....</b>	<b>8</b>
1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	8
1.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	12
<b>Κεφάλαιο 2ο Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα.....</b>	<b>14</b>
2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΟΦΕΛΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	14
2.1.1 Ηλιακά συστήματα.....	17
2.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	21
2.2.1 Πλεονεκτήματα.....	24
2.2.2 Μειονεκτήματα.....	25
2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	26
2.3.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	27
2.3.1.1 Είδη συνδέσεων φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	33
2.3.1.2 Στήριξη φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	34
<b>Κεφάλαιο 3ο Εφαρμογή νέων τεχνολογιών για την μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης.....</b>	<b>35</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	35
3.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΟΙΑ.....	36
3.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΛΟΙΑ.....	39
3.3.1 Ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου.....	39
3.3.2 Τεχνικές προδιαγραφές των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την εγκατάσταση στα πλοία.....	42
3.3.2.1 Επιρροή του βάρους ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στην σταθερότητα ενός πλοίου.....	43
3.3.3 Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	43
3.3.4 Μέση απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος, θέρμανσης και βρωμιάς.....	49
3.3.4.1 Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας.....	50
3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ - ΟΦΕΛΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ..	51
3.4.1 Υπολογισμός ενέργειας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	52
3.4.2 Οικονομική ανάλυση.....	53
3.4.2.1 Υπολογισμός κόστους δικτύου ηλιακών συστοιχιών (solar array cost).....	55
3.4.3 Περιβαλλοντολογική ανάλυση.....	58
3.5 CASE OF STUDY.....	60
3.5.1 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής.....	64
3.5.2 Οικονομική και περιβαλλοντολογική ανάλυση.....	65
3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
<b>Κεφάλαιο 4ο Εφαρμογή Φωτοβολταϊκών στα πλοία.....</b>	<b>69</b>
4.1 CRUISE GREEN.....	69
4.2 AURIGA LEADER.....	71
4.2.1 Τα χαρακτηριστικά του πράσινου πλοίου.....	72
4.2.2 Τεχνικές Προδιαγραφές Οχηματαγωγού πλοίου.....	73
4.3 Η ECO MARINE POWER ΚΑΙ ΤΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΚΑΦΟΣ ΤΟΝΒΟ.....	74
4.4 ΝΙΧΙΟ ΜΑΡΟΥ.....	76
4.5 SUPER ECO SHIP 2030 ΑΠΟ ΤΗΝ ΝΥΚ.....	76

4.6	SOLAR SAILOR - HONG KONG JOCKEY CLUB (HKJC) FERRIES .....	78
4.6.1	Πλεονεκτήματα για τον πελάτη .....	80
4.6.2	Μεθοδολογία Υλοποίησης.....	80
4.6.3	Διάρκεια.....	82
4.6.4	Εξοικονόμηση ενέργειας .....	82
4.6.5	Η διαφοροποίηση των τιμών της <i>Schneider Electric</i> έναντι των ανταγωνιστών .....	82
4.6.6	Επισκόπηση της λύσης .....	83
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>85</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 - Χαρακτηριστικά Ελαφρών Ναυτιλιακών Καυσίμων.....	10
Πίνακας 2 - Χαρακτηριστικά Βαρέων Ναυτιλιακών Καυσίμων.....	11
Πίνακας 3 - Κόστος με βάση ισχύ φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	27
Πίνακας 4 - Πακέτα φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	27
Πίνακας 5 - Σύνοψη των κύριων παραγόντων εκπομπών της παραγωγής πετρελαίου ντίζελ.....	59
Πίνακας 6 - Χαρακτηριστικά μηχανής πλοίου SMARAGD .....	60
Πίνακας 7 - Χαρακτηριστικά πλοίου SMARAGD.....	60
Πίνακας 8 - Περιοχές διαθέσιμες για εγκατάσταση φ/β συστήματος .....	61
Πίνακας 9 - Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας.....	61
Πίνακας 10 - Κόστη φ/β συστήματος.....	62
Πίνακας 11 – Αποτελέσματα .....	66

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. 1 Ελλιμενισμένο κρουαζιερόπλοιο στο Όσλο, Νορβηγία, διακρίνεται ο μαύρος καπνός που παράγεται από τις ηλεκτρομηχανές του πλοίου οι οποίες τροφοδοτούνται με ντίζελ, MGO. Οι εκπομπές καυσαερίων στον αέρα προσκρούουν με τον καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα των φιόρδ που έχουν πρόσφατα οριστεί ως Παγκόσμια Κληρονομιά τόπων .....	9
Εικόνα 2. 1 Σταθμός παραγωγής ενέργειας του τύπου CSP. ....	16
Εικόνα 2. 2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	22
Εικόνα 2. 3 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	28
Εικόνα 2. 4 Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα με το δίκτυο .....	29
Εικόνα 2. 5 Υβριδικό Σύστημα.....	30
Εικόνα 2. 6 Φωτοβολταϊκά κύτταρα, υπομονάδες, πλαίσια και διατάξεις .....	30
Εικόνα 3. 1 Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου .....	40
Εικόνα 3. 2 Διάγραμμα ενός τυπικού ηλεκτρικού συστήματος πλοίου .....	41
Εικόνα 3. 3 Κεντρική τεχνολογία .....	45
Εικόνα 3. 4 Τεχνολογία Σειράς.....	46
Εικόνα 3. 5 Τεχνολογία Πολλαπλών Σειρών.....	48
Εικόνα 3. 6 Τεχνολογία Ενσωματωμένης Ενότητας.....	49
Εικόνα 3. 7 Οι ζώνες βάσει των διαφορών γεωγραφικών πλατών .....	51
Εικόνα 3. 8 Σχεδιάγραμμα πλοίου m.s. SMARAGD .....	61
Εικόνα 4. 1 Καταστρώματα Hornblower.....	70
Εικόνα 4. 2 Auriga Leader.....	72
Εικόνα 4. 3 Κατάστρωμα Auriga Leader.....	73
Εικόνα 4. 4 Το υβριδικό πλοίο Tonbo .....	75
Εικόνα 4. 5 Super Eco Ship 2030 .....	77



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1 Το φωτοβολταϊκό σύστημα ως προς τη ζήτηση ενέργειας.....	63
Γράφημα 2 Το κόστος των φωτοβολταϊκών πάνελ και κόστη μπαταριών.....	63
Γράφημα 3 Σχέση κόστους- εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	66

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν να αναλύσει την αναγκαιότητα εφαρμογής εναλλακτικών μορφών τροφοδοσίας ενέργειας στα πλοία, και πιο συγκεκριμένα στη χρήση ηλιακών πάνελ για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Ο κυριότερος λόγος για την εφαρμογή και αξιοποίηση πιο φιλικών προς το περιβάλλον μορφών ενέργειας δεν είναι άλλος από τη συμβολή των θαλάσσιων μεταφορών στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η χρήση των ηλιακών πάνελ και των φωτοβολταϊκών συστημάτων κατ' επέκταση είναι ευρέως διαδεδομένες στις χερσαίες εγκαταστάσεις, θα πρέπει όμως να εξετάσουμε ποιες είναι οι προϋποθέσεις και οι περιορισμοί προκειμένου να προχωρήσουμε στην ναυτιλιακή εγκατάσταση. Ο τύπος συνδεσμολογίας και της τεχνολογίας του φωτοβολταϊκού συστήματος που θα επιλεγεί διαφέρει σε κάθε περίπτωση, καθώς εξαρτάται από διαφορετικές παραμέτρους, όπως η διαθέσιμη επιφάνεια προς εγκατάσταση και το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο θα κινείται το εκάστοτε πλοίο. Τέλος θα πρέπει να αναλυθεί πόσο κερδοφόρα θα είναι μια τέτοια επένδυση, καθώς πέραν της μείωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων θα πρέπει να σημειωθεί η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε σύγκριση με το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Ατμοσφαιρική ρύπανση, ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκά συστήματα, ηλιακά πάνελ, ηλεκτρικό σύστημα πλοίου, τεχνολογίες φωτοβολταϊκών συστημάτων, ναυτιλιακή εγκατάσταση

## **ABSTRACT**

The aim of this dissertation was to analyze the necessity of applying alternative forms of energy supply to ships and more specific the use of solar panels for the utilization of solar energy. The main reason for the implementation and use of more environmentally-friendly forms of energy is the contribution of maritime transport to air pollution. The use of solar panels and photovoltaic systems is widespread in terrestrial installations, but we need to look at the conditions and constraints for maritime installation purposes. The type of wiring and photovoltaic technology which is chosen varies in each case as it depends on different parameters, such as the available surface to be installed on the ship and the latitude that the ship will be moving. Finally, we have to analyze how profitable this investment will be, as apart from reducing air pollutants, the reduction in fuel consumption compared to the cost of installation and maintenance of the photovoltaic system should be noted.

**Keywords:** Air pollution, solar energy, photovoltaic systems, solar panels, electrical ship system, photovoltaic systems, marine installation

## Κεφάλαιο 1ο Εισαγωγή

### 1.1 Ατμοσφαιρικοί ρύποι στη ναυτιλία

Αναφορικά με έρευνα που έγινε στην Ε.Ε ένα συμβατικό επιβατηγό/οχηματαγωγό πλοίο παράγει γύρω στο 85 % πιο αυξημένα καυσαέρια σε χρόνο μιας ώρας από ότι 500 αυτοκίνητα σε 24 ώρες (Europra,2012).

Στην προαναφερόμενη μελέτη λέγεται ότι ένα μέσο συμβατικό πλοίο παράγει γύρω στις 500 φορές πιο πολύ «νέφος» από αυτό που παράγουν τα αέρια των αυτοκινήτων (οξείδια του αζώτου) και προκαλούν 176% πιο πολλά καρκινογόνα καυσαέρια.

Στα λιμάνια στα οποία διακινούνται εμπορευματοκιβώτια, γύρω στα 16 πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ημερησίως στο λιμάνι παράγουν την αιθαλομίχλη που σχηματίζουν οι εκπομπές από 1 εκατομμύρια αυτοκίνητα, ενώ αντίστοιχα ένα κρουαζιερόπλοιο προκαλεί τις αντίστοιχες εκπομπές όσες 12.400 αυτοκίνητα.

Οι προαναφερόμενες εκπομπές προκαλούν όξινη βροχή, η οποία οδηγεί σε περιβαλλοντικά προβλήματα σε παγκόσμια αλλαγή του κλίματος, όπως και σε επιζήμιες συνέπειες στην υγεία του μικρού εισοδήματος κοινοτήτων που υπάρχουν πλησίον λιμένων (Clim, 2013).

Παρότι υπάρχουν δυσάρεστες προβλέψεις διάφορες έρευνες καταγράφουν ότι εφόσον διαρκέσουν οι υπάρχοντες ρυθμοί εκπομπής καυσαερίων, η ατμοσφαιρική ρύπανση πρόκειται να σημειώσει άνοδο σε ποσοστό της τάξης 150% στο διάστημα της επόμενης τριακονταετίας.

Σύμφωνα με τις παραπάνω αναφορές το σύνολο των διεθνών οργανισμών και μετά από αρκετές διασκέψεις και συμβούλια τελικά κατέληξαν ότι μια ριζική μεταβολή στις ναυτιλιακές εταιρίες στο πλαίσιο της μεταβολής των στοιχείων των καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τα πλοία θα ήταν μία από τις ιδανικότερες επιλογές για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία.

Επομένως τα πλοία που περνούν μέσα από τους ωκεανούς της γης θα ήταν ιδανικότερο να έχουν μικρότερες ρυπογόνες μορφές ντίζελ. Στην αρχή υπήρξε θέμα για το τρόπο που θα πραγματοποιούνταν η μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα και τι ακριβώς έπρεπε να μειωθεί, ποιο ακριβώς χημικό στοιχείο, ώστε να μειωθεί δραστικά η ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία, η οποία εκτός των άλλων προκαλεί την όξινη βροχή και εκπέμπει επιβλαβή σωματίδια που μπορούν να προσβάλλουν την

ανθρώπινη υγεία.

Για πρώτη φορά μια ναυτιλιακή ένωση η Intertanko υλοποίησε συνολική πρόταση σχετικά με την μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από την λειτουργία των πλοίων. Είναι άξιο αναφοράς ότι σπουδαία ήταν η βοήθεια και συμμετοχή της, αναφορικά με ανεξάρτητους πλοιοκτήτες.

Παρόλο το θέμα της προαναφερθείσας κατάστασης υπήρχαν και επιχειρήσεις σαν τη BP και τη Shell που επιθυμούσαν να μπορούν να διατηρήσουν την πώληση του φτηνού υπολειπόμενου καυσίμου σε φορτωτές και καράβια αντί να προωθήσουν την καθαρότητα των καυσίμων, κάλυψαν την καθαρότητα των καυσαερίων, αλλά η πρόταση τους δεν υλοποιήθηκε σε αρκετές περιπτώσεις εξαιτίας του μεγάλου κόστους δημιουργίας μονάδων καθαρισμού πάνω στα καράβια (NACAA, 2009).



**Εικόνα 1. 1** Ελλειμνισμένο κρουαζιερόπλοιο στο Όσλο, Νορβηγία, διακρίνεται ο μαύρος καπνός που παράγεται από τις ηλεκτρομηχανές του πλοίου οι οποίες τροφοδοτούνται με ντίζελ, MGO. Οι εκπομπές καυσαερίων στον αέρα προσκρούουν με τον καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα των φιορδ που έχουν πρόσφατα οριστεί ως Παγκόσμια Κληρονομιά τόπων

Τα πιο πολλά πλοία μεγάλου όγκου εκτοπίσματος χρησιμοποιούν το μικρότερης αξίας πετρέλαιο ντίζελ που υπάρχει στην αγορά. Η συλλογή των κατάλοιπων από την παραγωγή μικρότερης ποιότητας καυσίμων περιλαμβάνει ουσιαστικές συγκεντρώσεις τοξικών ενώσεων από τη χρήση τους.

**Πίνακας 1 - Χαρακτηριστικά Ελαφρών Ναυτιλιακών Καυσίμων**  
 Πηγή: ISO 8217:2005(E)

<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονάδα</b>	<b>Όριο</b>	<b>DMX</b>	<b>DMA</b>	<b>DMB</b>	<b>DMC</b>	<b>Έλεγχος</b>
<b>Συντελεστής Ιξώδους</b>	mm <sup>2</sup> /sb	min max	1.40 5.50	1.50 6.00	- 11.0	- 14.0	ISO 3104
<b>Σημείο Καύσης</b>	*C	min max	- 43	60 -	60 -	60 -	ISO 2719
<b>Θερμοκρασία Ροής</b>	*C	min max	- -	-6 0	0 6	0 6	ISO 3016
<b>Θείο</b>	%(m/m)	max	1.00	1.50	2.00	2.00	ISO 8754
<b>Κετόνιο</b>	-	min	45	40	35	-	ISO 4264
<b>Άνθρακας</b>	%(m/m)	max	0.30	0.30	0.30	2.50	ISO 1037
<b>Στάχτη</b>	%(m/m)	max	0.01	0.01	0.01	0.05	ISO 6245
<b>Εμφάνιση/ Οψη</b>	-	clear	clear	clear	Clear	clear	-
<b>Ιζήματα</b>	%(m/m)	max	-	-	0.10	0.10	ISO 1037
<b>Νερό</b>	%(v/v)	max	-	-	0.3	0.3	ISO 3733
<b>Βανάδιο</b>	mg/kg	max	-	-	-	1.00	ISO 1459
<b>Αλουμίνιο</b>	mg/kg	max	-	-	-	25	ISO 1478
<b>Ψευδάργυρος</b>	mg/kg	max	-	-	-	15	ISO 1480
<b>Φώσφορος</b>	mg/kg	max	-	-	-	15	ISO 1480
<b>Κάλιο</b>	mg/kg	max	-	-	-	30	ISO 1480

**Πίνακας 2 - Χαρακτηριστικά Βαρέων Ναυτιλιακών Καυσίμων**  
 Πηγή: ISO 8217:2005(E)

<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονάδα</b>	<b>Όριο</b>	<b>RME/F 180</b>	<b>RME/F 380</b>	<b>RME/F 700</b>	<b>Έλεγχος</b>
<b>Συντελεστής Ιξώδους</b>	mm <sup>2</sup> /sb	max	180	380	700	ISO 3104
<b>Σημείο Καύσης</b>	*C	max	60	60	60	ISO 2719
<b>Θερμοκρασία Ροής</b>	*C	min max	30 30	30 30	30 30	ISO 3016
<b>Θείο</b>	%(m/m)	max	4.50	4.50	4.50	ISO 8754
<b>Στάχτη</b>	%(m/m)	max	0.15	0.15	0.15	ISO 6245
<b>Ιζήματα</b>	%(m/m)	max	0.10	0.10	0.10	ISO 1037
<b>Νερό</b>	%(v/v)	max	0.5	0.5	0.5	ISO 3733
<b>Βανάδιο</b>	mg/kg	max	400	450	600	ISO 1459
<b>Αλουμίνιο</b>	mg/kg	max	80	80	80	ISO 1478
<b>Ψευδάργυρος</b>	mg/kg	max	15	15	15	ISO 1480
<b>Φόσφορος</b>	mg/kg	max	15	15	15	ISO 1480
<b>Κάλιο</b>	mg/kg	max	30	30	30	ISO 1480

Εξαιτίας της σύστασης του ντίζελ των πλοίων, είναι σκόπιμο να υπάρχει προθέρμανση πριν χρησιμοποιηθεί. Για την λύση του συγκεκριμένου προβλήματος οι κανονισμοί για τους κινητήρες πλοίων ανοικτής θάλασσας επί του παρόντος δεν υποχρεούνται να τηρήσουν τους ίδιους αυστηρούς ελέγχους όπως οι αντίστοιχοι για την ατμοσφαιρική ρύπανση σε αυτοκίνητα και φορτηγά.

Ταυτόχρονα ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα το οποίο επιφέρει ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά ρύπανσης της ατμόσφαιρας από την καύση των ανωτέρω καυσίμων στις μηχανές εσωτερικής καύσης των πλοίων είναι η ατελής καύση των συγκεκριμένων μηχανών που χρησιμοποιούνται από τα πλοία. Η εν λόγω ατελής καύση τις πιο πολλές φορές προκύπτει ή από την ηλικία της μηχανής του πλοίου, είτε από την ελλιπή συντήρηση της μηχανής, είτε από λάθος ρυθμίσεις της μηχανής.

## 1.2 Κανονισμοί και διατάξεις ελέγχου καυσαερίων εκπομπών στη ναυτιλία

Στην Ναυτιλιακή Συνδιάσκεψη των Ενωμένων Εθνών στην Γενεύη (United Nations Maritime Conference) το 1948 με την συμμετοχή όλων των κρατών συζητήθηκε και εγκρίθηκε η σύμβαση που ίδρυσε τον IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization)

Από το 1982 ο οργανισμός άλλαξε το όνομα του από IMCO σε IMO (International Maritime Organization) και ο ρόλος του αναβαθμίστηκε αφού πλέον οι αποφάσεις του έχουν από τότε δεσμευτικό χαρακτήρα για τα κράτη μέλη. Αναγκαία προϋπόθεση για την έναρξη ισχύος εφαρμογής της σύμβασης τέθηκε η συγκέντρωση 21 υπογραφών γεγονός που απαιτούσε την συμμετοχή 7 κρατών με στόλο μεγαλύτερο του 1 εκατομμυρίου κόρους ολικής χωρητικότητας το καθένα.

Μόλις τέθηκε σε ισχύ η σύμβαση έγιναν μέλη του οργανισμού η Δανία, η Σουηδία, η Φιλανδία, η Λιβερία, και η Γερμανία. Από την άλλη όλα σχεδόν τα μελλοντικά κράτη είχαν ήδη πειστεί ότι η ένταξη του στο πεδίο των εμπορικών συναλλαγών ήταν μια μάταιη πράξη. Η ανάμειξη του IMO στον τομέα της θαλάσσιας ρύπανσης και της ναυτικής ασφάλειας πριν από την επίσημη καθιέρωση του 1959 ισχυροποίησε την θέση του ως διεθνή εξειδικευμένη οργάνωση στα ναυτιλιακά ζητήματα στο πλαίσιο του ΟΗΕ.

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1960 είχε αμφισβητηθεί η επιβίωση του οργανισμού επειδή το πεδίο δράσης του ήταν αρκετά περιορισμένο. Επομένως έγιναν ουσιαστικές αλλαγές στην δομή του οργανισμού με προφανή σκοπό να ενσωματωθεί ο νέος κλάδος της θαλάσσιας ρύπανσης στις δραστηριότητες του.

Η SOLAS (Convention on Safety of life at Sea) 1974 αποτελεί την κύρια σύμβαση για την αξία των πλοίων και μπορεί να υποστηρίξει κάποιος ότι αλληλοσυμπληρώνεται με την σύμβαση MARPOL 73/78 όσον αφορά την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και την εξουδετέρωση της θαλάσσιας ρύπανσης. Αναφορικά με την σύμβαση η δικαιοδοσία υπάγεται στο κράτος της σημαίας του καράβι υ αλλά και το παράκτιο κράτος έχει ένα βαθμό ελέγχου στην περίπτωση που αλλοδαπά πλοία που φέρουν την σημαία κάποιου συμβαλλόμενου κράτους χρησιμοποιούν τα λιμάνια του. Όταν ένα εμπορικό καράβι δεν τηρεί τις προϋποθέσεις της σύμβασης, οι αρμόδιες αρχές του παράκτιου κράτους μπορούν να παίρνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να μην



επιτραπεί ο απόπλους. Παρακάτω αναφέρονται οι κανονισμοί για τη ναυτική ασφάλεια. Οι οποίοι είναι οι ακόλουθες:

1. Σύμβαση για τους κανονισμούς Αποφυγής Σύγκρουσης στην Θάλασσα.
2. Σύμβαση Διεθνούς Ναυτιλιακού Δορυφορικού Οργανισμού.
3. Σύμβαση Προτύπων Πιστοποιητικών Εκπαίδευσης και Τήρησης Φυλακών των Ναυτικών.
4. Σύμβαση Ναυτιλιακής Έρευνας και Διάσωσης.
5. Σύμβαση για την ασφάλεια των εμπορευμάτων
6. Διεθνής Ναυτιλιακός Κώδικας Επικίνδυνων Φορτίων
7. Σύμβαση για τις γραμμές φόρτωσης
8. Σύμβαση για την μέτρηση της χωρητικότητας των πλοίων
9. Σύμβαση για τα επιβατηγά πλοία που εμπλέκονται σε ειδικά ταξίδια
10. Σύμβαση για την μεταφορά των επιβατών και των αποσκευών του δια θαλάσσης
11. Σύμβαση για την ασφάλεια των αλιευτικών πλοίων
12. Σύμβαση για την διευκόλυνση της ναυτιλιακής κυκλοφορίας
13. Σύμβαση περί αστικής ευθύνης για ζημιές ρύπανσης από πετρέλαιο
14. Σύμβαση για την ίδρυση Διεθνούς Κεφαλαίου με σκοπό την αποζημίωση σε περιπτώσεις ρύπανσης από πετρέλαιο.
15. Σύμβαση για την αστική ευθύνη συνέπεια ζημίας που προέρχεται από την μεταφορά πυρηνικών ουσιών.
16. Σύμβαση για την καταστολή των παράνομων πράξεων ενάντια στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας
17. Σύμβαση για την επιθαλάσσια αρωγή
18. Σύμβαση για την Πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από το πετρέλαιο
19. Σύμβαση περί πρόληψης της ρύπανσης της θάλασσας από την απόρριψη καταλοίπων και άλλων ουσιών
20. Σύμβαση για την ρύπανση της θάλασσας από τα πλοία

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα

### 2.1 Ηλιακή ενέργεια - οφέλη ηλιακής ενέργειας ως εναλλακτική μορφή ενέργειας

Σύμφωνα με τον Καγκαράκη (1992) η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να είναι αξιοποιήσιμη μόνο όταν υπάρχει συλλογή του ηλιακού φωτός, έτσι ώστε να μπορέσει να παραχθεί θερμότητα. Η θερμότητα είναι αποτέλεσμα σύγκρουσης πακέτων ενέργειας του φωτός με άλλο υλικό όπως το σώμα, η άσφαλτος, οπότε και διεγείροντα τα άτομα που φέρουν τη θερμότητα και την παράγουν (Καγκαράκη, 1992).

Ο άνθρωπος τείνει να χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια στη προσπάθειά του να ζεσταθεί. Ο ήλιος αποτελεί πηγή ενέργειας και θέρμανσης εδώ και χιλιάδες χρόνια. Στην αρχαιότητα, οι άνθρωποι έχτιζαν τα σπίτια τους, με τέτοιο τρόπο ώστε να δέχονται περισσότερη ηλιοφάνεια και να είναι ζεστά ειδικά τους χειμερινούς μήνες.

Σήμερα, η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται με ποικίλους τρόπους σε πολλές δράσεις της καθημερινότητας του ανθρώπου όπως στη γεωργική παραγωγή ως μέσο αποξήρανσης, στη θέρμανση του νερού με τη βοήθεια ειδικών συλλεκτών κ.λπ.

Ο ήλιος σήμερα, έχει χρήσεις σε όλες τις μοντέρνες οικολογικές κατασκευές. Οι ηλιακοί συλλέκτες, ανήκουν σε δυο γενικές κατηγορίες: τους συγκεντρωτικούς και μη συγκεντρωτικούς (Lorenzo E., 1994). Στους μη συγκεντρωτικούς, που αποτελούν τους πιο απλούς η περιοχή που συλλέγει το ηλιακό φως είναι ίδια με αυτή που το απορροφά.

Οι συγκεκριμένοι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που απαιτούνται θερμοκρασίες κάτω των 100°C, πράγμα που συναντάτε σε κλειστούς χώρους. Η ηλιακή ενέργεια είναι χρήσιμη και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη συλλογή της από ηλιακά θερμικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο τομέας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας έχει προοδεύσει πολύ τα τελευταία χρόνια και τη σημερινή εποχή αποτελεί την πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία όσον αφορά στις ήπιες μορφές ενέργειας. Η εκμετάλλευση της

ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: είτε με άμεσο τρόπο είτε με έμμεσο. Με τον άμεσο τρόπο χρησιμοποιούνται ενεργητικά συστήματα ενώ με τον έμμεσο τρόπο χρησιμοποιούνται παθητικά συστήματα (Τσαβασάρος, 2000).

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν διάφορους τύπους ηλιακών συλλεκτών όπως για παράδειγμα τους απλούς επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του νερού (ηλιακοί θερμοσίφωνες). Τη σημερινή εποχή υπολογίζεται ότι η συνολική επιφάνεια που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού είναι περίπου  $2.4 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ , το οποίο ισοδυναμεί με  $0.12 \cdot 10^6$  Τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2001).

Όσον αφορά στα παθητικά ηλιακά συστήματα, στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιείται εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση των χώρων π.χ. θερμοκήπια χωρίς να εισάγεται πρόσθετος εξοπλισμός. Με τη χρήση αυτή των συστημάτων μπορεί να μειωθεί σημαντικά το κόστος των ενεργειακών ηλιακών συστημάτων μέχρι και 60% και να επιτευχθούν καλύτερες συνθήκες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορεί να αποτελέσει η Ελλάδα στην οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέτοια συστήματα αφού οι κλιματολογικές συνθήκες είναι πολύ ευνοϊκές. Ο κατάλληλος συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας, μπορεί να καλύψει το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου. (Τσαβασάρος, 2000).

Οι παράγοντες που συντείνουν στη μείωση του ρυθμού αύξησης της χρήσης ενέργειας, είναι η εγκατάσταση θερμομόνωσης σε ιδιωτικές κατοικίες και διαμερίσματα, η εγκατάσταση μονάδων ηλιακής θέρμανσης σε ιδιωτικές κατοικίες και κάποια μεγάλα ξενοδοχεία, η εγκατάσταση διπλών υαλοπινάκων σε νέα και, σε μερικές περιπτώσεις, σε παλαιότερα κτίρια, καθώς και η αντικατάσταση ή ο εκσυγχρονισμός των παλιών ηλεκτρικών συσκευών και των συσκευών θέρμανσης.

Η αποθήκευση της θερμότητας αναπτύσσεται με τη χρήση δεξαμενών υγρού άλατος, οι οποίες έχουν την ικανότητα να διατηρούν τη θερμότητα που συγκεντρώθηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας με ηλιοφάνεια, προκειμένου να περιστρέφονται οι τουρμπίνες τη νύχτα ή όταν υπάρχουν σύννεφα (Βλέπε

Εικόνα 2.1).



**Εικόνα 2. 1** Σταθμός παραγωγής ενέργειας του τύπου CSP.  
Πηγή: Ζαχαρίας Θ.(2005)Ηπιες Μορφές Ενέργειας II, Πάτρα

Σε σχέση με τη διαδικασία εξοικονόμησης ενέργειας είναι προτιμότερο σήμερα ο άνθρωπος να προσπαθεί να βρει ορθολογικές μεθόδους χρήσης της ενέργειας και μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας, που οδηγούν τελικά και στη μείωση της ζήτησης ενέργειας, αντί να επιδιώκει να παράξει περισσότερη ενέργεια με στόχο την κάλυψη της συνεχούς αυξανόμενης ζήτησης (MCIT, 2013). Σύμφωνα με τον ίδιο φορέα η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τις ακόλουθες δράσεις:

1. Ορθολογιστική χρήση της ενέργειας.
2. Εφαρμογή συστημάτων για σωστή και αποδοτική διαχείριση της ενέργειας.
3. Εφαρμογή συστημάτων που θα επιφέρουν άμεση μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.
4. Εφαρμογή συστημάτων για τη μείωση της μέγιστης ζήτησης ενέργειας.
5. Εφαρμογή συστημάτων για ανάκτηση της απορριπτόμενης ενέργειας.

6. Θερμομόνωση σωληνώσεων, συστημάτων κ.λπ. για μείωση απώλειας ενέργειας.
7. Χρήση αποδοτικότερων λαμπτήρων φωτισμού.
8. Θερμομόνωση του κελύφους των κτιρίων.
9. Αντικατάσταση ηλεκτροκινητήρων, καυστήρων, αεροσυμπιεστών, ψυκτικών μηχανημάτων.

Σήμερα προκειμένου να υπάρξει εξοικονόμηση ενέργειας σε μεγάλα έργα, θα πρέπει να προηγηθεί ενεργειακή επιθεώρηση και αξιολόγηση του όλου ενεργειακού συστήματος.

### **2.1.1 Ηλιακά συστήματα**

Η υπάρχουσα νομοθεσία και το θεσμικό πλαίσιο σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια είναι περιορισμένα. Ειδικότερα η έλλειψη οργανογράμματος εφαρμογής ενός ρεαλιστικού προγράμματος εξοικονόμησης ενέργειας με βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις και μακροπρόθεσμους στόχους δημιουργεί σημαντικά προβλήματα.

Μέχρι σήμερα, η αντιμετώπιση του ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος είναι πολύ αργή. Πιο συγκεκριμένα, η μακροχρόνια έλλειψη συγκεκριμένων δράσεων, εξάντλησε πλέον όλα τα χρονικά περιθώρια και απέδειξε ότι αγνοώντας την ύπαρξη των προβλημάτων, το αποτέλεσμα είναι να πολλαπλασιάζονται και να γίνεται πιο δύσκολη η αντιμετώπισή τους.

Τα οικονομικά κίνητρα είναι απαραίτητα για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ώστε να επιτευχθεί μια ουσιαστική εξοικονόμηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε όλους τους τομείς. Άλλες φορές πάλι οι ενέργειες αυτές ήταν περιορισμένου στόχου και μικρής αποδοτικότητας. Το αποτέλεσμα ήταν οι προσπάθειες αυτές να ατονήσουν, και τελικά να καταργηθούν.

Τα ηλιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε ενεργητικά και σε παθητικά. Η λειτουργία των συστημάτων αυτών βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για τη συλλογή της ενέργειας, στη θερμοχωρητικότητα των δομικών υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους

της θερμοδυναμικής για την μετάδοση της θερμότητας μεταξύ της αποθήκης και των χώρων κτιρίου.

Η μετάδοση της θερμότητας μεταξύ των εσωτερικών χώρων και του εξωτερικού περιβάλλοντος γίνεται μέσα από τα υλικά κατασκευής του κελύφους του κτιρίου, δηλαδή τις α) διαφανείς επιφάνειες και β) τις αδιαφανείς επιφάνειες. Στις αδιαφανείς επιφάνειες η θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή μέσα από τα δομικά υλικά, με μεταφορά, και με ακτινοβολία.

Στις διαφανείς επιφάνειες με υψηλό συντελεστή διαπερατότητας, το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους, διαπερνά το υλικό της επιφάνειας και εισέρχεται μέσα στο χώρο ανάλογα με την διαπερατότητα.

Στις διαφανείς επιφάνειες η απόδοση των άμεσων ηλιακών συστημάτων μπορεί να αυξηθεί με τον περιορισμό των θερμικών απωλειών μέσα από τις διαφανείς επιφάνειες. Οι θερμικές απώλειες, μέσα από το απλό γυαλί για παράδειγμα, είναι πολλαπλάσιες από αυτές που παρουσιάζονται μέσα από ένα καλά μονωμένο τοίχο ισοδύναμου εμβαδού.

Η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά εισέρχεται στο χώρο, απορροφάτε από τα διάφορα υλικά και αντικείμενα του χώρου, των οποίων η θερμοκρασία αυξάνεται και αρχίζουν να ακτινοβολούν. Βασική προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι η κατάλληλη αποθήκευση της διαθέσιμης θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας και η σταδιακή απόδοσή της όταν απαιτείται.

Εκτός των παραπάνω, τα ηλιακά συστήματα διακρίνονται σε συστήματα με άμεσο ηλιακό κέρδος και σε συστήματα με έμμεσο ηλιακό κέρδος. Στα συστήματα με άμεσο ηλιακό κέρδος ο εσωτερικός χώρος θερμαίνεται άμεσα με την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από τα διαφανή ανοίγματα.

Η θερμική μάζα για την αποθήκευση είναι εκτεθειμένη στην ακτινοβολία ή θερμαίνεται λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του εσωτερικού αέρα και του υλικού.

Οι καθοριστικοί παράγοντες των συστημάτων με άμεσο ηλιακό κέρδος είναι καταρχήν οι μεγάλες διαφανείς επιφάνειες στη νότια όψη, η λειτουργική διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων, η μεγάλη θερμική μάζα, η εξωτερική

θερμική προστασία και η μείωση των θερμικών ανταλλαγών.

Για να είναι αποτελεσματικά τα παθητικά συστήματα θα πρέπει να υπάρχει αντίστοιχος προσανατολισμός ανοιγμάτων, κλίση ανοίγματος, μέγεθος ανοίγματος, θέση ανοίγματος, υλικό κατασκευής του ανοίγματος και άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από τη θερμική μάζα που περικλείει τον εσωτερικό χώρο. Η ποσότητα της ενέργειας που αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και αποδίδεται σταδιακά κατά τη διάρκεια της νύκτας καθορίζει τελικά τη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Στα συστήματα με έμμεσο ηλιακό κέρδος, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με έμμεσο τρόπο, μέσω του αποθηκευτικού συστήματος. Η διάκριση που υπάρχει στα συστήματα αυτά είναι α) σε επιφάνειες συλλέκτες και β) σε προσαρτημένους ηλιακούς χώρους ή θερμοκήπια. Οι επιφάνειες συλλέκτες κατασκευάζονται από υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, τοποθετούνται στη νότια πλευρά του κτιρίου και λειτουργούν σαν αποθήκη και διανομείς θερμότητας. Ο προσαρτημένος ηλιακός χώρος είναι ένας συνδυασμός ενός ηλιακού παθητικού συστήματος, δηλαδή ενός θερμοκηπίου, που λειτουργεί σε σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους και ενός τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Το θερμοκήπιο βρίσκεται συνήθως στη νότια πλευρά ενός κτιρίου καλύπτοντας μία ή και τρεις πλευρές με ένα διαφανές υλικό. Ο χώρος του θερμοκηπίου επικοινωνεί με το κυρίως κτίριο μέσω μιας τοιχοποιίας με την κατάλληλη θερμική μάζα. Τα θερμοκήπια αυτά, συνήθως προστίθενται σε υπάρχοντα κτίρια με μικρό κόστος και μπορούν να εξυπηρετήσουν πολλές λειτουργίες.

Η απόδοση του συστήματος αυτού μπορεί να επηρεαστεί από τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου από το μέγεθος αυτού, από την κλίση του υαλοστασίου και από το υλικό κάλυψης. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με τα ενεργητικά συστήματα γίνεται μέσα από την παραγωγή ζεστού νερού με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.

Η τεχνολογία των ηλιακών συλλεκτών έχει παρουσιάσει σημαντικές βελτιώσεις και η διεύρυσή της στην αγορά για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, είναι σημαντική.

Για να ελεγχθούν σωστά τα ενεργητικά συστήματα ηλιακής ενέργειας

χρησιμοποιούνται θερμοστάτες που ανιχνεύουν τη θερμοκρασία και ελέγχουν τη λειτουργία σε επιμέρους σημεία του κυκλώματος. Η τοποθέτηση των συλλεκτών αυτών γίνεται υπό κλίση, δηλαδή απαιτείται η γωνία με το οριζόντιο επίπεδο να είναι τουλάχιστον 45 μοίρες.

Όσον αφορά στον προσανατολισμό, αυτός θα πρέπει να είναι προς τον νότο, εφόσον υπάρχει ελεύθερος χώρος (Δασκαλάκη & Μπαλαράς, 2000). Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπάρχουν ευρωπαϊκές οδηγίες που σχετίζονται με τα παθητικά και ενεργητικά συστήματα ηλιακής ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει επίκαιρους στόχους, συντάσσει μελέτες διαβιβάζει κοινοτικές οδηγίες και επιβλέπει τη πρόοδο της κάθε χώρας σε σχέση με τις μελλοντικές κατευθύνσεις σε σχέση με τα συστήματα ενέργειας.

Μια από τις βασικές οδηγίες την εξέδωσε η Ευρωπαϊκή Ένωση το 1997, η οποία επιδίωκε να φτάσουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το 12% του ενεργειακού μίγματος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (IEA, 2007). Το 2011 η παρούσα οδηγία προώθησε το 12% σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε., ενώ έγινε και προσπάθεια να προωθηθεί ένας μεγαλύτερος στόχος αυτός του 22,1%. Ανατρέχοντας πάλι στο παρελθόν το 2007 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε το λεγόμενο οδικό χάρτη για τα συστήματα ενέργειας, ο οποίος θα βοηθούσε στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας των κρατών στο 20% μέχρι το 2020. Τα βασικά ορόσημα σε επίπεδο Ευρωπαϊκών οδηγιών, τα οποία συντέλεσαν στην ανάπτυξη της στρατηγικής Europe 2020 ήταν τα ακόλουθα:

1. Νοέμβριος 1997: Δημοσίευση της Λευκής βίβλου η οποία αναφέρεται σε μια κοινοτική στρατηγική και ένα σχέδιο δράσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
2. Σεπτέμβριος 2001: Η Ε.Ε. υιοθετεί την οδηγία για τη προώθηση της Ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
3. Μάιος 2003: Η Ε.Ε. υιοθετεί την οδηγία για την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων πηγών.
4. 10 Ιουνίου 2007: Η Επιτροπή παρουσιάζει τον οδικό χάρτη για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως μέρος του πακέτου της για την ενέργεια και τις κλιματικές αλλαγές.



5. 23 Ιανουαρίου 2008: Η Επιτροπή παρουσιάζει νέα οδηγία για πηγές ενέργειας.
6. 9 Δεκεμβρίου 2008: Πολιτική συμφωνία για τις πηγές ενέργειας.
7. 11-12 Δεκεμβρίου 2008: Η Ε.Ε. συμφωνεί στη τελική μορφή της οδηγίας.
8. 30 Ιουνίου 2009: Η Επιτροπή θέτει πρότυπα για τα εθνικά σχέδια δράσης που αναφέρονται στα συστήματα ενέργειας.
9. 2020: Ημερομηνία-στόχος για την Ε.Ε. και το ζητούμενο για ενεργειακές προμήθειες 20%

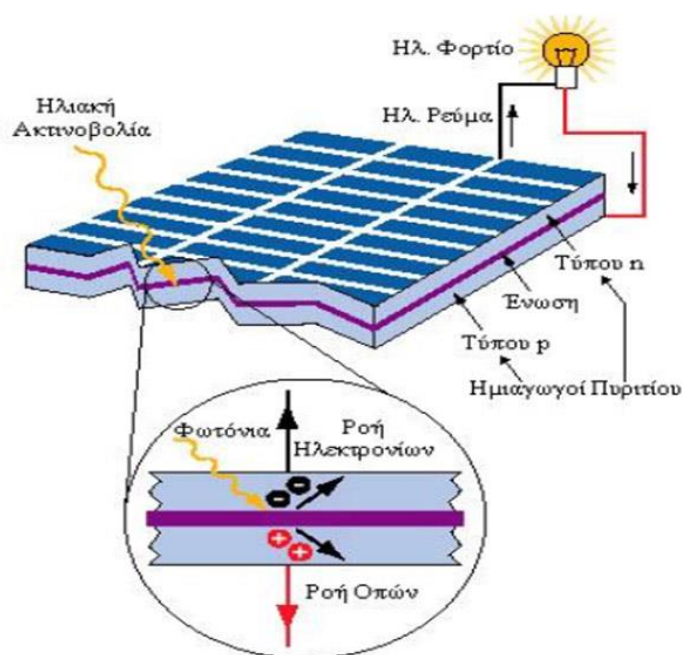
## 2.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Φωτοβολταϊκή ενέργεια, ονομάζεται η φυσική εκείνη διεργασία, κατά την οποία δύο ανόμοια υλικά σε στενή επαφή μεταξύ τους, ενεργούν ως ένα ηλεκτρικό στοιχείο όταν εκτίθενται στο φως ή σε άλλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Larousse Britannica, 2009). Ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο ορίζεται η πόλωση των ηλεκτρονικών φορτίων που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία (Πάρη, 2012). Η διαδικασία της απορρόφησης του φωτός από κάποια συγκεκριμένα υλικά, έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή της σε θερμότητα. Κάποια υλικά μπορούν να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

Όταν το φως προσπίπτει πάνω σε κρυστάλλους ορισμένων στερεών υλικών, όπως π.χ. γερμανίου ή πυριτίου, στα οποία τα ηλεκτρόνια δεν είναι εν γένει ελεύθερα να κινηθούν από άτομο σε άτομο μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια για την απελευθέρωση ορισμένων ηλεκτρονίων.

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται από την επίδραση του φωτός (φωτοηλεκτρόνια) διασχίζουν τα διαχωριστικά όρια των δύο ανόμοιων κρυστάλλων ευκολότερα κατά τη μια από τις δύο δυνατές διευθύνσεις, με αποτέλεσμα την εμφάνιση από τη μια πλευρά της επαφής αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου δηλαδή αρνητικού δυναμικού σ' αυτήν, σε σχέση με την άλλη πλευρά (Πάρη, 2012).

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο θα συνεχίζει να εμφανίζει ηλεκτρική τάση και να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, όσο το φως εξακολουθεί να προσπίπτει στα δυο υλικά (Εικόνα 2.2).



**Εικόνα 2. 2** Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Πηγή: Telematica.(2010), Φωτοβολταϊκό φαινόμενο, Ανάκτηση στις 10-8-2014 από <http://www.telematica.gr>

Το φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων, τα οποία είναι ηλεκτρονικές συσκευές, που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο φαινόμενο για την άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή στήλη ή κυψέλη (PV cell).

Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε *μονοκρυσταλλικό* ή *πολυκρυσταλλικό*. Κλείνοντας θα γίνει μια σύντομη αναφορά στο φωτόρευμα. Το φωτόρευμα αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία οπότε και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, που καλείται φωτόρευμα  $I_{\varphi}$  (Παπαδοπούλου, 2008). Χρήσιμο μέγεθος είναι η φασματική απόκριση  $S \equiv$  το πλήθος των φορέων στα ηλεκτρόδια σε σχέση με τη φωτονική ροή  $\Phi$ . Το συνολικό φωτόρευμα δίνεται επομένως από τη σχέση: όπου  $R(\lambda) =$  ο δείκτης ανάκλασης για ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$ . Η τιμή του  $I_{\varphi}$  εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες όπως (Παπαδοπούλου, 2008):

- ❖ συντελεστής ανάκλασης
- ❖ συντελεστής απορρόφησης
- ❖ το πάχος του ημιαγωγού
- ❖ το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων κ.α.

Ο τύπος του φωτορεύματος με βάση τα παραπάνω είναι ο ακόλουθος (Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2009):

$$I_{ph} = q(\mu_n + \mu_p)\eta \frac{P_{e\text{pt}}}{h\nu} \tau \frac{\Delta V}{L^2}$$

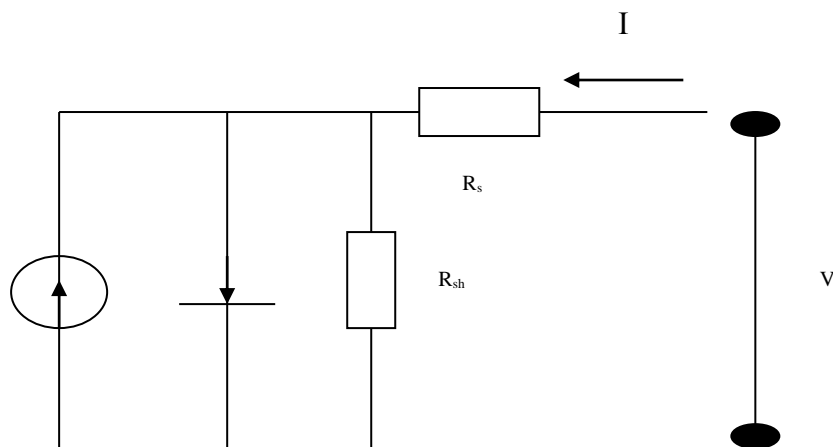
$q$ =Φορτίο ενός ηλεκτρονίου

$\mu_n$ = Ευκινησία ηλεκτρονίων

$\mu_p$ = Ευκινησία οπών

$h\nu$ =όμοια φωτόνια ενέργειας που έχουν ροή ίση με  $H$  μονάδες ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας

Προκειμένου να γίνει η εκτίμηση των χαρακτηριστικών ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα γίνει παρακάτω η αναπαράσταση του μέσα από ένα ισοδύναμο κύκλωμα το οποίο περιγράφει τη λειτουργία του. Το κύκλωμα που ακολουθεί ονομάζεται πλήρες μοντέλο μίας διόδου και χρησιμοποιείται ως μέσο μελέτης των φωτοβολταϊκών (Green, 1982).



**Σχήμα 2.1:** Ισοδύναμο Κύκλωμα ηλιακού κυττάρου  
 Πηγή: Green. M.A.(1982) *Solar cells*. Prentice-Hall

Κατά τη μεταφορά των φορέων αγωγιμότητας, παρατηρείται μια διαδικασία πτώσης της τάσης, από τον ημιαγωγό προς τις ηλεκτρικές επαφές. Η αντίσταση  $R_s$  δηλώνει την αντίσταση που οφείλεται στη κίνηση αυτή. Η

αντίσταση μέσω της διόδου δεν είναι άπειρη, αφού λόγω ελαττωμάτων αναπτύσσονται διαρροές ρευμάτων. Για το συγκεκριμένο λόγο το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει και την παράλληλη αντίσταση  $R_{sh}$ . Συνήθως στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου, η αντίσταση  $R_s$  είναι μικρότερη των  $5\Omega$  και η αντίσταση  $R_{SH}$  είναι μεγαλύτερη από τα  $500\Omega$  (Καγκαράκης, 1992). Με βάση αυτό το κύκλωμα είναι δυνατός ο υπολογισμός των δεδομένων I-V για διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας. Ένας τύπος που στο σημείο αυτό σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αλλά και με βάση τα παραπάνω θα εξέφραζε τις σχέσεις που αναπτύσσονται είναι ο ακόλουθος (Καγκαράκης, 1992):

$$I = I_0 \cdot \text{Exp}\left[\frac{qV}{A_x K_B X_t} - 1\right]$$

$I_0$  = Ανάστροφο ρεύμα

$qV$  = Μονάδες φωτονίων

### 2.2.1 Πλεονεκτήματα

Τα βασικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα εξής (Piebalgs, 2009):

1. Η λειτουργία τους έχει πολύ χαμηλό κόστος, μιας και η ηλιακή ενέργεια βάσει της οποίας λειτουργούν, είναι ανεξέλεγκτη και παρέχεται από παντού.
2. Τα φωτοβολταϊκά είναι συστήματα άκρως φιλικά για το περιβάλλον, μιας και για τη λειτουργία τους δεν απαιτείται καμιάς μορφής καύσιμο. Κατ' επέκταση η λειτουργία τους δεν παράγει τοξικά ούτε άλλα βλαβερά για το περιβάλλον προϊόντα.
3. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν ακόμα και με συννεφιά να παράγουν ενέργεια και δεν αφήνουν τον άνθρωπο χωρίς θέρμανση ακόμα και σε περίοδο που δεν έχει ηλιοφάνεια.
4. Είναι πολύ αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες.
5. Δεν εμπεριέχουν κινητά μέρη. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα σε στέγες σπιτιών μιας και δεν έχουν μεγάλο βάρος. Τα συγκεκριμένα συστήματα, παρουσιάζουν σχεδόν μηδενικές

απαιτήσεις σε σχέση με τη συντήρηση που χρειάζονται και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τέλος τα φωτοβολταϊκά μπορούν εύκολα να επεκταθούν και να βελτιωθεί η λειτουργία τους.

6. Δίνουν τη δυνατότητα στο κράτος να τα εγκαταστήσει σε περιοχές που δεν δίνεται η δυνατότητα επέκτασης των ηλεκτροφόρων καλωδίων. Συγχρόνως μειώνουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο και δίνουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε χώρες όπως η Ελλάδα.
7. Το χαμηλό λειτουργικό τους κόστος δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας. Είναι ευέλικτα, έχουν πολλές χρήσεις και εφαρμογές, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τις ενεργειακές επιλογές.
8. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρισμό ακόμα και σε απομονωμένες περιοχές.
9. Το καλοκαίρι μπορούν να συλλέξουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας που θα χρησιμοποιηθούν το χειμώνα.
10. Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν άριστα και ως αυτόνομα συστήματα.

### **2.2.2 Μειονεκτήματα**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μειονεκτούν σε αρκετούς τομείς. Συγκεκριμένα (Λάσκαρης, 2008):

1. Η ηλιακή ενέργεια έχει μικρή ένταση ανά μονάδα επιφάνειας, διατίθεται μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και επηρεάζεται από τον καιρό.
2. Η επίδραση από τη συλλογή σκόνης αλλά και η παρουσία μεγάλων παρακείμενων κτηρίων, τα οποία καθιστούν δύσκολη τη συλλογή αποδυναμώνουν τη δυναμική των συσσωρευτών.
3. Ο βαθμός απόδοσης είναι σχετικά μικρός, δεν ξεπερνά το 15%. Επομένως απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για τη συλλογή ενέργειας.
4. Έχουν υψηλό κόστος κεφαλαίου, το οποίο παρά τις τεχνολογικές

εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό.

### 2.3 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό, που χρησιμοποιούν οι βιομηχανίες στην κατασκευή των Φ/Β κυττάρων είναι, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω το Πυρίτιο (Si). Το πυρίτιο περιέχεται στην άμμο με τη μορφή του Οξειδίου του Πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ).

Το τελικό προϊόν μετά από κατεργασία χαρακτηρίζεται από υψηλή καθαρότητα (99,99%). Τα φωτοβολταϊκά πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής τους. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής (Τατάκης, 2006):

1. Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου: Αυτά αποτελούν την πρώτη γενιά φωτοβολταϊκών κυττάρων. Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα κατασκευάζονται από ένα ενιαίο κρύσταλλο που έχει υποστεί επεξεργασία σε θερμοκρασίες περίπου  $1400^\circ\text{C}$ . Τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά έχουν και τη μεγαλύτερη απόδοση.
2. Φ/Β πολυκρυσταλλικού πυριτίου: Τα συγκεκριμένα κατασκευάζονται με μια διαδικασία χύτευσης, στην οποία το λιωμένο βιομηχανικό πυρίτιο χύνεται σε μια φόρμα, όπου και μορφοποιείται. Κατόπιν τεμαχίζονται, συνήθως σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 17% έως 20% περίπου.
3. Φ/Β στοιχεία ταινίας: Το συγκεκριμένο αναπτύσσεται μέσα από τη δημιουργία μιας λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό, πάνω στην οποία εναποτίθεται το πολυκρυσταλλικό υλικό. Έχουν απόδοση περίπου 13%.
4. Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου: Πρόκειται για τεχνολογία επιστρώσεων (films), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής εξαιτίας της μικρής μάζας υλικού που απαιτείται.

Το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει άμεση σχέση με την απόδοσή τους. Η κυριότερη παράμετρος του κόστους ενός Φ/Β συστήματος είναι το κόστος των Φ/Β πλαισίων. Σε σχέση με την ισχύ και την επιφάνεια τους το κόστος κυμαίνεται στα  $587\text{ευρώ}/\text{m}^2$ . Μια γενική διάκριση στο κόστος των Φ/Β συστημάτων

αναφέρεται στα αυτόνομα αλλά και στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα. Το κόστος είναι συνήθως λιγότερο για τα τελευταία λόγω τους συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (Πρωτογερόπουλος, Τσελεπής, & Ζαχαρίου, 2001). Η κατανομή του κόστους βάση την ισχύ αναφέρεται στα παρακάτω.

**Πίνακας 3** - Κόστος με βάση ισχύ φωτοβολταϊκών συστημάτων  
 Πηγή: Πρωτογερόπουλος, Χ., Τσελεπής, Σ., Ζαχαρίου, Α. (2001), Επιδεικτικό Έργο  
 Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων σε Κτίριο του ΚΑΠΕ, συνολικής Ισχύος 5 kWp

<b>Φ/Β πλαίσια</b>	50-70%
<b>Συστήματα συσσωρευτών</b>	15-25%
<b>Αντιστροφείς-Μετατροπείς</b>	10-15%
<b>Υποδομή στήριξης</b>	10-15%
<b>Σχεδιασμός εγκατάστασης</b>	8-12%

Στο Πίνακα 4 παραθέτονται ενδεικτικά πακέτα φωτοβολταϊκών συστημάτων

**Πίνακας 4** - Πακέτα φωτοβολταϊκών συστημάτων  
 Πηγή: Πρωτογερόπουλος, Χ., Τσελεπής, Σ., Ζαχαρίου, Α. (2001), Επιδεικτικό Έργο  
 Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων σε Κτίριο του ΚΑΠΕ, συνολικής Ισχύος 5 kWp

<b>UNLIGHT STANDARD</b>	<b>MY SUNLIGHT PREMIUM</b>
My Sunlight <b>SST1</b> : 190Wp-0,5KWh   580 €	My Sunlight <b>PST1</b> : 380Wp-0,5KWh   1.150 €
My Sunlight <b>SST2</b> : 380Wp-1,0KWh   1.150 €	My Sunlight <b>PST2</b> : 760Wp-1,0KWh   1.900 €
My Sunlight <b>SST3</b> : 570Wp-1,5KWh   1.670 €	My Sunlight <b>PST3</b> : 800Wp-1,5KWh   2.820 €
My Sunlight <b>SST4</b> : 760Wp - 2,0KWh   2.190 €	My Sunlight <b>PST4</b> : 1.330Wp - 2KWh   3.680 €
My Sunlight <b>SST5</b> : 950Wp - 2,5KWh   2.710 €	My Sunlight <b>PST5</b> : 1.710Wp - 2,5KWh   4.550 €
My Sunlight <b>SST6</b> : 1.140Wp - 3KWh   3.220 €	My Sunlight <b>PST6</b> : 2.090Wp - 3KWh   5.240 €
My Sunlight <b>SST7</b> : 1.330Wp - 3,5KWh   3.740 €	My Sunlight <b>PST7</b> : 2.470Wp - 3,5KWh   6.040 €
My Sunlight <b>SST8</b> : 1.520Wp - 4KWh   4.260 €	My Sunlight <b>PST8</b> : 2.850Wp - 4KWh   6.900 €
My Sunlight <b>SST9</b> : 1.710Wp - 4,5KWh   4.780 €	My Sunlight <b>PST9</b> : 3.230Wp - 4,5KWh   7.480 €
My Sunlight <b>SST10</b> : 1.900Wp - 5KWh   5.290 €	My Sunlight <b>PST10</b> : 3.610Wp - 5KWh   8.050 €

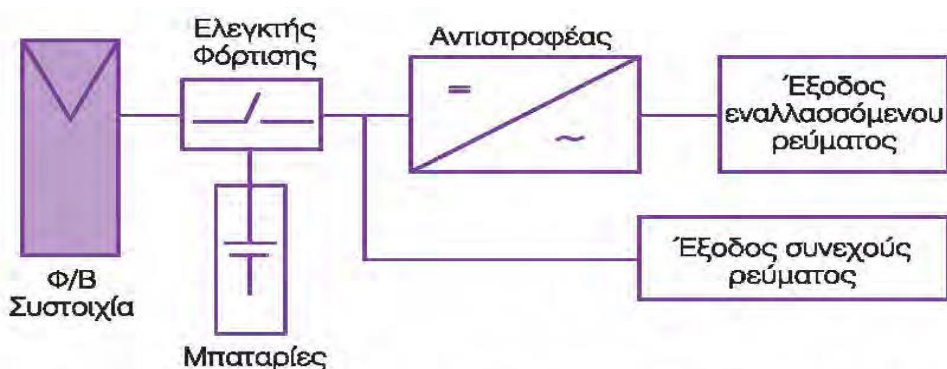
### 2.3.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Με βάση τη διάταξη παρουσιάζονται τρεις τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτοί οι τύποι είναι οι ακόλουθοι (Βλέπε Εικόνα 2.3)(Κυρίτσης, κ.ά., 2012):

- Αυτόνομο ή μη διασυνδεδεμένο με το δίκτυο Φ/Β σύστημα: Το αυτόνομο

σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη κάνοντας τη χρήση ειδικού συσσωρευτή ενέργειας (μπαταρία) το οποίο του προσφέρει ενεργειακή αυτονομία, να μην καταναλώνει πια ρεύμα από το πάροχο. Το αυτόνομο σύστημα Φ/Β είναι πολύ πιο ακριβό από το διασυνδεδεμένο.

- Διασυνδεδεμένο με το δίκτυο Φ/Β σύστημα: Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει άμεση σύνδεση με το πάροχο. Συγκεκριμένα ο χρήστης συνεχίζει να καταναλώνει ρεύμα, αλλά ταυτόχρονα πουλά ρεύμα που παράγει το Φ/Β σύστημα στο πάροχο προς μεγαλύτερη τιμή, αποκτώντας ένα επιπλέον κέρδος
- Υβριδικό σύστημα: Πρόκειται για συγκεκριμένα συστήματα τα οποία μεταμορφώνουν τη φωτεινή ενέργεια του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια και την τοποθετούν στη συνέχεια σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές ή κυψέλες υδρογόνου. Καλό είναι να υπάρχει σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα και δευτερεύουσα πηγή ενέργειας, όπως μια ανεμογεννήτρια. Το σύστημα ονομάζεται υβριδικό όταν χρησιμοποιεί δυο ή περισσότερες πηγές ενέργειας.
- Αυτόνομο σύστημα: Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετείτε σε μέρη στα οποία είναι δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη η παροχή ενέργειας, από το βασικό πάροχο. Τα συστήματα αυτά αντικαθιστούν το δίκτυο της ΔΕΗ.



Εικόνα 2. 3 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

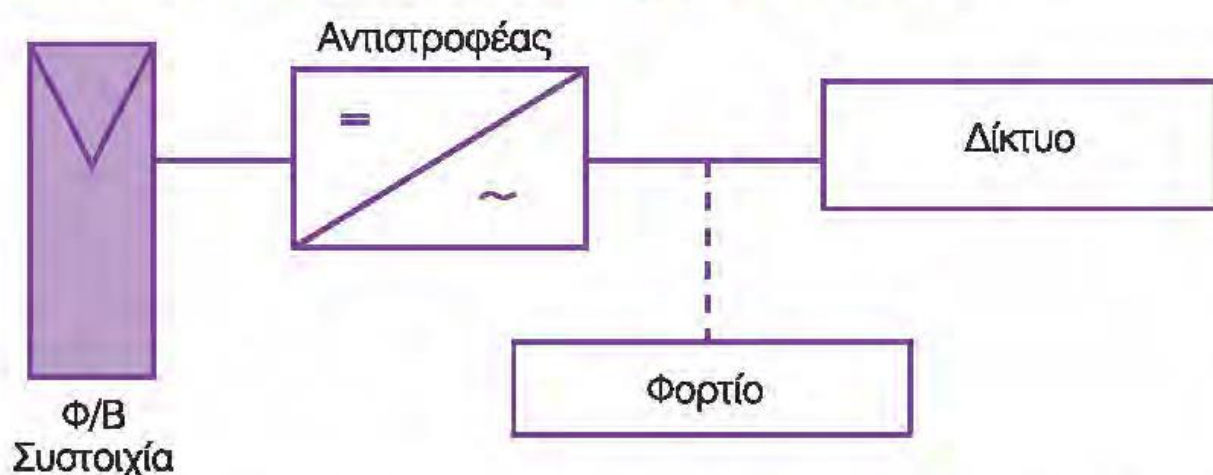
Πηγή: Κυρίτσης, Α. Ι. Κομπούγιας, Ν. Παπανικολάου, Ε. Τατάκης, Π. Σταύρου Σ.(2012)Διερεύνηση των Λειτουργικών Χαρακτηριστικών Μονοφασικών μετατροπέων για την άμεση διασύνδεση Φωτοβολταϊκών Γεννητριών με το δίκτυο Χαμηλής Τάσης των Αστικών Περιοχών Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας



Ένα βασικό φωτοβολταϊκό σύστημα, εμπεριέχει κυρίως τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) και το σύστημα μετατροπής ισχύος.

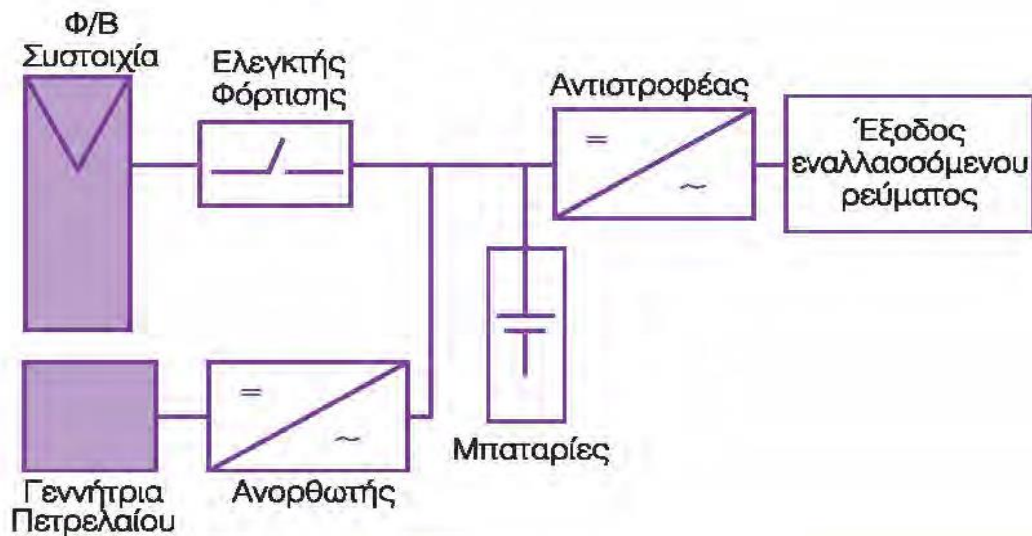
Για τη μετατροπή της ισχύος στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται αντιστροφείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (ΣΡ/ΕΡ), μετατροπείς συνεχούς ρεύματος (ΣΡ/ΣΡ) και ελεγκτές φόρτισης.

Η γνώση μέσα από τη λειτουργία Φ/Β συστημάτων έχει δείξει ότι η ελαχιστοποίηση των ηλεκτρικών απωλειών σε μερικό φορτίο λειτουργίας, η βελτιστοποίηση της ονομαστικής ισχύος του αντιστροφέα και η σωστή διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης και εκφόρτωσης των συσσωρευτών, μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη συνολική απόδοση και τη διάρκεια ζωής ενός συστήματος (Τατάκης, 2006).



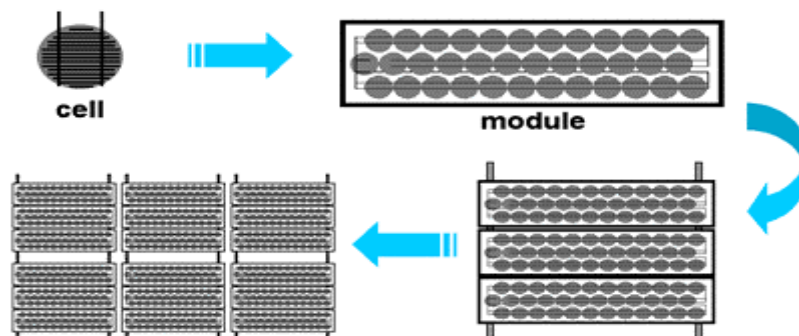
Εικόνα 2. 4 Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα με το δίκτυο  
Πηγή: Τατάκης Ε., (2006). Ηλεκτρονικά στοιχεία Ισχύος και Βιομηχανικές Εφαρμογές, Πάτρα 2006

Σε περιπτώσεις μικρής εγκατεστημένης ισχύος, όπου τα Φ/Β πρέπει να καλύψουν ένα συγκεκριμένο τοπικό φορτίο, το δίκτυο χρησιμοποιείται σαν μέσο αποθήκευσης, δηλαδή καλύπτει τις ηλεκτρικές ανάγκες όταν η ενέργεια που παράγεται από τα Φ/Β δεν επαρκεί, ενώ, σε περίπτωση περίσσειας της παραγόμενης ενέργειας, αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο. Σε κεντρικά συστήματα μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος, η παραγόμενη από τα Φ/Β ενέργεια παρέχεται απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο.



**Εικόνα 2. 5** Υβριδικό Σύστημα  
 Πηγή: Τατάκης Ε., (2006), Ηλεκτρονικά στοιχεία Ισχύος και Βιομηχανικές Εφαρμογές, Πάτρα

Τα ηλιακά κύτταρα έχουν τη δυνατότητα να συγκριθούν με μπαταρίες σαν αυτές που χρησιμοποιούνται στο ραδιόφωνο και σε άλλες μικροσυσκευές. Κάθε ηλιακό κύτταρο πυριτίου παράγει 0.5-0.6V. Τα ηλιακά κύτταρα μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους για να παράγουν μεγαλύτερες τάσεις, που είναι περισσότερο χρήσιμες. Συνδεδεμένα μεταξύ τους ονομάζονται φωτοβολταϊκά πλαίσια (Simon, 1991). Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι μια μονάδα ισχύος, που αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό πλαισίων. Μια μορφή φωτοβολταϊκής συστοιχίας παρουσιάζεται στη παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 2. 6** Φωτοβολταϊκά κύτταρα, υπομονάδες, πλαίσια και διατάξεις  
 Πηγή: Simon, R.(1991), Solar Electricity, McGraw Hill

Τα παρόντα συστήματα εμπεριέχουν το Φ/Β συναρτήσει με άλλες πηγές

ενέργειας, όπως γεννήτρια πετρελαίου, ανεμογεννήτρια, κ.λπ. Το βασικότερο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός ΦΒ πλαισίου, ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης ΦΒ εγκατάστασης καθώς και η εμπορική του τιμή, καθορίζονται με βάση την έννοια της ισχύος αιχμής (peak power), όπως αυτή ορίστηκε και για το ΦΒ στοιχείο.

Η Ισχύς αιχμής,  $P_p$ , ενός ΦΒ πλαισίου, είναι η μέγιστη ισχύς με την οποία αυτό αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου. Για παράδειγμα αν η ισχύς αιχμής ενός ΦΒ πλαισίου κρυσταλλικού πυριτίου, είναι 75 W., αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο ΦΒ πλαίσιο, όταν δέχεται μη πολωμένη ΗΜ ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος,  $E = 1 \text{ kW/m}^2$ , φάσματος AM 1,5 και η θερμοκρασία του είναι  $25^\circ\text{C}$ , παράγει ηλεκτρική ενέργεια με ισχύ 75 W (Luo, 2012).

Είναι προφανές ότι ένα ΦΒ πλαίσιο, τμήμα μιας ΦΒ συστοιχίας εγκαταστημένης στο ύπαιθρο, κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθ' όλο το έτος, βρίσκεται διαρκώς σε συνθήκες διαφορετικές απ' αυτές που αντιστοιχούν στον ορισμό της ισχύος αιχμής του. Κατά τη λειτουργία του ΦΒ πλαισίου σε πραγματικές συνθήκες, η θερμοκρασία της ΦΒ κυψελίδας και φυσικά του ΦΒ πλαισίου, είναι διάφορη των  $25^\circ\text{C}$  και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται, τυπικά, μεταξύ 0 έως  $1200 \text{ W/m}^2$  (Ηλιακή σταθερά  $1367 \text{ W/m}^2$ ). Η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, κάθε στιγμή, είναι διαφορετική και μάλιστα κατά κανόνα μικρότερη της ισχύος αιχμής του (Luo, 2012).

Σε κάθε ΦΒ πλαίσιο, εκτός των στοιχείων που αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (ισχύς  $P_p$ , ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης,  $I_{sc}$  και τάση ανοικτού κυκλώματος,  $V^{\wedge}$ ), αναγράφεται η θερμοκρασία, την οποία αποκτά το ΦΒ πλαίσιο, ευρισκόμενο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος, που προσεγγίζουν μια μέση πραγματική κατάσταση.

Η αντιπροσωπευτική περιοχή των θερμοκρασιών αυτών είναι από  $45^\circ\text{C}$  έως  $50^\circ\text{C}$ . Η θερμοκρασιακή αυτή περιοχή, αφορά, προσεγγιστικά, τη μέση θερμοκρασιακή κατάσταση του υλικού του ΦΒ στοιχείου του πλαισίου, και προσδιορίζεται κάτω από τις επόμενες συνθήκες:

Συνθήκες λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας κάτω απ' τις οποίες η θερμοκρασία

της ισούται με την ονομαστική τιμή της Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) conditions). Το ΦΒ πλαίσιο βρίσκεται σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος >· Η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας:  $G_{NOCT}=800 \text{ W/m}^2$  >~ Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα  $\theta_a=20 \text{ }^\circ\text{C}$  >~ Μέση ταχύτητα ανέμου: 1 m/s

Όταν το ΦΒ πλαίσιο παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα σε φόρτο, σε συνθήκες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας αέρα και ταχύτητας ανέμου, της κατάστασης NOCT, τότε η θερμοκρασία του,  $\theta_0$ , είναι κατά τι μικρότερη ( $\sim 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), σε σχέση με αυτή που αντιστοιχεί σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος. Η ελάττωση αυτή αιτιολογείται με βάση τη διατήρηση της ενέργειας.

Χαμηλή ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας, αποτελεί ένδειξη ταχύτερης αποβολής προς το περιβάλλον, του μέρους εκείνου της ηλιακής ακτινοβολίας, που συμβάλει, ουσιαστικά, στην αύξηση της θερμοκρασίας του. Συνεπώς, όσο μικρότερη η τιμή της για ένα πλαίσιο, τόσο μικρότερη η μείωση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος, σε σχέση με άλλο, ίδιας ισχύος αιχμής, του οποίου, όμως, η θερμοκρασία NOCT είναι μεγαλύτερη.

Σε σχέση με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο θα πρέπει να αναφερθεί ότι το καθένα παρουσιάζει τα δικά του χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κ.λπ.) που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των ηλιακών κυττάρων που περιέχει. Ο συντελεστής απόδοσης του Φωτοβολταϊκό πλαίσιο εκφράζει το λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β πλαίσιο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του S. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν με διαφορετικούς τρόπους (Yaw-Juen and Po-Chun, 2009):

1. Σε μια απλή σειρά όπου συνδέουμε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μεταξύ τους σε σειρά.
2. Σε απλές παράλληλες σειρές όπου συνδέονται φωτοβολταϊκά στοιχεία μεταξύ τους σε σειρά και αυτή τη σειρά συνδέονται παράλληλα με άλλες σειρές.
3. Σε διατάξεις αθροιστικές σταυρωτού δεσμού.
4. Σε διάταξη γεφυρωτής διασύνδεσης.

5. Σε διάταξη κυψέλης.

### 2.3.1.1 Είδη συνδέσεων φωτοβολταϊκών πλαισίων

Στη παρούσα ενότητα θα αναλυθούν τα είδη συνδέσεων των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Συγκεκριμένα (Καμπούγιας, κ.ά, 2012):

1. Centralized technology: Η centralized technology, αποτελεί μια από τις παλαιότερες τεχνολογίες η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη παραγωγή μεγάλων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία μεταφέρονται μέσω ενός αντιστροφέα. Η παραγωγή μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου αναπτύσσεται με τη βοήθεια ενός πλέγματος φωτοβολταϊκών πλαισίων, τα οποία τοποθετούνται σε ομάδες. Βασικό της παρούσας τεχνοτροπίας αποτελεί η χρήση ενός μόνου ελέγχου ανίχνευσης. Τα θετικά της μεθόδου ήταν: α) Κάλυψη μεγάλου όγκου αναγκών από ένα μόνο F/B σύστημα, β) Εξασφάλιση υψηλής τιμής. Στα αρνητικά του προσδίδονται τα ακόλουθα α) Μεγάλες τιμές, β) Αυξημένος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, γ) Απώλεια ισχύς, δ) Κίνδυνος φαινόμενου hotspot στα Φ.Β πλαίσια κατά τη περίοδο της σκίασης, ε) Αδυναμία λειτουργίας στη μέγιστη ισχύς, ζ) Υψηλό κόστος κατασκευής, η) Χαμηλό βαθμό απόδοσης.
2. String Τεχνολογία: Η string τεχνολογία που ήρθε να χρησιμοποιηθεί στη θέση της centralized, έχει πάρει σήμερα τα ινία στην αγορά, έχει γίνει πλήρως αποδεκτή στις Ευρωπαϊκές χώρες, ειδικά τις πιο αναπτυγμένες, όπως η Γερμανία. Σε αντίθεση με το παρελθόν, κάθε μονάδα αποτελείται από μια ομάδα που σε σειρά υπάρχουν συνδεδεμένα Φ/Β πλαίσια σε έναν αντιστροφέα. Η μέθοδος αυτή υστερεί στην παραγωγή ποσότητας ενέργειας. Στα θετικά της αναφέρονται: α) Το χαμηλό κόστος κατασκευής, β) Η απαίτηση σε χώρο είναι πιο μικρή, η μονάδα εγκαθίστανται εύκολα, γ) Ο έλεγχος αποδοτικότητας σε σχέση με τη centralized είναι πιο εύκολη και αποτελεσματική, δ) Δεν είναι απαραίτητη η εφαρμογή διόδων ισχύος, ε) Δυνατότητα επέκτασης, ζ) Υψηλή απόδοση. Στα αρνητικά αναφέρονται: α) Προβλήματα υψηλών τάσεων, β) Η ισχύς που παράγεται είναι από 0.5 και 1kW, γ) Η εφαρμογή της σε αστικές περιοχές είναι δύσκολη.
3. Multistring Τεχνολογία: Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί μια επέκταση της string τεχνολογίας, η οποία μάλιστα υιοθετείται σε μεγάλο βαθμό από τη

παγκόσμια αγορά Φ/Β. Η συγκεκριμένη από τη μια συλλέγει την ισχύ που συγκεντρώνει ένα centralized system, χωρίς από την άλλη να επηρεάζεται από τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Στη τεχνολογία αυτή χρησιμοποιούνται πολλές αλυσίδες εν σειρά συνδεδεμένων Φ/Β πλαισίων οι οποίες συνδέονται σε έναν κεντρικό αντιστροφέα. Στα θετικά της αναφέρονται α) η υψηλή παραγωγή ισχύς αλλά και β) η ευκολία στη τοποθέτηση, ενώ στα αρνητικά αναφέρεται α) η ύπαρξη ενός μετατροπέα που αυξάνει το κόστος εγκατάστασης ενώ β) έχει τα μειονεκτήματα της string τεχνολογίας.

4. AC-PV Module Τεχνολογία: Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι η νεότερη στο κλάδο. Αποτελεί φωτοβολταϊκές διατάξεις μικρής ισχύος, στις οποίες εγκαθίσταται ένας ηλεκτρονικός μετατροπέας συνεχούς ισχύος σε μονοφασική εναλλασσόμενη, οι οποίες συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης των αστικών περιοχών. Ο αντιστροφέας μπορεί να είναι ενσωματωμένος είτε στο πίσω μέρος του των πλαισίων, είτε στο μηχανισμό στήριξης του. Τα AC-module έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: α) Επιτρέπουν το καλύτερο δυνατό έλεγχο, β) Οι τάσεις στα σημεία επαφής είναι πολύ χαμηλές, γ) Μικρό κόστος κατασκευής, δ) Δεν απαιτεί την αρωγή και υποστήριξη εξειδικευμένου προσωπικού, ε) Είναι το πιο κατάλληλο στις αστικές περιοχές, ζ) Έχει υψηλό ποσοστό απόδοσης. Στα αρνητικά αναφέρονται α) Η αποδιδόμενη ισχύς ανά Φ/Β μονάδα δεν ξεπερνάει τα 350W, β) Είναι απαραίτητη η ανύψωση της τάσης του Φ/Β πλαισίου.

### 2.3.1.2 Στήριξη φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ο μηχανισμός κίνησης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να δίνει τη δυνατότητα κίνησης σε έναν ή σε δυο άξονες. Αναλυτικά (Baekhoej, et al., 2005):

1. Σταθερά: Είναι τα πιο απλά και οικονομικά μέσα στήριξης, που είναι δυνατόν να εφαρμοστούν για το σχεδιασμό ενός συστήματος. Είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που δίνετε προσανατολισμός είναι οι συλλέκτες. Είναι αξιόπιστος μην έχοντας κινητά μέρη.
2. Τα συστήματα ενός άξονα έχουν σχεδιαστεί ώστε να ακολουθούν την πορεία που έχει ο ήλιος από την ανατολή προς τη δύση. Εφαρμόζονται σε συστήματα

επιπέδων φωτοβολταϊκών πλαισίων και κάποιες φορές σε συστήματα συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών πλαισίων.

3. Τα συστήματα σε δυο άξονες πέρα από τη λειτουργία που κάνει ο ένας άξονας, παρακολουθούν τη μεταβολή της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους. Εφαρμόζετε σε συγκεντρωτικά πλαίσια. Τα συστήματα αυτά είναι πολύπλοκα, πιο ακριβά και έχουν ανάγκη από μεγαλύτερη και πιο ενδεδειγμένη συντήρηση.

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Εφαρμογή νέων τεχνολογιών για την μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης**

### **3.1 Εισαγωγή**

Βάση μελέτης που διεξήγαγε το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από τις χερσαίες μεταφορές αγγίζοντας το 14%, με τα ποσοστά εκπομπών των θαλασσίων και αεροπορικών μεταφορών να κυμαίνονται στο 2,7% και 2,2% αντίστοιχα. Τα παραπάνω ποσοστά όμως ενδέχεται να αυξηθούν μέσα στις απόμενες δεκαετίες, με το συνολικό ποσοστό εκπομπών αερίων προερχόμενα από τη ναυτιλία, να αγγίζουν το 15% έως το 2050 (World Energy Council, 2013). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου είναι ίσες με εκείνες των Ηνωμένων Πολιτειών στο σύνολό τους. Η θαλάσσια βιομηχανία ευθύνεται κατά πολύ και για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και έτσι θα πρέπει να αντιμετωπιστεί κατάλληλα. (Papalamboroulos Michail & Glykas Alexandros, 2008).

Η μελέτη αυτή είναι βασισμένη στον όρο των υβριδικών συστημάτων παροχής ισχύος. Ο όρος υβριδικό σύστημα παροχής ενέργειας (Hybrid Power Systems, 2008) στην ουσία περιγράφει κάθε σύστημα παροχής ενέργειας με πάνω από έναν τύπο γεννήτριας (τις περισσότερες φορές πρόκειται για μια συμβατική γεννήτρια η οποία παίρνει τροφοδότηση από κινητήρα ντίζελ ή φυσικού αερίου) και μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά (PV), ή ένα σύστημα αιολικής ή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πολλά εξ αυτών των συστημάτων χρησιμοποιούνται και συγκεκριμένα φτάνουν ως δεκάδες κιλοβάτ. Τα πιο μικρά συστήματα βρίσκονται κυρίως σε απομακρυσμένες οικίες. Εκεί έχουν τοποθετηθεί

μονάδες φωτοβολταϊκών για να ενισχύσουν μια γεννήτρια ώστε να μειωθεί ο θόρυβός της.

Ένας έξυπνος ελεγκτής χρειάζεται σε περίπτωση πολλών γεννητριών. Αυτός είναι ο άνθρωπος Πάντως, διάφορα υβριδικά συστήματα εγκαθιδρύονται σε μακρινές περιοχές, που είναι βασισμένες σε ηλεκτρονικούς ελεγκτές. Οι ελεγκτές οφείλουν να συντηρούν την ισχύ στο φορτίο, αλλά και να προστατεύουν τον εξοπλισμό βασιζόμενοι σε κάποιους παράγοντες όπως η ζήτηση φορτίου, η κατάσταση της γεννήτριας και η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας. Οι πιο πολλοί υβριδικοί ελεγκτές σχεδιάζονται εξειδικευμένα και για αυτό τον λόγο το συγκεκριμένο καθήκον δυσκολεύει.

Τα υβριδικά συστήματα ενέργειας αποτελούνται επίσης από έναν μετατροπέα (που λέγεται και CPU). Αυτός χρειάζεται για να οδηγεί τα φορτία AC από μια μπαταρία ή μια φωτοβολταϊκή συστοιχία. Χρειάζεται ένας φορτιστής μπαταρίας/ανορθωτής εάν οι μπαταρίες πρέπει να φορτισθούν από εναλλακτική πηγή ενέργειας ή γεννήτρια κινητήρα.

### **3.2 Ρύπανση από τα πλοία**

Η μεταφορά πετρελαίου από τα πλοία είναι ένας κύριος παράγοντας ρύπανσης εφόσον διαρροή καυσίμων των πλοίων μπορεί να προκαλέσει οικολογική καταστροφή αλλά και ζημιά στον τουρισμό (Taiwan Headline, 2001). Πέρα από πετρελαιοκηλίδες που δημιουργούνται, οι χρηματικές ζημιές για τα εμπορικά πλοία που κάνουν ντάμπινγκ μπορεί να είναι πολύ μεγάλες. Η εταιρία Evergreen χρειάστηκε να πληρώσει 25 εκατομμύρια δολάρια για υπόθεση με σκόπιμες απορρίψεις πετρελαίου σε αμερικάνικα ύδατα (US Department of Justice, 2005).

Για πάνω από δέκα χρόνια, πολλές εκθέσεις έχουν καταπιαστεί με ατμοσφαιρικές εκπομπές στη ναυτιλία ως πρόβλημα (Skjolsvik, 2000). Οι ατμοσφαιρικές εκπομπές των πλοίων που έχουν επιρροή και στην υγεία και το περιβάλλον συμπεριλαμβάνουν τα οξειδία του αζώτου (NOx), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και τα οξειδία του θείου (SOx) (Corbett, Fischbeck & Pandis, 1999). Η συμμετοχή των θαλάσσιων σκαφών σε PM και NOx υπολογίζεται να είναι διπλάσια ως το 2020 (Skjolsvik, 2000). Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός έχει βάλει σε ισχύ τους κανονισμούς για την ρύπανση της ατμόσφαιρας από πλοία από το 2005, μετά την επικύρωση του Παραρτήματος VI της



Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL 73/78) (International Maritime Organization, 1998).

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει από διεθνείς ναυτιλιακές βιομηχανίες στο σχετικά με τη μείωση των εκπομπών (Corbett, Fischbeck & Pandis, 1999; International Maritime Organization, 1998; Hua, 2005). Οι προσπάθειες για την μείωση των επιπτώσεων ενέχουν διάφορες δυνατότητες από χαμηλού κόστους, μέχρι πιο μεγάλες επενδύσεις. (Corbett, Fischbeck & Pandis, 1999; International Maritime Organization, 1998; Hua, 2005; European Commission 2002).

Μια εναλλακτική είναι ο εξοπλισμός που λειτουργεί με καύσιμα σαν το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (NG) και το βιοντίζελ αποτελεί επίσης λύση. Η τεχνολογία NG συγκριτικά με εκείνη της ντίζελ, επιφέρει ελάττωση των εκπομπών περίπου 50% για τα NOx και 90% για τα PM (AAPA, 2006). Το βιοντίζελ και άλλα πιο καθαρά μίγματα βιοκαυσίμων παρουσιάζουν βελτίωση 10-20% πιο πολύ από το συμβατικό ντίζελ (AAPA, 2006).

Όταν τα πλοία είναι αγκυροβολημένα, χρησιμοποιούν κυρίως μέσης ταχύτητας (περίπου 500 rpm) βοηθητικούς κινητήρες για να δουλεύουν τα συστήματα παροχής υπηρεσιών, πχ αεροσυμπιεστής, φώτα, μηχανήματα καταστρώματος, HVAC και αντλίες. Η ενέργεια από την ξηρά έχει καθιερωθεί γενικά σαν μια δυνατή προμήθεια σε ότι αφορά την χρήση. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να αντικαταστήσουν περισσότερο την παροχή ενέργειας από την ξηρά, πχ. σαν την αιολική ενέργεια (Giacomazzi, 1989).

Με βάση τις τωρινές υποδομές και δυνατότητες θα αρχίσει η μετάβαση στην οικονομία του υδρογόνου. Η εξάπλωση τεχνολογιών για χρησιμοποίηση, παραγωγή, αποθήκευση και διάθεση του υδρογόνου θα αυξηθεί περισσότερο (Hydrogen and Fuel Cell Committee, 2004). Η χρήση των κυψελών καυσίμου (FC) στις θαλάσσιες μεταφορές θεωρείται μια από τις πιο περιζήτητες εφαρμογές από πλευράς αντικατάστασης του πετρελαίου (Shvachko, 2000).

Η συνολική μέση απαίτηση ισχύος για τα θαλάσσια σκάφη εκτιμάται ότι είναι περίπου 0,8 kW/t (Adamson, 2005). Στη θεωρία, το υδρογόνο χρησιμοποιείται και ως καύσιμο σε τουρμπίνες πάνω στο πλοίο και σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, πιο αποτελεσματικά από τα ορυκτά καύσιμα (Giacomazzi, 1989). Η καύση με το οξυγόνο παράγει ατμό που εφαρμόζεται στην θέρμανση και σε άλλες διαδικασίες στα πλοία. Το υδρογόνο έχει την δυνατότητα να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια με εφαρμογή στις θαλάσσιες μεταφορές από τις κυψέλες καυσίμου. Γενικά οι

τεχνολογίες υδριδίου του μετάλλου παρέχουν πολλές εφαρμογές πάνω στα πλοία, όπως ψύξη, αποθήκευση υδρογόνου, κλιματισμός, και καθαρισμός (EG & G Technical Services, 2004).

Τα κέρδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τα εμπορικά πλοία συμπεριλαμβάνουν: (1) ελάττωση των εκπομπών, του θορύβου και οσμών (2) ευελιξία στο πως αξιοποιείται ο χώρος, (3) χρησιμοποίηση πολλών ειδών καυσίμων για πολλές ανάγκες, (4) σταθερή σχετικά απόδοση για πολλές ρυθμίσεις για την ενέργεια και οικονομία σε καύσιμα, (5) μείωση εξοπλισμών για την κατεργασία και έλεγχο της ρύπανσης, (6) καταπολέμηση των κινδύνων για πυρκαγιά και διαρροή σε σχέση με το πετρέλαιο καυσίμων (7) μικρές απαιτήσεις επάνδρωσης και συντήρησης και χαμηλότερο κόστος. Επιπλέον, φαίνεται ότι το επίπεδο ασφάλειας ως σε σχέση με το πλήρωμα επί του σκάφους και την υγεία τους αποτελεί επίσης σημαντική παράμετρο μετά την Διεθνή Σύμβαση για την Ναυτική Εργασία (Maritime Update, 2006).

Διάφορα κράτη έχουν ήδη ξεκινήσει ή θα ξεκινήσουν ένα προϊόν ή ένα πλάνο για πλοία με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ναυτιλιακή εταιρεία Wallenius Wilhelmsen κατασκεύασε το E/S Orcelle (Blue Water, 2006). Σχεδόν το μισό της ηλεκτρικής ενέργειας το παράγουν κυψέλες καυσίμου. Η από το σύστημα κυψελών παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται στα συστήματα πρόωσης και αλλού στο σκάφος. Το σχέδιο θα μπει σε εφαρμογή μέσα στα επόμενα 20 χρόνια (Blue Water, 2006). Στον Καναδά, η Ballard διαθέτει τεχνολογία 200 kW μεθανόλη/LOX FC σε στρατιωτικά υποβρύχια (Hydrogen and Fuel Cell Committee, 2004). Το Ηνωμένο Βασίλειο ενδιαφέρεται για την από κοινού ανάπτυξη ενός 1,5 MW πλοίου PEMFC και το γαλλικό ναυτικό και το ναυτικό της Ολλανδίας διερευνούν εφαρμογές κυψελών καυσίμου (Brodrick et al., 2002). Το Σαν Φρανσίσκο με το Treasure Island συνδέονται με ένα πλοίο με κυψέλες καυσίμου. (Water Transit Authority, 2003) Στην Γερμανία, εμφανίστηκε ένα υποβρύχιο κυψελών καυσίμου το 2002 (Adamson, 2005)..

Οι χρήσεις κυψελών καυσίμου στα ναυτιλιακά είναι από μικρές έως πολύ μεγάλες. Τα πεδία που μπορούν να εφαρμοστούν οι κυψέλες καυσίμων στα πλοία είναι βασικά: σε παροχή ισχύος έκτακτης ανάγκης, σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε παραγωγή ενέργειας μικρού μεγέθους για την πρόωση σε συγκεκριμένους τρόπους λειτουργίας, σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το δίκτυο του πλοίου (Adamson, 2005). Κατά την διάρκεια ελλιμενισμού το σύστημα κυψελών καυσίμου επάνω στο πλοίο, θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις γεννήτριες

ντίζελ. Όταν οι τράπεζες της μπαταρίας δεν μπορούν να πάρουν ισχύ από τις κυψέλες καυσίμου, μπορούν φορτίζονται κατ' ευθείαν με ισχύ από την ξηρά και έτσι θα ενεργοποιείται το AC του πλοίου (Sattler, 2000). Ωστόσο, οι κυψέλες καυσίμων έχουν την δυνατότητα να ανταγωνιστούν τις τεχνολογίες των κινητήρων ντίζελ και αεριοστρόβιλων στις μεγάλες αγορές.

### **3.3 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε πλοία**

Η βασική ιδέα είναι να αναλυθεί ο βαθμός στον οποίο η εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας σε πλοία κινητήρα θα ενισχύσει την ελάττωση κατανάλωσης καυσίμων, μαζί με εκπομπές του διοξειδίου.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εμπορικά πλοία είναι νεωτεριστική και σωστή. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται η ανάλυση της σχέσης κόστους-οφέλους και παράγονται συμπεράσματα αναφορικά με την χρήση και βιωσιμότητα των φωτοβολταϊκών. Οι παράγοντες που εμπεριέχονται στην ανάλυση είναι η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (SRD) και η αύξηση του κόστους των καυσίμων (FCI) μέσα στα τελευταία χρόνια. Τα δεδομένα της SRD έχουν εξαχθεί από στατιστικά στοιχεία (Stackhouse & Whitlock, 2008). Όλες οι εμπορικές τιμές για τα στοιχεία αντανακλούν τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.

#### **3.3.1 Ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου**

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εγκατάσταση φ/β συστημάτων επάνω σε πλοία είναι ακόμη σε πολύ πρώιμο στάδιο σε σχέση με τη στεριά. Για να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε πως οι υπάρχουσες τεχνολογίες εγκατάστασης φ/β συστημάτων στη στεριά μπορούν να γίνουν εφαρμόσιμες στη ναυτιλία, και ποιες είναι οι απαιτούμενες προδιαγραφές θα πρέπει να εξετάσουμε τη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος ενός πλοίου.

Ηλεκτροπρόωση είναι το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι ηλεκτρικοί κινητήρες κινούν απευθείας τους άξονες του πλοίου, δίχως την εμπλοκή άλλων μηχανών, όπως οι ντιζελομηχανές. Οι κινητήρες ντίζελ να υφίστανται στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απευθείας το αξονικό σύστημα

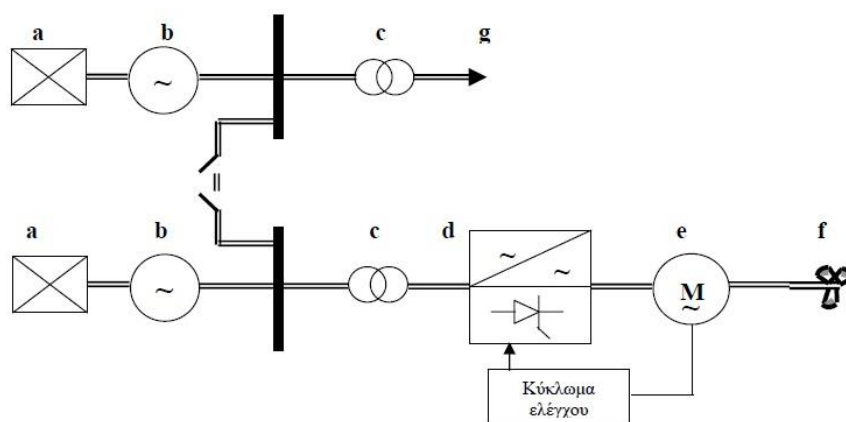
της έλικας, κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, οι οποίες τροφοδοτούν με ρεύμα τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης.

Η ηλεκτροπρόωση μετρά περίπου 60 χρόνια εφαρμογής επάνω σε πλοία με τα συστήματα να είναι τύπου DC/DC, δηλαδή παραγωγής συνεχούς ρεύματος και κίνησης με συνεχές ρεύμα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950, παρατηρείται η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος επάνω στα πλοία, με τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης όμως να εξακολουθούν να στηρίζονται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Τα τελευταία 25 χρόνια, η ανάπτυξη και η χρήση κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, οι οποίοι ανταποκρίνονται επιτυχώς στις απαιτήσεις τόσο στο επίπεδο ευελιξίας όσο και στο κομμάτι της οικονομίας καυσίμου, βάζουν τις βάσεις για την ευρύτερη διάδοση της ηλεκτροπρόωσης στην εμπορική ναυτιλία.

Το ηλεκτρικό δίκτυο ενός πλοίου, το οποίο χρησιμοποιεί σύστημα ηλεκτροπρόωσης μπορεί να είναι ενιαίο, καλύπτοντας όλες τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες ή μπορεί να απαρτίζεται από δύο υποσυστήματα, από το σύστημα της ηλεκτροπρόωσης και εκείνο των λοιπών ηλεκτρικών φορτίων.

Ειδική, υποπερίπτωση ηλεκτρικού δικτύου αποτελούν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία περιλαμβάνουν γεννήτριες άξονα και χρησιμοποιούνται σε πλοία συμβατικής πρόωσης. Οι γεννήτριες άξονα στρέφονται από την κύρια μηχανή πρόωσης του πλοίου και είτε συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου μέσω συνδέσμου συνεχούς ρεύματος είτε τροφοδοτούν μεγάλα φορτία όπως κινητήρες βοηθητικής πρόωσης.

Το γενικευμένο διάγραμμα ενός ηλεκτρικού δικτύου πλοίου με ηλεκτρική πρόωση απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

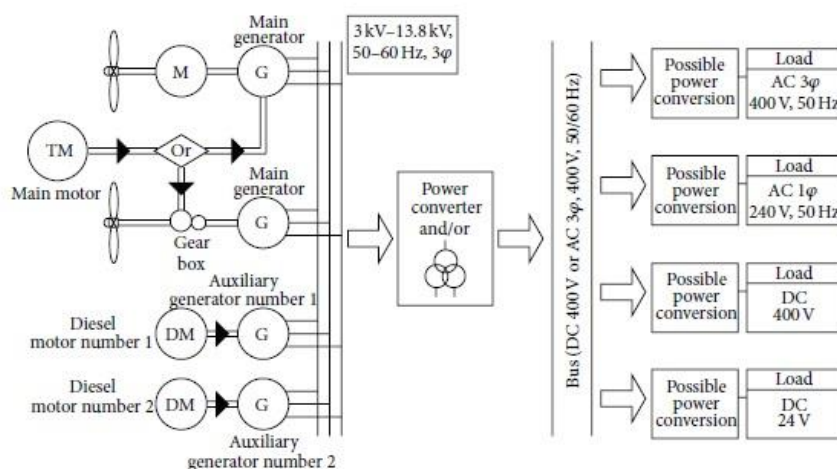


**Εικόνα 3. 1** Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου  
Πηγή: Φραγκόπουλος Χ., Προυσαλίδης Ι (2005), Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου – Τόμος Α΄

Σε ένα τυπικό ηλεκτρικό σύστημα πλοίου μπορούν να διακριθούν 4 κύριοι τομείς:

- α) η κύρια μηχανή ώθησης,
- β) οι γεννήτριες,
- γ) ο κύριος δίαυλος διανομής ενέργειας (bus) και
- δ) τα λοιπά φορτία (loads) (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κ.τ.λ.)

Στον παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ένα τυπικό ηλεκτρικό σύστημα πλοίου



Εικόνα 3. 2 Διάγραμμα ενός τυπικού ηλεκτρικού συστήματος πλοίου

Πηγή: [www.researchgate.net/figure/258399362\\_fig4\\_Diagram-of-a-typical-electrical-system-for-a-ship](http://www.researchgate.net/figure/258399362_fig4_Diagram-of-a-typical-electrical-system-for-a-ship)

Μία μηχανή, η οποία καταναλώνει πετρέλαιο ή βαρέα ορυκτά καύσιμα, χρησιμοποιείται είτε ως κύρια μονάδα πρόωσης του πλοίου και ως ηλεκτρική γεννήτρια ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Στη πρώτη περίπτωση στόχος δεν είναι μόνο η τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια του πλοίου αλλά και η ενίσχυση της κύριας μηχανής στη πρόωση του πλοίου, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην τροφοδότηση της κύριας γεννήτριας.

Εκτός της κύριας γεννήτριας συναντάμε τουλάχιστον δύο βοηθητικές γεννήτριες, οι οποίες είναι τροφοδοτούμενες από μηχανές καύσης πετρελαίου, οι οποίες είναι συνδεδεμένες στο ηλεκτρικό πλέγμα παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια. Η τάση εξόδου από την κύρια και τις βοηθητικές γεννήτριες παρουσιάζουν τιμές μεγέθους και συχνότητας ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίες κυμαίνονται από 3kV ως

13,8KV και από 50Hz ως 60Hz, αντιστοίχως. Με τη βοήθεια των μετασχηματιστών ενέργειας, η παραγόμενη ενέργεια τροφοδοτείται στον κύριο δίαυλο διανομής και από εκεί στα λοιπά φορτία του πλοίου.

Αναμεταξύ των προαναφερθέντων μερών του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου θα πρέπει να τοποθετηθούν τα μέρη ενός φ/β συστήματος και πιο συγκεκριμένα στον κύριο δίαυλο διανομής ενέργειας.

### **3.3.2 Τεχνικές προδιαγραφές των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την εγκατάσταση στα πλοία**

Η κύρια διαφοροποίηση εγκατάστασης φ/β συστημάτων στη στεριά σε σύγκριση με αυτή επάνω σε πλοία είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες, δημιουργώντας την ανάγκη εγκατάστασης ανεκτικών συστημάτων στα έντονα θαλάσσια καιρικά φαινόμενα, όπως οι δυνατοί άνεμοι, η μεγάλη υγρασία και η αλμύρα.

Οι δυνατοί άνεμοι που ασκούνται κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού καθαρίζουν σε σημαντικό βαθμό τον τρόπο εγκατάστασης του φ/β πάνελ επάνω σε πλοίο. Ο προσανατολισμός των πάνελ θα πρέπει να είναι σε αρμονία με την καρίνα του πλοίου ώστε να μην επηρεάζει την αεροδυναμική, με τη σταθερή τους κλίση να παρουσιάζεται ως το βασικό μειονέκτημα. Τα πάνελ δε δύνανται να απορροφήσουν πλήρως την ηλιακή ακτινοβολία λόγω της μη σταθερής πορείας του πλοίου και των συνεχών αλλαγών γεωγραφικού πλάτους. Πάνελ με ενσωματωμένο σύστημα κίνησης θα μπορούσαν να προσφέρουν λύση στο πρόβλημα και να είναι αποδοτικότερα, αλλά τα πρόσθετα μηχανικά μέρη, τα οποία απαιτούνται για τη συγκεκριμένη λειτουργία τα καθιστούν εξαιρετικά ευάλωτα στους δυνατούς ανέμους, οι οποίοι μπορούν να αναπτυχθούν καθώς ανεβάζουν το κόστος εγκατάστασης και συντήρησής τους.

Αποτέλεσμα αυτού είναι η εφαιπτομένη τοποθέτηση των πάνελ στην επιφάνεια του πλοίου να φαντάζει ως η πλέον ιδανική λύση, με την αντίσταση στους ανέμους να παρουσιάζεται αμελητέα, προσφέροντας παράλληλα τη μέγιστη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα κύρια προβλήματα, τα οποία συναντιούνται στον συγκεκριμένο τρόπο εγκατάστασης είναι:

α) η μέγιστη απαιτούμενη επιφάνεια εγκατάστασης

- β) η περιορισμένη ροή του αέρα πίσω από τα πάνελ μειώνοντας τη ψύξη αυτών
- γ) τα υψηλά επίπεδα υγρασίας και αλατότητας που οδηγούν στη διάβρωση των μηχανικών μερών και των μετασχηματιστών,
- δ) ο περιορισμός στην επιφάνεια εγκατάστασης καθώς το σύστημα δε θα πρέπει να εμποδίζει τις ανθρώπινες δραστηριότητες επάνω το πλοίο καθώς και τη φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων. Για το λόγο αυτό ως καταλληλότερες επιφάνειες εγκατάστασης παρουσιάζονται η μη χρήσιμες οροφές και προσόψεις, τα φουγάρα και οι πλάγιες επιφάνειες το πλοίου.
- ε) το πρόβλημα της σκίασης (hot spot phenomenon), βάση του οποίου η ολική ή μερική παρεμπόδιση απορρόφησης ηλιακής ενέργειας μπορεί να μειώσει ή ακόμη και να μηδενίσει (σε κάποιες περιπτώσεις) την απόδοση ενός συστήματος.

Στην ναυτιλιακή εφαρμογή φ/β συστημάτων ο περιορισμένος χώρος εγκατάστασης των πάνελ και η αδυναμία πρόβλεψης των επιφανειών σκίασης αυξάνουν το φαινόμενο σκίασης με το πρόβλημα να φαίνεται αντιμετώπισιμο με τη χρήση μικρότερων σε μέγεθος πάνελ συνδεδεμένα κοντά σε κύρια φορτία προκειμένου να αποφευχθούν ή έστω να ελαχιστοποιηθούν δυσλειτουργίες στο σύστημα.

### **3.3.2.1 Επιρροή του βάρους ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στην σταθερότητα ενός πλοίου**

Αναμφίβολα, το επιπρόσθετο βάρος ενός συστήματος επάνω σε πλοίο θα έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάσει το κέντρο βάρους του πλοίου. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το προστιθέμενο βάρος από τα ηλιακά πάνελ στα επάνω καταστρώματα του πλοίου, θα επιφέρει μία κάθετη προς τα επάνω μετατόπιση του κέντρου βάρους του πλοίου. Παρόλα αυτά, τα βαρύτερα μέρη ενός συστήματος όπως η μπαταρία συνήθως εγκαθίσταται στο κοίλωμα του πλοίου το οποίο ισοσταθμίζει το κέντρο βάρους του πλοίου, επιφέροντας έτσι αμελητέες αλλαγές στην συνολική σταθερότητα του πλοίου.

### **3.3.3 Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

Η ισχύς μίας εγκατάστασης ενός φ/β συστήματος σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των εγκατεστημένων πάνελ, ενώ ο τρόπος σύνδεσης (παράλληλη σύνδεση ή

σύνδεση σε σειρά) καθορίζει το ρεύμα εξόδου και την τάση του συστήματος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι τέσσερις κύριες τεχνολογίες σύνδεσης των φ/β πάνελ και των μετασχηματιστών ενός συστήματος, διαμορφωμένο κατάλληλα για τη ναυτιλιακή εγκατάσταση.

Η πρώτη τεχνολογία εγκατάστασης φ/β συστημάτων την οποία συναντάμε είναι γνωστή ως «κεντρική τεχνολογία» (centralized technology) (A. Kyritsis, 2005) και αποτελεί την παλαιότερη απ' όλες τις τεχνολογίες. Έχοντας μεγάλα ποσά εξερχόμενης ισχύος, το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η χρήση ενός μετασχηματιστή, ενώ η ενέργεια παράγεται από ηλιακά πάνελ συνδεδεμένα σε παράλληλη σειρά. Κάθε σειρά εξασφαλίζει την απαραίτητη υψηλή τάση συνεχούς ρεύματος η οποία μεταφέρεται στον μετασχηματιστή, ενώ παράλληλη σύνδεση παράγει υψηλό ρεύμα υψηλής τάσης. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της κεντρικής τεχνολογίας είναι οι δίοδοι στο τέλος κάθε σειράς, οι οποίες αποτρέπουν την αντιστροφή του ρεύματος εξ αιτίας είτε του φαινομένου σκίασης που μπορεί να προκύψει είτε στις διαφορές θερμοκρασίας του δικτύου.

#### Πλεονεκτήματα:

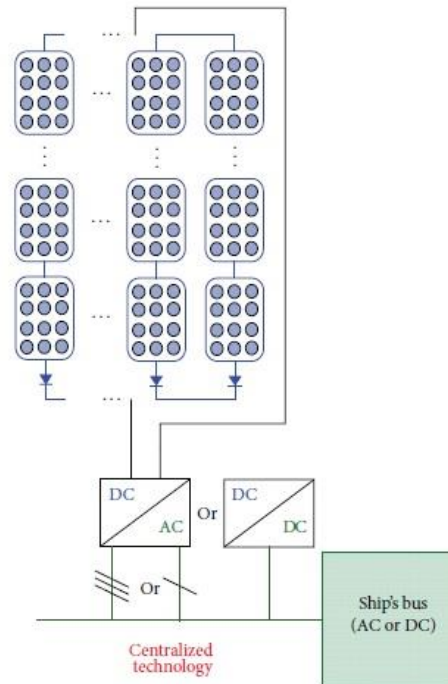
- Μεγάλα ποσά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- Ο κατά σειρά σχηματισμός των πάνελ προσφέρει ικανοποιητική εισροή συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης στον μετασχηματιστή, εξαλείφοντας την ανάγκη για ενίσχυση αυτού με επιπλέον τάση
- Ο μετασχηματιστής μπορεί να τοποθετηθεί σε απόσταση από το φ/β πλέγμα, προστατεύοντας τον από υγρασία και σκόνη

#### Μειονεκτήματα:

- Απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες εγκατάστασης
- Τα φ/β πάνελ είναι πιο επιρρεπή στο φαινόμενο σκίασης
- Η ύπαρξη ενός μόνο μετασχηματιστή αυξάνει το ρίσκο κατάρρευσης του συστήματος στο ενδεχόμενο δυσλειτουργίας
- Η συγκέντρωση υψηλής τάσης στο σημείο σύνδεσης του πλέγματος και του μετασχηματιστή
  - Αυξάνει το κίνδυνο πρόκλησης ηλεκτροπληξίας



- Αυξάνει το κόστος εγκατάστασης, λόγω ειδικής καλωδίωσης η οποία απαιτείται και συστημάτων προστασίας
- Η αναβάθμιση και η επέκταση της εγκατάστασης δεν είναι εφικτή
- Υψηλό τελικό κόστος
- Χαμηλή απόδοση σε σύγκριση με άλλα συστήματα



**Εικόνα 3. 3** Κεντρική τεχνολογία

Πηγή: [www.researchgate.net/figure/276119160\\_fig2\\_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION](http://www.researchgate.net/figure/276119160_fig2_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION)

Σε αντίθεση με την κεντρική τεχνολογία στην «τεχνολογία σειράς» (string technology) το φ/β πλέγμα απαρτίζεται από μία μοναδική σειρά, η οποία συνδέεται σε έναν μετασχηματιστή, ένα χαρακτηριστικό, το οποίο δείχνει να προκαλεί μείωση της εγκατεστημένης χωρητικότητας ενέργειας στο σύστημα αλλά φαίνεται να προσφέρει άλλα πλεονεκτήματα.

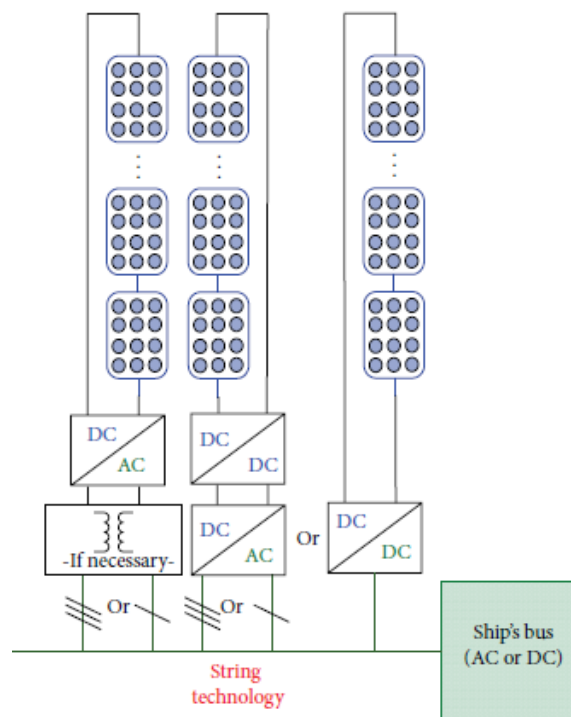
Πλεονεκτήματα:

- Λόγω της σύνδεσης των πάνελ σε σειρά, μειώνεται η ανάγκη ενίσχυσης με επιπλέον τάση προς τους μετασχηματιστές
- Δεν απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες εγκατάστασης
- Μικρότερο κόστος σε σύγκριση με την κεντρική τεχνολογία

- Δεν απαιτούνται δίοδοι για την αποτροπή αντιστροφής του ρεύματος στο τέλος κάθε σειράς
- Υπάρχει δυνατότητα αναβάθμισης του συστήματος προσθέτοντας κι άλλες σειρές και μετασχηματιστές επάνω στον κύριο δίαυλο διανομής ενέργειας
- Μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε σύγκριση με την «κεντρική τεχνολογία»
- Όπως και στην «κεντρική τεχνολογία» ο/οι μετασχηματιστής/ές μπορούν να τοποθετηθούν μακριά από το φ/β πλέγμα.

#### Μειονεκτήματα:

- Η συγκέντρωση υψηλής τάσης στα σημεία σύνδεσης του πλέγματος και του μετασχηματιστή, καθώς και το φαινόμενο της σκίασης είναι προβλήματα, τα οποία συναντάμε και σε αυτή την τεχνολογία
- Μόνο ο ίδιος τύπος ηλιακών πάνελ μπορούν να συνδεθούν στο πλέγμα
- Ανάλογα με τον αριθμό των εγκατεστημένων πάνελ η παραγόμενη ενέργεια από κάθε σειρά κυμαίνεται από 0,7kW ως 3kW



**Εικόνα 3. 4** Τεχνολογία Σειράς

Πηγή: [www.researchgate.net/figure/276119160\\_fig2\\_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION](http://www.researchgate.net/figure/276119160_fig2_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION)

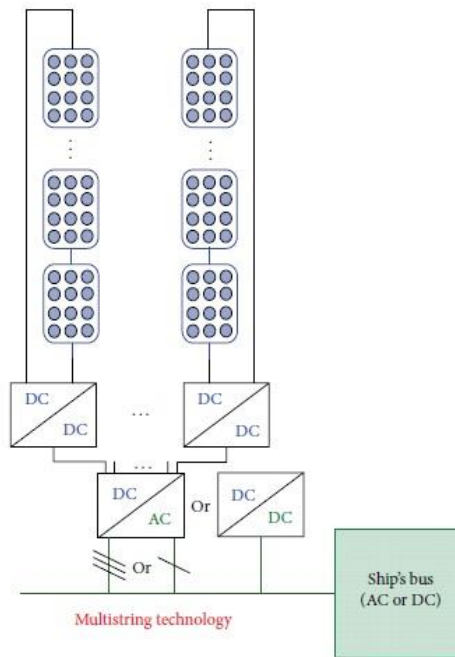
Η εξέλιξη της τεχνολογίας σειράς είναι η «τεχνολογία πολλαπλών σειρών» (multistring technology), ο σχεδιασμός της οποίας απαιτεί πολλαπλές σειρές ηλιακών πάνελ με τους μετασχηματιστές τους παράλληλα συνδεδεμένους σε έναν μοναδικό κεντρικό μετασχηματιστή.

#### Πλεονεκτήματα:

- Μεγάλα ποσά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (παρόμοια με την «κεντρική τεχνολογία»)
- Σε κάθε σειρά υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης διαφορετικού αριθμού και τύπων ηλιακών πάνελ
- Οι δίοδοι αποτροπής αντιστροφής του ηλεκτρικού ρεύματος δεν απαιτούνται
- Ο μετασχηματιστής μπορεί να τοποθετηθεί σε απόσταση από το φ/β πλέγμα

#### Μειονεκτήματα:

- Ο απαιτούμενος μετασχηματιστής για κάθε σειρά αυξάνει το συνολικό κόστος
- Η συγκέντρωση υψηλής τάσης στα σημεία σύνδεσης του πλέγματος και του μετασχηματιστή, καθώς και το φαινόμενο της σκίασης είναι προβλήματα που παραμένουν και σε αυτή τη τεχνολογία
- Παρόλο που το σύστημα μπορεί να παραμείνει λειτουργικά αν κάποια σειρά τεθεί εκτός λειτουργίας, σε περίπτωση βλάβης του κεντρικού μετασχηματιστή το σύστημα θα καταρρεύσει
- Απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες εγκατάστασης



**Εικόνα 3. 5** Τεχνολογία Πολλαπλών Σειρών

Πηγή: [www.researchgate.net/figure/276119160\\_fig2\\_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION](http://www.researchgate.net/figure/276119160_fig2_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION)

Η τελευταία τεχνολογία που συναντάμε είναι η «τεχνολογία ενσωματωμένης ενότητας» (module-integrated converter technology, MIC). Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα μοναδικό πάνελ και ένα μετασχηματιστή για κάθε πάνελ, συνδεδεμένα επάνω στο κεντρικό δίαυλο διανομής.

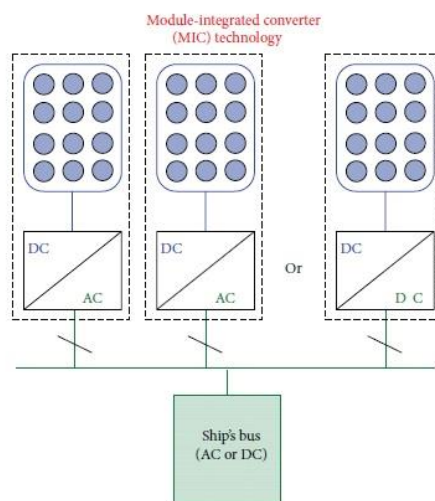
Πλεονεκτήματα:

- Στο σημείο αυτό σύνδεσης μεταξύ του πάνελ και του μετασχηματιστή η τάση που συγκεντρώνεται είναι χαμηλή
- Χαμηλό συνολικό κόστος
- Η εγκατάσταση του συστήματος δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό
- Απαιτούν τη μικρότερη επιφάνεια εγκατάστασης, κάνοντάς τα ιδανικά για ναυτιλιακή εγκατάσταση
- Εγκαθίστανται εύκολα κοντά σε σημαντικής σημασίας φορτία
- Η αναβάθμιση του συστήματος μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση περισσότερων πάνελ και μετασχηματιστών επάνω στον κεντρικό δίαυλο διανομής ενέργειας

- Ένα φ/β πλέγμα βασισμένο στην τεχνολογία MIC μπορεί να παράξει ενέργεια ακόμη και όταν ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές τεθούν εκτός λειτουργίας
- Το φαινόμενο της σκίασης δεν επηρεάζει την τεχνολογία MIC

#### Μειονεκτήματα:

- Η αποδιδόμενη ισχύς ανά Φ/Β μονάδα δεν ξεπερνάει τα 350W
- Ο μετασχηματιστής λόγω της τοποθέτησης δίπλα στο πάνελ είναι εκτεθειμένος στις εκάστοτε ακραίες καιρικές συνθήκες, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής του
- Έχει χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες



**Εικόνα 3. 6** Τεχνολογία Ενσωματωμένης Ενότητας

Πηγή: [www.researchgate.net/figure/276119160\\_fig2\\_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION](http://www.researchgate.net/figure/276119160_fig2_Fig-1-Different-structures-used-in-PV-systems-1-I-INTRODUCTION)

### **3.3.4 Μέση απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος, θέρμανσης και βρωμιάς**

Η απόδοση των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 10% και 22%, το 22% επιτυγχάνεται κυρίως σε εργαστηριακές εφαρμογές. Τα Φ/Β πάνελ, με βάση το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, στην εμπορική χρήση μπορούν να έχουν απόδοση ανάμεσα σε 13 και 15% (Kagaraki K., 2001). Στην παρούσα εργασία θα θεωρήσουμε ότι η απόδοση ενός πάνελ είναι 13%, δηλαδή η μικρότερη δυνατή.

Η σύνδεση μεταξύ της θερμοκρασίας και της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να αποδοθεί από τον δείκτη του συντελεστή απόδοσης της θέρμανσης (Kagaraki K., 2001). Η αύξηση της θερμοκρασίας στα φωτοβολταϊκά πάνελ, είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόδοσης του συστήματος. Σε συνθήκες

θερμοκρασίας δωματίου το κλάσμα της θερμικής απόδοσης είναι ίσο με 1, και για κάθε ένα βαθμό κελσίου αύξησης της θερμοκρασίας, η απόδοση του συστήματος παρουσιάζει μείωση κατά 0,005. Στη παρούσα εργασία το κλάσμα απόδοσης της θέρμανσης θεωρείται ίσο με 0,9 θεωρώντας ως σταθερά πως η μέγιστη θερμοκρασία η οποία δέχεται η επιφάνεια του πάνελ σε θαλάσσιο περιβάλλον δε ξεπερνά τους 70°C.

Η σχέση μεταξύ της απόδοσης του Φ/Β πάνελ και της ακαθαρσίας επάνω στην επιφάνειά του εκφράζεται από το συντελεστή απόδοσης της βρωμιάς (Kagaraki K., 2001). Εφόσον το εξεταζόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα θα λειτουργεί σε θαλάσσιο περιβάλλον, το οποίο θεωρείται καθαρό, το κλάσμα απόδοσης της βρωμιάς θα πρέπει να θεωρηθεί ίσο με 0,93.

#### **3.3.4.1 Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας**

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι εξαρτημένη από την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Τη βασικότερη παράμετρο αποτελεί το γεωγραφικό πλάτος. Όσο πιο κοντά στον ισημερινό, τόσο πιο αυξημένη είναι η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (Stackhouse & Whitlock, 2008). Σχετικά με τις εποχές και πως αυτές επιδρούν, φαίνεται πως το καλοκαίρι συγκριτικά με το χειμώνα η ηλιακή πυκνότητα φτάνει σε πιο υψηλά ποσοστά.

Για τα εμπορικά πλοία το σημείο αναφοράς δε μπορεί να είναι σταθερό, αφού αυτά λειτουργούν σε διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες σε όλον τον κόσμο. Ο υπολογισμός της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που αναφέρεται στην λειτουργία του πλοίου είναι μια πολύπλοκη ανάλυση, σε αντίθεση με τις εφαρμογές στην ξηρά όπου οι απαιτούμενες πληροφορίες είναι εύκολο να ληφθούν από τα στατιστικά στοιχεία.

Για τις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων στα εμπορικά πλοία, για να μπορέσουμε να ανακτήσουμε τα απαραίτητα στατιστικά δεδομένα που χρειάζονται θα πρέπει να έχουμε στη διάθεσή μας ένα μεγάλο όγκο πληροφοριών. Τα δεδομένα αυτά ανακτήθηκαν από στατιστικούς πίνακες της NASA (Stackhouse & Whitlock, 2008), ύστερα από καθημερινή καταγραφή της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, για κάθε γεωγραφικό πλάτος και μήκος μεταξύ 1983 και 2005. Με αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκε ο μέσος όρος για διάφορα γεωγραφικά πλάτη.

Δημιουργήθηκαν έξι ζώνες με κάθε μία να διαθέτει 30 μοίρες εύρος σε

γεωγραφικό πλάτος. Οι ζώνες χωρίστηκαν ανά γεωγραφικό πλάτος, αντί για μήκος αφού η διακύμανση της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζεται στο γεωγραφικό πλάτος. Έτσι, οι 3 ζώνες που προκύψανε για το βόρειο ημισφαίριο είναι:

Ζώνη 1 (0-29° βόρεια)

Ζώνη 2 (30-59° βόρεια) και

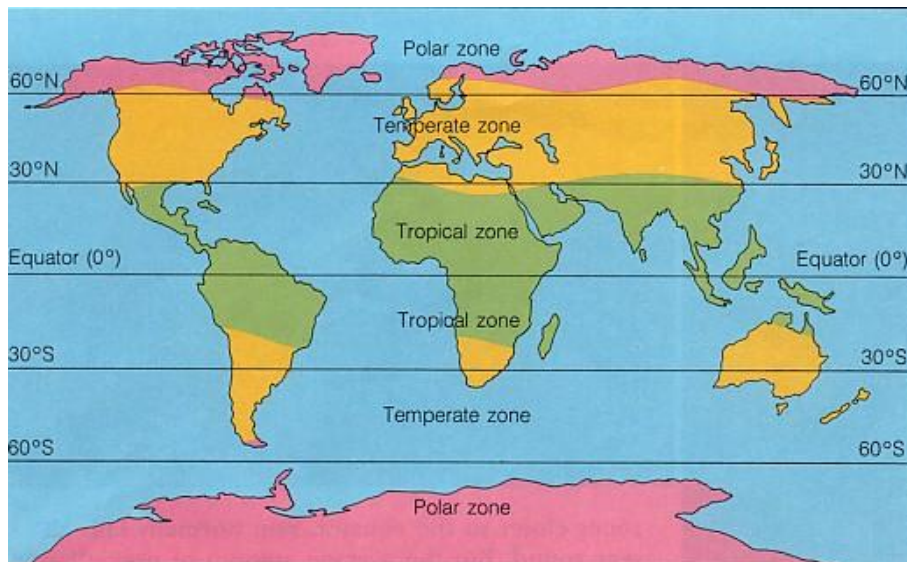
Ζώνη 3 (60-89° βόρεια).

Και αντίστοιχα για το νότιο ημισφαίριο:

Ζώνη 1 (1-29° νότια)

Ζώνη - 2 (30-59° νότια) και, τέλος

Ζώνη - 3 (60-90° νότια)



Εικόνα 3. 7 Οι ζώνες βάσει των διαφόρων γεωγραφικών πλατών

Πηγή: [www.webquest.hawaii.edu/kahihi/sciencedictionary/C/climatezone.php](http://www.webquest.hawaii.edu/kahihi/sciencedictionary/C/climatezone.php)

### 3.4 Μελέτη κόστους - οφέλους εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στη ναυτιλία

Προκειμένου να εξετάσουμε το βαθμό εφαρμοσιμότητας εγκατάστασης ενός φ/β συστήματος σε ένα πλοίο απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός πληροφοριών, οι οποίες θα πρέπει να αναλυθούν ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι:

- τα βασικά μέρη του πλοίου

- ο σχεδιασμός/ διάταξη του καταστρώματος όπου θα πρέπει να τοποθετηθούν τα πάνελ του συστήματος
- η κατανάλωση καυσίμου
- το αρχικό λειτουργικό κόστος
- το κόστος συντήρησης της γεννήτριας του πλοίου
- η απαιτούμενη παραγόμενη ισχύς για την τροφοδότηση των μπαταριών
- το κόστος των ηλιακών πάνελ
- η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας των βοηθητικών γεννητριών, η οποία θα καθορίσει τον απαιτούμενο αριθμό πάνελ που θα πρέπει να εγκατασταθούν

Μία ακόμη σημαντική πτυχή για τον υπολογισμό της εγκατάστασης είναι η διαθέσιμη επιφάνεια. Σε ένα πλοίο η διαθέσιμη επιφάνεια εγκατάστασης για την εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος εξαρτάται κυρίως από τις διαστάσεις και τον τύπο του πλοίου. Μία μέση διαθέσιμη επιφάνεια εγκατάστασης μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 500m<sup>2</sup> για τα μικρά πλοία ως 20.000m<sup>2</sup> για τα μεγαλύτερα πλοία (Scott R., 1993). Από τη στιγμή που το 90% του παγκόσμιου εμπορικού στόλου για τα πλοία χύδην φορτίου έχουν επιφάνεια καταστρώματος ίση ή μικρότερη των 10.000m<sup>2</sup> (Clarkson Research Studies, 2008) στη συγκεκριμένη εργασία θα επικεντρωθούμε στα πλοία που διαθέτουν επιφάνεια καταστρώματος από 500m<sup>2</sup> ως 10.000m<sup>2</sup>.

### 3.4.1 Υπολογισμός ενέργειας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Η μέση ημερήσια εισροή ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους ( $G_{av}$ ) υπολογίζεται ότι κυμαίνεται από 5,4 ως 7,1 KWh/m<sup>2</sup>/day (Global Solar Atlas) και εξαρτάται από την περιοχή στην οποία κινείται το πλοίο.

Το μέσο απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο ανά ημέρα ( $E_1$ ) μπορεί να υπολογιστεί από τα ηλεκτρικά στοιχεία του πλοίου.

Το μέγεθος της συστοιχίας του φ/β συστήματος μπορεί να δοθεί από τον παρακάτω τύπο:

$$PV_{area} = \frac{E_1}{G_{av} \cdot \mu_{pv} \cdot TCF \cdot \mu_{out}} \quad (\text{τύπος 1})$$

όπου:

$G_{av}$  = η ημερήσια εισροή ηλιακής ενέργειας



TCF = ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση του ρυθμού ροής (temperature correction factor) ο οποίος υπολογίζεται σε 0,8 (Soufi A., Chermitti, A., & Bibi Triki, N., 2013)

$\mu_{pv}$  = η μέση απόδοση του φ/β συστήματος (13-15%) (Kagaraki K., 2001).

$$\mu_{out} = \mu_b \cdot \mu_{inv}$$

$\mu_b$  = η απόδοση της μπαταρίας, υπολογίζεται στο 70-80% (Patil et al., 2013)

$\mu_{inv}$  = η απόδοση του αντιστροφέα/ μετασχηματιστή (inverter), υπολογίζεται στο 8-8,5% (Ahmad and Khan, 2012)

Θεωρείται πως στη μέση της ημέρας «peak sun» η επιφάνεια της γης δέχεται  $1.000 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ kWh/m}^2$  (PSI, Peak solar insulation). Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη ενέργεια του φ/β συστήματος θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον εξής τύπο:

$$PV_{\text{Peak power}} = PV_{\text{area}} \cdot PSI \cdot \mu_{pv} \quad (\text{τύπος 2})$$

### 3.4.2 Οικονομική ανάλυση

Ο οικονομικός προσανατολισμός είναι ο κύριος δείκτης τον οποίο θα πρέπει να λάβουμε υπ όψιν ως στοιχείο για πιθανά οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος σε ένα πλοίο, στο πλαίσιο παραγωγής βοηθητικής ενέργειας για την τροφοδότηση φορτίων του πλοίου με στόχο την μείωση κατανάλωσης καυσίμου, εκπομπών την ατμόσφαιρα καθώς και του κόστους.

Ο υπολογισμός της ετήσιας καθαρής εξοικονόμησης κόστους (Annual Net Cost Saving) από την εγκατάσταση του φ/β συστήματος στο πλοίο μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Annual Net Cost Saving} = \text{AAEPC} - \text{AAC} \quad (\text{τύπος 3})$$

Όπου AAEPC (Annual Auxiliary Engine Power generation Cost), δηλαδή το κόστος της ετήσιας παραγόμενης βοηθητικής ενέργειας για το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο,

είτε κατά τον απόπλου είτε κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμάνι. Το ΑΑΕΡC μετράται σε δολάρια/ έτος (US \$/ year) και είναι το άθροισμα του κόστους καυσίμου του κόστους συντήρησης και του λειτουργικού κόστους και μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{AAEPC} = P_{\text{aux}} \cdot t_c \cdot sf_c \cdot f_c \cdot 10^{-6} + \sum C_a M_a + \sum C_b O_b \quad (\text{τύπος 4})$$

$a = y$        $b = w$   
 $a = 1$        $b = 1$

$P_{\text{aux}}$  = η ισχύς της μηχανής ντίζελ (kW)

$t_c$  = ο χρόνος σύνδεσης των μπαταριών (hr/ year)

$sf_c$  = η συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου ντίζελ (g/kWhr)

$f_c$  = το κόστος καυσίμου (US \$/ tonne)

$C_a M_a$  = το κόστος συντήρησης της βοηθητικής μηχανής (US \$/ year)

$C_b O_b$  = το λειτουργικό κόστος της βοηθητικής μηχανής (US \$/ year)

Το μέσο ετήσιο κόστος AAC (Annual Average Cost) της εγκατάστασης του φ/β συστήματος, μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{AAC} = \text{TUC} \cdot \text{CFR} \quad (\text{τύπος 5})$$

Όπου TUC (Total Unit Cost) είναι το συνολικό κόστος ανά μονάδα του συστήματος και CFR (Capital Recovery Factor) ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου, του οποίου ο τύπος υπολογισμού είναι:

$$\text{CFR} = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (\text{τύπος 6})$$

$N$  = τα αναμενόμενα έτη λειτουργίας του πλοίου μετά την εγκατάσταση φ/β συστήματος

$i$  = το ετήσιο επιτόκιο

Το συνολικό κόστος ανά μονάδα (TUC) κάθε συστήματος εξαρτάται από τρεις κύριες μεταβλητές: το αρχικό κόστος, το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Το αρχικό κόστος περιλαμβάνει εκτός του κόστους αγοράς και εγκατάστασης του συστήματος, επιπρόσθετα επιμέρους συστήματα απαραίτητα για την αποτελεσματική του λειτουργία. Ο υπολογισμός του μεγέθους του κόστους εργασίας, η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και ο χρόνος λειτουργίας του συστήματος. Ένας τύπος για τον υπολογισμό κατ' εκτίμηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης είναι ο εξής: (Moustafa & El-bokl, 2014)

$$TUC = SP_{CC} \cdot Nm [1 + ins_{cp}] + \sum_{a=1}^{a=t} PG_a + \sum_{c=1}^{c=j} O\&M_c \quad (\text{τύπος 7})$$

$SP_{CC}$  = το κόστος ενός ηλιακού πάνελ (US \$)

$Nm$  = ο αριθμός των ηλιακών πάνελ

$ins_{cp}$  = το ποσοστό του κόστους εγκατάστασης

$PG_a$  = το κόστος του συστήματος ηλεκτρικού δικτύου (US \$)

$O\&M_c$  = το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (US \$)

$i$  = ο συνολικός αριθμός των μερών του συστήματος ηλεκτρικού δικτύου

$j$  = ο συνολικός αριθμός των μερών κόστους λειτουργίας και συντήρησης

Το κόστος τόσο του δικτύου ηλιακών συστοιχιών (solar array) όσο και του ηλεκτρικού δικτύου (power grid) θα πρέπει να υπολογιστούν ξεχωριστά καθώς είναι ανεξάρτητα των προδιαγραφών του συστήματος.

### 3.4.2.1 Υπολογισμός κόστους δικτύου ηλιακών συστοιχιών (solar array cost)

Το κόστος του δικτύου ηλιακών συστοιχιών εξαρτάται κυρίως από τον συνολικό αριθμό των ηλιακών πάνελ ( $Nm$ ). Ανάλογα με το στάδιο εφαρμογής του συστήματος επάνω στο πλοίο προκύπτουν οι εξής δύο μέθοδοι υπολογισμού των ηλιακών πάνελ ( $Nm$ ). Στα νεότευκτα πλοία, ο αριθμός των ηλιακών πάνελ θα πρέπει

να είναι ανάλογος του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου το οποίο θα πρέπει να καλυφθεί. Ο τύπος ο οποίος υπολογίζει τον απαιτούμενο αριθμό των πάνελ, ο οποίος καθορίζεται από την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι: (Soufi A., Chermitti, A., & Bibi Triki, N., 2013)(Wang and Nehrir, 2008)

$$Nm = \frac{E_1 \cdot PSI \cdot \mu_{PV}}{G_{av} \cdot TCF \cdot \mu_{\tau} \cdot PV_{pp}} \quad (\text{τύπος 8})$$

$E_1$  = είναι το μέσο απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο ανά μέρα (Watt/ day)

$PSI$  = η μέγιστη ηλιακή ένταση στην επιφάνεια της Γης ( $KW/m^2$ )

$\mu_{PV}$  = η μέση απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος (13-15%, (Kagaraki K., 2001))

$G_{av}$  = η μέση εισαγωγή ηλιακής ενέργειας ανά μέρα

$TCF$  = ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση του ρυθμού της ροής (temperature correction factor) ο οποίος υπολογίζεται σε 0,8 (Soufi A., Chermitti, A., & Bibi Triki, N., 2013)

$PV_{pp}$  = η μέγιστη ενέργεια από το επιλεγμένο ηλιακό πάνελ

$PV_{pp} = 1 (kW/ m^2) S_n$  ( $S$  = η επιφάνεια που καταλαμβάνει το πάνελ

$n$  = η μέση απόδοση του πάνελ, 13%)

$\mu_{\tau}$  = η συνολική απόδοση του ηλιακού πάνελ, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\mu_{\tau} = \mu_{PV} \cdot \mu_{inv} \cdot \mu_b \quad (\text{τύπος 9})$$

$\mu_{inv}$  = η απόδοση του αντιστροφέα/ μετασχηματιστή (inverter), υπολογίζεται στο 8-8,5% (Ahmad and Khan, 2012)

$\mu_b$  = η απόδοση της μπαταρίας, υπολογίζεται 70-80% (Patil, A. R., 2013)

Για ήδη κατασκευασμένα πλοία, ο αριθμός των ηλιακών πάνελ ( $Nm$ ) εξαρτάται από τη διαθέσιμη επιφάνεια του πλοίου επάνω στην οποία μπορεί να εγκατασταθεί ένα δίκτυο ηλιακών συστοιχιών και από τη διαθέσιμη έκταση ηλιακών πάνελ στην αγορά. Υπολογίζεται βάση του τύπου:

$$Nm = \frac{A_{av}}{A_{sp}} \quad (\text{τύπος 10})$$

$A_{av}$  = η διαθέσιμη επιφάνεια έκθεσης στον ήλιο ( $m^2$ )

$A_{sp}$  = η διαθέσιμη έκταση ηλιακών πάνελ στην αγορά ( $m^2$ )

Το ηλεκτρικό φορτίο το οποίο μπορεί να παραχθεί από ο φωτοβολταϊκό σύστημα ( $E_{SE}$ ) μπορεί να δοθεί από τον τύπο:

$$E_{SE} = PV_{pp} \cdot Nm \cdot \mu_b \cdot \mu_{inv} \cdot T_S \quad (\text{τύπος 11})$$

$T_S$  = ο μέσος χρόνος κατά τον οποίο αναμένεται το δίκτυο ηλιακών συστοιχιών να εκτίθεται στ ηλιακή ενέργεια (Watt/ day).

Υπολογισμός κόστους ενεργειακού πλέγματος:

Το σύστημα ενεργειακού πλέγματος περιλαμβάνει, το κόστος μπαταριών και το κόστος αντιστροφών / μετασχηματιστών (inverters)

$$\text{Batteries Cost} = N_B \cdot B_C \quad (\text{τύπος 12})$$

$B_C$  = το κόστος μιας μονάδας

$N_B$  = ο συνολικός αριθμός των μπαταριών που απαιτείται για να υποστηρίξει το σύστημα (Moustafa & El-bokl, 2014)

$$N_B = \frac{E \cdot Nd}{V_B \cdot B_{cap} \cdot DoD} \quad (\text{τύπος 13})$$

$E$  = το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να παρέχει το σύστημα ανάλογα με το αν το πλοίο είναι νεότευκτο ή όχι

$Nd$  = οι αναμενόμενες ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια

$V_B$  = η τάση της μπαταρίας (Volts)

DoD = το βάθος αποφόρτισης της μπαταρίας, συνήθως 0,8

$B_{cap}$  = η χωρητικότητα της μπαταρίας (Ahr)

$$B_{cap} = \frac{N_d \cdot E_l}{DoD \cdot \mu_{out}}$$

(τύπος 14)

$N_d$  = οι αναμενόμενες ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια

DoD = το βάθος αποφόρτισης της μπαταρίας, συνήθως 0,8

$E_l$  = το μέσο απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο ανά μέρα (Watt/day)

$\mu_{out}$  =  $\mu_B$ (απόδοση μπαταρίας) •  $\mu_{inv}$ (απόδοση αντιστροφέα)

### 3.4.3 Περιβαλλοντολογική ανάλυση

Στην παρούσα εργασία θα πρέπει να εξετάσουμε την εγκατάσταση αι εφαρμογή των φ/β συστημάτων όσον αφορά τις περιβαλλοντολογικές συνέπειες και τα αποτελέσματα που μπορεί να προκύψουν. Όπως έχει προαναφερθεί, η εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος εκτός των οικονομικών πλεονεκτημάτων, στοχεύει και στη μείωση των εκπομπών αερίων, που προκύπτει ως συνάρτηση της μειωμένης χρήσης των κύριων και βοηθητικών γεννητριών του πλοίου.

Το μέγεθος των εκπομπών, οι οποίες απελευθερώνονται από τις γεννήτριες του πλοίου εξαρτάται κυρίως από τον συντελεστή εκπομπών (emission factor) του καυσίμου το οποίο χρησιμοποιείται. Προκειμένου να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση των φ/β συστημάτων, ως μια πιο φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική μέθοδο παραγωγής ενέργειας σε αντίθεση με τις μηχανές καύσης ντίζελ, είναι πολύ σημαντικό να υπολογίσουμε την ποσότητα των καυσαερίων που εκπέμπονται από το πλοίο στην ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι οι εκπομπές ενός φ/β συστήματος είναι μηδενικές καθώς δεν απαιτεί καύση καυσίμου. Η ποσότητα των εκπομπών εξαρτάται κυρίως από το συντελεστή εκπομπών, το ηλεκτρικό φορτίο που καταναλώνεται και τις ώρες λειτουργίας του πλοίου.

Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τους κύριους συντελεστές εκπομπών για μία γεννήτρια καύσης ντίζελ. (Seddiek I. S.,M. A., & Banawan,A. A., 2013)

**Πίνακας 5** - Σύνοψη των κύριων παραγόντων εκπομπών της παραγωγής πετρελαίου ντίζελ  
Πηγή: (Seddiek I. S.,M. A., & Banawan,A. A., 2013)

<b>Emission Gases</b>	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>x</sub>	HC
<b>Emission Factor (g/KW.h)</b>	698	1,68	13,43	0,55	2,56	0,53

Παίρνοντας ως δεδομένο πως το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει μηδενικές εκπομπές, ο υπολογισμός του ποσού των εκπομπών ( $E_{deduct}$ ) που μπορούν να εξοικονομηθούν από την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος επάνω σε ένα πλοίο, μπορεί να εκφραστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{deduct} = E_f \cdot t_s \cdot P$$

(τύπος 15)

Όπου:

$E_f$  = ο συντελεστής εκπομπών (emission factor) (g/kWh)

$T_s$  = ο μέσος χρόνος κατά τον οποίο αναμένεται το δίκτυο ηλιακών συστοιχιών να εκτεθεί σε ηλιακή ενέργεια (Watt.hr/day)

$P$  = η εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη χρήση του συστήματος ηλιακής ενέργειας

Είναι σαφές πως η εγκατάσταση ενός ηλιακού συστήματος σε ένα πλοίο μπορεί να μειώσει τη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων ανάλογα πάντα από τη καλυπτόμενη επιφάνεια του πλοίου από ηλιακά πάνελ. Ωστόσο υπάρχει πιθανότητα, η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια να ξεπερνάει τις τρέχουσες ενεργειακές ανάγκες του πλοίου. Στη περίπτωση αυτή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μέσα αποθήκευσης για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η χρήση μπαταριών, οι οποίες μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια και στη συνέχεια να τροφοδοτήσουν ξανά το σύστημα, έχουν όμως υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, καθώς απαιτούν αντικατάσταση κάθε 6 χρόνια, ανάλογα πάντα με τη χρήση τους, και μετά το πέρας του ορίου ζωής χρήζουν ειδικής μεταχείρισης προκειμένου να αποφευχθούν περιβαλλοντολογικές μολύνσεις.

Παρόλο που τα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον, η χρήση μπαταριών αποτελεί ένα από τα βασικά τους μειονεκτήματα, καθώς οι μπαταρίες είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον κυρίως λόγω των χημικών στοιχείων που εμπεριέχουν.

Έτσι στην εκάστοτε αξιολόγηση κόστους ενός ηλιακού συστήματος θα πρέπει να εμπερικλείεται και το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και αποκατάστασης των μπαταριών βάσει ενός υπεύθυνου περιβαλλοντολογικού τρόπου. (Hybrid Booklet and Hybrid Power System – Issues & Answers, 2008)

### 3.5 CASE OF STUDY

Για το case study της εργασίας χρησιμοποιήσαμε τα στοιχεία του πλοίου γενικού φορτίου SMARAGD (IMO:9267704) ([www.debockmaritiem.nl/uk/smaragd.htm](http://www.debockmaritiem.nl/uk/smaragd.htm)). Το πλοίο διαθέτει τρεις γεννήτριες με τα χαρακτηριστικά της μηχανής να παρουσιάζονται στον πίνακα 6, ενώ τα χαρακτηριστικά του πλοίου βρίσκονται στον πίνακα 7.

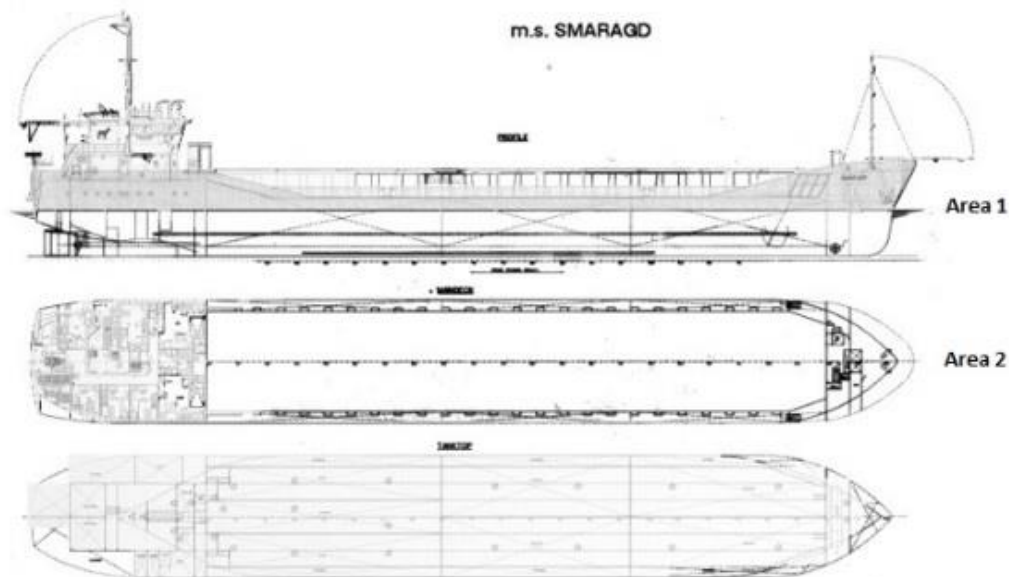
**Πίνακας 6** - Χαρακτηριστικά μηχανής πλοίου SMARAGD

Παραγόμενη ενέργεια	900 kW, 50 Hz
Κατανάλωση καυσίμου	2,5 tons / day 210 gm / kW/ hr

**Πίνακας 7** - Χαρακτηριστικά πλοίου SMARAGD

Length	88 m
Beam	12 m
Depth	6 m





**Εικόνα 3. 8** Σχεδιάγραμμα πλοίου m.s. SMARAGD  
 Πηγή: [www.debockmaritiem.nl/uk/smaragd.htm](http://www.debockmaritiem.nl/uk/smaragd.htm)

**Πίνακας 8** - Περιοχές διαθέσιμες για εγκατάσταση φ/β συστήματος

	Length	Beam	m <sup>2</sup>
Περιοχή 1	11,2	6,5	72,8
Περιοχή 2	16,2	7,3	118,26
Σύνολο			191,06

Θεωρούμε ότι το πλοίο κινείται στη Μεσόγειο θάλασσα και για τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία, τα οποία αναγράφονται στον πίνακα 9.

**Πίνακας 9** - Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας

PSI	1.000	W/m <sup>2</sup>
TCF	0,8	
G <sub>av</sub>	5400	Wh/m <sup>2</sup> /day
μ <sub>pv</sub>	0,13	
μ <sub>out</sub>	0,765	
Nd	4	days

Οι επιλεγμένες μονάδες του φ/β συστήματος είναι από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, με τις ακόλουθες προδιαγραφές να λαμβάνονται ως δεδομένες και οι οποίες προκύπτουν από τις συνθήκες δοκιμών

- Peak power: 240 Watt
- Peak-power voltage: 29,6 V
- Peak-power current: 7,67 A

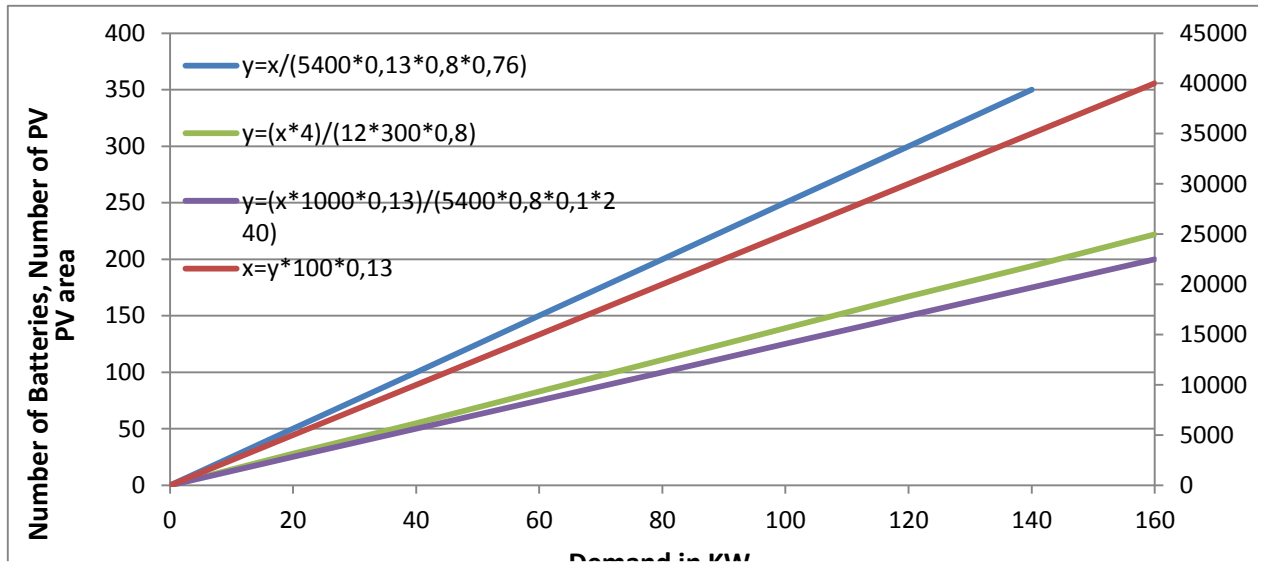
Οι επιλεγμένες μπαταρίες έχουν τα εξής χαρακτηριστικά, 12V και 300Ahr, με τη χωρητικότητα των μπαταριών να υπολογίζεται από τον τύπο 14. Η τάση του κύριου διαύλου διανομής ενέργειας (bus voltage) είναι 24V και οι απαιτούμενες αμπερώρες (Ahr) της μπαταρίας ίσες. Η χωρητικότητα αποθήκευσης διαχωρίζεται από τον κύριο δίαυλο διανομής ενέργειας.

Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται τα μέσα κόστη της αγοράς για τα μέρη ενός φ/β συστήματος.

**Πίνακας 10** - Κόστη φ/β συστήματος  
Πηγή: National Renewable Energy Laboratory, 2016

PV Panel	\$ 2/ W
Battery	\$ 1/ Ah
Inverter	\$ 0,5/ W
Installation	10% of PV cost
Maintenance/year	2% of PV cost

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη παραγόμενη ενέργεια σε αναλογία με τα απαιτούμενα ηλιακά πάνελ στη διαθέσιμη περιοχή του ποίου χρησιμοποιήσαμε τα δύο παρακάτω γραφήματα.

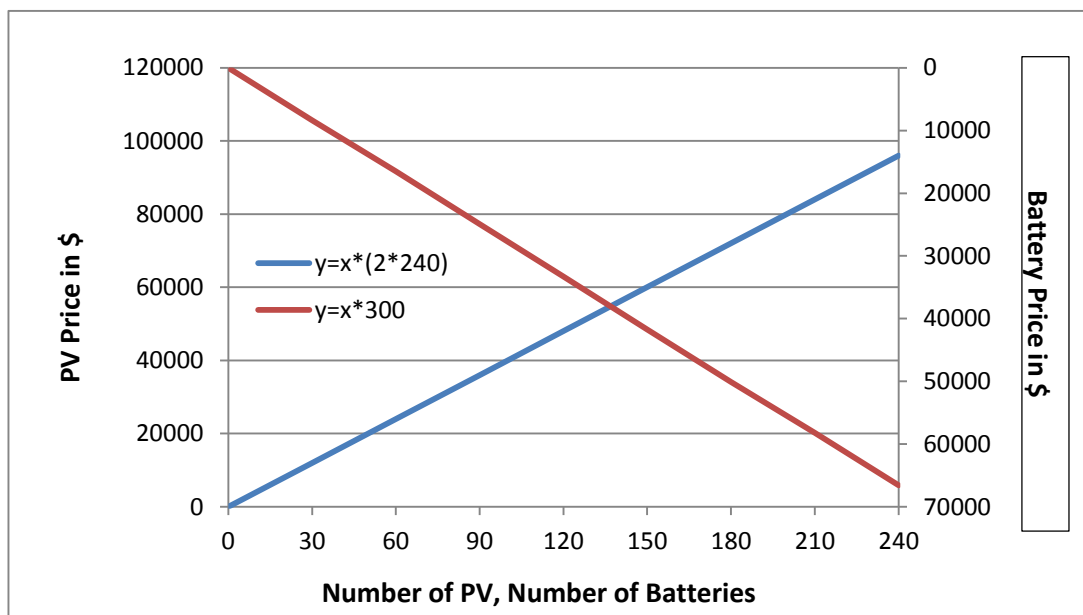


Γράφημα 1 Το φωτοβολταϊκό σύστημα ως προς τη ζήτηση ενέργειας.

Το γράφημα 1 προκύπτει από τους τύπους 1, 2, 8 και 13.

Όπου:

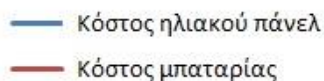
- Το ποσό της παραγόμενης ενέργειας
- Ο αριθμός των μπαταριών που απαιτούνται
- Ο αριθμός των πάνελ που απαιτούνται
- Η μέγιστη ισχύς (Watt)



Γράφημα 2 Το κόστος των φωτοβολταϊκών πάνελ και κóστη μπαταριών.

Το γράφημα 2 προκύπτει από τις τιμές στον πίνακα 10 και από τις τιμές που παίρνουμε από το γράφημα 1.

Όπου:



Μέσω του γραφήματος 1 μπορούμε να υπολογίσουμε, χρησιμοποιώντας την ζητούμενη ενέργεια (kW) την απαιτούμενη περιοχή εγκατάστασης των φ/β πάνελ ( $PV_{area}$ ) και τον αριθμό των απαιτούμενων μπαταριών και αντιστρόφως.

Προκύπτει πως από την διαθέσιμη επιφάνεια του πλοίου μας  $191 \text{ m}^2$  θα παραχθούν 82 kW ενέργειας. Οπότε θα χρειαστούμε 103 ηλιακά πάνελ ενέργειας 240 Watt, ενώ τέλος απαιτούνται 114 μπαταρίες για να αποθηκεύσουν την ημερήσια παραγόμενη ενέργεια. Θεωρώντας ως σταθερά πως το προσδόκιμο ζωής ενός ηλιακού πάνελ είναι 25 χρόνια, ενώ αντίστοιχα των μπαταριών είναι 5 χρόνια, γίνεται κατανοητό πως απαιτείται η αγορά 4 γκρουπ μπαταριών κάθε 5 χρόνια. Στη συγκεκριμένη μελέτη έχουμε πάρει ως δεδομένο 5 χρόνια λειτουργίας του πλοίου.

Από το γράφημα 2 προκύπτουν τα κόστη για τα απαιτούμενα πάνελ και μπαταριών βάσει της διαθέσιμης επιφάνειας του πλοίου και της ενέργειας που θα πρέπει να παραχθεί. Συνεπώς για την εγκατάσταση 103 ηλιακών πάνελ το κόστος ανέρχεται στα \$ 49440, ενώ αντίστοιχα το κόστος τοποθέτησης των μπαταριών είναι \$ 34200.

### 3.5.1 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας θα αναλύουμε το κόστος του κύκλου ζωής του φ/β συστήματος. Το κόστος κύκλου ζωής περιλαμβάνει το αρχικό κόστος και το λειτουργικό κόστος, και εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες. Το κόστος κύκλου ζωής ενός φ/β συστήματος περιλαμβάνει το άθροισμα της παρούσας αξίας των μονάδων φ/β συστήματος (TUC), των μπαταριών, του μετασχηματιστή, το κόστους εγκατάστασης, το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης του συστήματος (O&M cost), τα οποία μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέγονται από τις εγκατεστημένες μονάδες, τις εταιρείες και τους καταλόγους, είτε λαμβάνονται ως ποσοστό του κόστους κεφαλαίου και των τόκων (Bhatt and Verma, 2014).

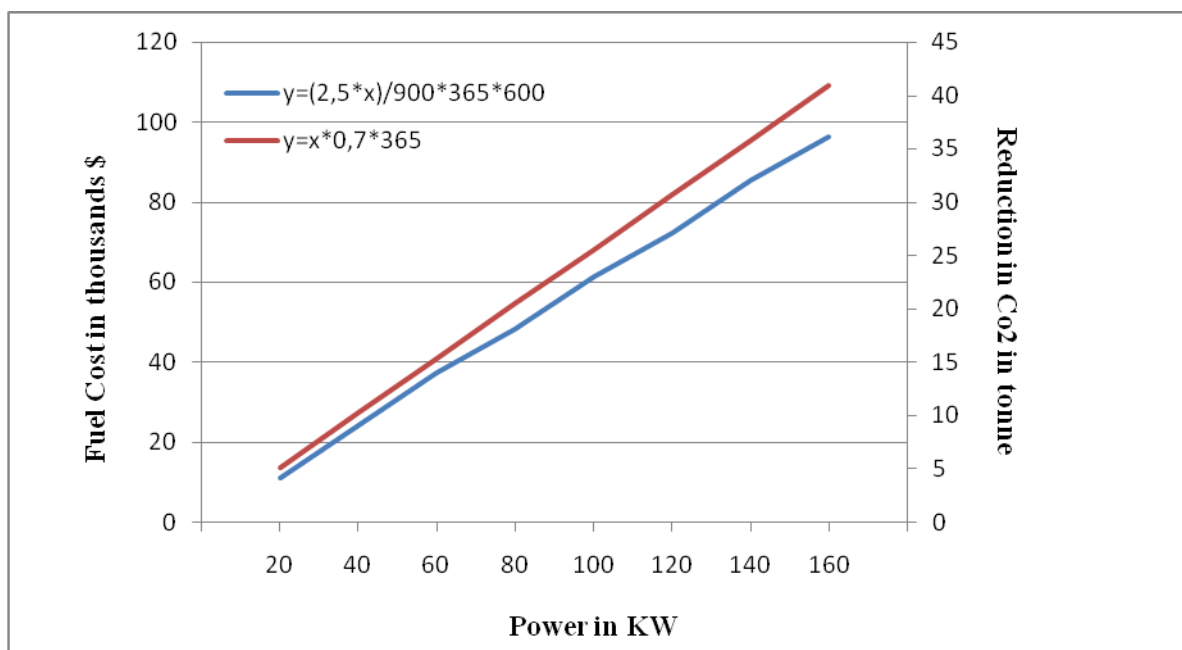
Για να υπολογίσουμε το μέσο ετήσιο κόστος (Annual Average Cost) της εγκατάστασης του φ/β συστήματος θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο 3 καθώς και τους τύπους 4 και 5 για να υπολογίσουμε το συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου (CRF) και το συνολικό κόστος ανά μονάδα (TUC) αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπ' όψιν ως ετήσιο επιτόκιο ( $i$ ) =10% και τα αναμενόμενα χρόνια λειτουργίας του πλοίου ( $N$ ) = 5 χρόνια.

Βάση των παραπάνω τύπων και ορίζοντας την παραγόμενη ενέργεια του φ/β συστήματος και τη διαθέσιμη περιοχή εγκατάστασης τους συστήματος πάνω στο πλοίο από το γράφημα 1 και υποθέτοντας ότι τα πάνελ του συστήματος κοστίζουν \$ 2 / Watt, μπορούμε να υπολογίσουμε το ετήσιο κόστος. Το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει είναι πως το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε \$ 37400 / ανά έτος.

### **3.5.2 Οικονομική και περιβαλλοντολογική ανάλυση**

Το μέσο ετήσιο κόστος εγκατάστασης φ/β συστήματος (AAC) θα πρέπει να συγκριθεί με την κατανάλωση καυσίμου η οποία προκύπτει για την παραγωγή της απαιτούμενης ετήσιας ενέργειας (kW). Η κατανάλωση του κινητήρα προσδιορίζεται από τις προδιαγραφές του, στη περίπτωση του πλοίου προς μελέτη m.s. SMARAGD, βρέθηκε πως κυμαίνεται περίπου στα 210 gm/kW/hr. Η μέση τιμή του ναυτιλιακού καυσίμου για το 2016 είναι \$ 600/ ton (BUNKER INDEX MDO), και σε συνδυασμό με την κατανάλωση καυσίμου της γεννήτριας, μπορούμε να προσδιορίσουμε την κατανάλωση καυσίμου για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας.

Θεωρώντας πως 1kW ηλεκτρικής ενέργειας παράγει 0,7 kg διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> (Greenhouse Gas Equivalencies Calculator) μπορούμε να υπολογίσουμε τις εκπομπές του κινητήρα. Το γράφημα 3 αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην απαιτούμενη ενέργεια, το μέσο ετήσιο κόστος εγκατάστασης, την αντίστοιχη τιμή καυσίμου καθώς και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.



**Γράφημα 3** Σχέση κόστους- εκπομπών CO<sub>2</sub>

Όπου:

- Κόστος καυσίμου
- Παραγωγή CO<sub>2</sub>

Τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν φανερώνουν πως η χρήση φ/β συστημάτων ως βοηθητική πηγή παραγωγής ενέργειας έχει θετικά οικονομικά και περιβαλλοντολογικά αποτελέσματα. Για την απαιτούμενη ενέργειας 82 kW, η οποία παράγεται από το φ/β σύστημα επάνω στο πλοίο προκύπτει εξοικονόμηση μεγαλύτερη από \$ 10000 ανά έτος ποσό το οποίο ισοδυναμεί περίπου στο 20% του κόστους καυσίμου για την παραγωγή του ίδιου ποσού ενέργειας. Στο πίνακα 11 παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας.

**Πίνακας 11** – Αποτελέσματα

Ετήσιο κόστος φ/β συστήματος	\$ 37400
Κόστος καυσίμου/ έτος για 82 kW	\$ 48200
Εξοικονόμηση ανά έτος	\$ 10800
Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> ανά έτος	20,4 ton

### 3.6 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των διαφόρων τεχνολογικών φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο τρόπος λειτουργίας τους και στη συνέχεια, ο τρόπος εφαρμογή τους στο πλοίο, προκειμένου να αποτελέσει μία βοηθητική πηγή ενέργειας, με στόχο την μείωση των εκπομπών καυσαερίων στην ατμόσφαιρα, την εξοικονόμηση καυσίμου και κατά συνέπεια τη μείωση κόστους λειτουργίας του πλοίου. Η χρήση των ηλεκτρικών πάνελ φαίνεται ως η πιο εφαρμόσιμη λύση για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, με την εγκατάστασή τους όμως επάνω στο πλοίο να αποτελεί μία πρόκληση, εξ αιτίας των ιδιοτήτων που παρουσιάζονται. Η επάρκεια διαθέσιμης περιοχής εγκατάστασης στο κατάστρωμα του πλοίου για την έκθεση των πάνελ στον ήλιο παρουσιάζεται ως ο κυριότερος περιορισμός. Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να είναι ανθεκτικό στις δύσκολες καιρικές συνθήκες που συναντιούνται στο θαλάσσιο περιβάλλον και ιδιαίτερα στους ανέμους μεγάλων εντάσεων, στην υγρασία και στη διάβρωση, σε συνδυασμό με τον περιορισμό στην διαθεσιμότητα χώρου για την εγκατάσταση. Σαν αποτέλεσμα, το σύνολο των παραπάνω περιορισμών είναι αυτό που φαίνεται να καθορίζει την τεχνολογία και τον τρόπο συνδεσμολογίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στη συνέχεια, εξετάσαμε την αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού συστήματος, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και από την τοποθεσία που κινείται στο πλοίο, με τα πλοία να δέχονται μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ενέργειας κάνοντας το φωτοβολταϊκό σύστημα προς εγκατάσταση πιο αποδοτικό σε σύγκριση με αυτά που κινούνται σε πιο απομακρυσμένες ζώνες.

Τέλος, η μελέτη κόστους- οφέλους εγκατάστασης επιχείρησε να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα, αν είναι συμφέρουσα η τοποθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος, ποιο θα είναι το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας, ποια η εξοικονόμηση καυσίμου και το οικονομικό όφελος σε συνδυασμό με τους με τους παραπάνω περιορισμούς και τις παραμέτρους. Βάσει του case study που εκπονήθηκε η οικονομική ανάλυση έδειξε πως για μια περίοδο εργασιών του πλοίου προς μελέτη για 5 έτη για ένα πλοίο με 191 m<sup>2</sup> διαθέσιμου χώρου προς εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος για την παραγωγή 82 kW ενέργειας, θα εξοικονομηθούν παραπάνω από \$ 10000 ανά έτος.

Επιπλέον η παρούσα εργασία μας έδειξε πως η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας ως βοηθητική πηγή ενέργειας του πλοίου, αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για τον σχεδιασμό ενός φιλικού περιβαλλοντικά πλοίου. Τα αποτελέσματα φανερώνουν πως η εφαρμογή του φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να επιφέρει μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως και 21 τόνους ετησίως.

Είναι φανερό πως τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μια εξαιρετική αποτελεσματική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με αρκετά οικονομικά και οικολογικά οφέλη ως προς τη λειτουργία του πλοίου. Παρόλα αυτά, το υψηλό κόστος εγκατάστασης συνδυαστικά με τους περιορισμούς και την πολυπλοκότητα της εγκατάστασης, αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα ως προς την εφαρμογή τους στην εμπορική ναυτιλία.



## **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Εφαρμογή Φωτοβολταϊκών στα πλοία**

Το παρόν κεφάλαιο έχει στόχο να παραθέσει συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης για την εφαρμογή εναλλακτικών μορφών ενέργειας στα εμπορικά πλοία. Στόχος του συγγραφέα είναι να δείξει μέσα από τα παρακάτω παραδείγματα τη δυναμική των εναλλακτικών μορφών ενέργειας στη σύγχρονη εμπορική ναυτιλία, τις δυνατότητες που δίνει σε οικονομικό και περιβαλλοντολογικό επίπεδο.

### **4.1 Cruise Green**

Το υβριδικό Hornblower έχει επαναπροσδιορίσει το προφίλ των σκαφών στον κόλπο του Σαν Φρανσίσκο. Δεδομένου ότι είναι το πρώτο υβριδικό πλοίο της χώρας, η αποστολή αυτού του σκάφους είναι πολύ πιο σημαντική από την εμφάνισή του. Ονομάζεται υβριδικό επειδή χρησιμοποιεί ενέργεια από ηλιακές και αιολικές γεννήτριες, από γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες με το ηλεκτρικό δίκτυο και από γεννήτριες Tier 2 ντίζελ για την τροφοδοσία του σκάφους.

Όταν τα ηλιακά πάνελ στην κορυφή του σκάφους απορροφούν το ηλιακό φως και παράγεται ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, παρέχεται ισχύς για να φορτίσει τις μπαταρίες 380 V DC. Πρόσθετη ισχύς παρέχεται από τη γεννήτρια ντίζελ για πιο αποδοτική κίνηση μέσα στο νερό. Το σκάφος μπορεί να λειτουργεί με μπαταρίες πρόωσης και μόνο για πάνω από μία ώρα προσφέροντας μια σιωπηλή κυκλοφορία γύρω από τον κόλπο. Το υβριδικό Hornblower ηγείται στον τομέα των σκαφών που είναι φιλικά προς το περιβάλλον και διαθέτει την δυνατότητα μείωσης του καθημερινού μας αποτυπώματος σε άνθρακα (Hornblower Hybrid, 2014).



**Εικόνα 4. 1** Καταστρώματα Hornblower  
 Πηγή: <https://www.hornblower.com/nationalsales/sanfrancisco.html>

## ΤΟ ΣΚΑΦΟΣ

- Μήκος: 64 μέτρα
- Μέγιστη χωρητικότητα USCG: 149
- Μέγιστη χωρητικότητα cocktail: 110
- Το ηχητικό σύστημα διαθέτει iPod και δυνατότητες CD
- Οι επίπεδες οθόνες είναι με συμβατές με DVD ή laptop
- Περιλαμβάνεται ασύρματο μικρόφωνο

## ΠΛΩΡΗ

- Ανοιχτό κατάστρωμα με άνετα καθίσματα
- Εξαιρετική προβολή της στάθμης του νερού

## ΚΥΡΙΟ ΣΑΛΟΝΙ

- Πλήρες bar
- Παθητική θέρμανση από συσκευές ηλεκτρικού μετατροπέα (δεν χρησιμοποιεί καμία πρόσθετη ενέργεια)

- Καθιστικό

## **ΠΡΥΜΝΑΙΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ**

- Το εξωτερικό κατάστρωμα λειτουργεί και ως φουαγιέ

## **ΗΛΙΑΚΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ**

- Πρυμναίο εξωτερικό κατάστρωμα ανώτερου επιπέδου
- Μερική κάλυψη με μόνιμο στέγαστρο
- Ενσωματωμένο υπαίθριο μπαρ
- Εξαιρετική, πανοραμική θέα

## **ΤΙΜΟΝΙΕΡΑ**

- Φιλοξενεί 2 τραπέζια κοκτέιλ
- Διαδραστικές οθόνες ενέργειας
- 2 τηλεοράσεις LCD με επίπεδη οθόνη
- Πάγκοι προβολής αριστερής και δεξιά πλευράς του σκάφους

### **4.2 Auriga Leader**

Το Auriga Leader, είναι το πρώτο μερικώς αυτοκινούμενο φορτηγό πλοίο στον κόσμο που είναι εξοπλισμένο με πάνω από 300 φωτοβολταϊκές συστοιχίες που παράγουν περίπου το 10% της απαιτούμενης ισχύος λειτουργίας του.

Το τελευταίο διάστημα, η ναυτιλιακή βιομηχανία βιώνει την εισαγωγή μιας σειράς τεχνολογιών κατασκευής του απόλυτα πράσινου πλοίου. Η ηλιακή ενέργεια είναι μία από αυτές τις πολλά υποσχόμενες πηγές, η οποία αν χρησιμοποιηθεί με το σωστό τρόπο, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των τοξικών αερίων και στη βελτίωση της αποδοτικότητας των πλοίων.

Το πλοίο Auriga Leader που λειτουργεί μερικώς με ηλιακή ενέργεια είναι μοναδικό στο είδος του και είναι το αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης πολλών καινοτόμων τεχνολογικών επιτευγμάτων. Οι ιδιοκτήτες του πλοίου, οι εταιρείες Nippon Yusen και Nippon Oil έχουν επενδύσει σχεδόν 2 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχής λειτουργία του πλοίου Auriga Leader (Hiteshk, 2012).



**Εικόνα 4. 2** Auriga Leader

Πηγή: <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/auriga-leader-the-worlds-first-partially-propelled-cargo-ship/>

#### **4.2.1 Τα χαρακτηριστικά του πράσινου πλοίου**

Το πλοίο Ro/Ro έχει σχεδιαστεί κυρίως για να μεταφέρει διεθνώς πάνω από 6.000 οχήματα για τον όμιλο Toyota

Η μονάδα παροχής ενέργειας του πλοίου βοηθά σημαντικά στην διαχείτευση της ενέργειας που παράγεται από τις ηλιακές συστοιχίες

Παράλληλα με τον εξοπλισμό των ηλιακών συστοιχιών, το πλοίο Ro / Ro μπορεί να υπερηφανεύεται επίσης από κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, όπως το σύστημα επεξεργασίας νερού έρματος.

#### 4.2.2 Τεχνικές Προδιαγραφές Οχηματαγωγού πλοίου

- Το πλοίο ηλιακής ισχύος έχει μήκος σχεδόν 200 μέτρα και πλάτος λίγο πάνω από τα 32 μέτρα
- Με βάθος πάνω από 34 μέτρα, το Auriga Leader έχει DWT σχεδόν 19.000 τόνους και ολική χωρητικότητα (GRT) περίπου 60.000 τόνους

Ακριβώς όπως οι νέες τεχνολογίες, π.χ. η SkySails και η Sail Propulsion Systems, η απόδοση αυτού του πλοίου ηλιακής ισχύος παρακολουθείται για βελτίωση και για μελλοντικές τροποποιήσεις. Ακόμη και μετά την καθέλκυσή του, υπήρξε συνεχής παρακολούθηση από τους ιδιοκτήτες του πλοίου για να εξασφαλιστεί η συνεχής βιωσιμότητά του.

Επιπλέον, τα καύσιμα που παρέχουν ενέργεια στο πράσινο πλοίο έχουν επιλεγεί ειδικά για τα χαμηλότερα ποσοστά εκπλήρωσής τους. Με την εστίαση σε αυτές τις πηγές καυσίμων, οι εταιρείες Nirron Yusen και Nirron Oil έχουν προσπαθήσει να εξασφαλίσουν παραγωγικά ότι υπάρχει μια σημαντική μείωση στο κόστος των πηγών καυσίμων που προκύπτουν σε αυτές.



**Εικόνα 4. 3** Κατάστρωμα Auriga Leader

Πηγή: <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/auriga-leader-the-worlds-first-partially-propelled-cargo-ship/>

Το Auriga Leader είναι ένα από εκείνα τα μελλοντικά πλοία, τα οποία όχι μόνο έχουν δώσει την απαραίτητη ώθηση για τις αναπτυξιακές προοπτικές στο χώρο της παγκόσμιας ναυτιλίας, αλλά έχουν επίσης αλλάξει εντελώς την προοπτική για το μέλλον της θαλάσσιας εμπορευματικής ναυτιλίας.

Οι εναλλακτικές πράσινες πηγές ενέργειας είναι το μέλλον των συστημάτων πρόωσης των πλοίων. Το Auriga Leader είναι ένα σημαντικό βήμα προς την κατασκευή φιλικών προς το περιβάλλον πλοίων, τα οποία είναι απολύτως αναγκαία για τη μείωση του αποτυπώματος του διοξειδίου του άνθρακα από την ναυτιλιακή βιομηχανία. Ακριβώς όπως το Auriga Leader RoRo, πλοία όπως το Viking Lady – το οικο-φιλικό πλοίο με τεχνολογία κυψελών καυσίμου και το φορτηγό πλοίο με πανιά από B9 έχουν κάνει μια σημαντική συμβολή στην ανάπτυξη των πράσινων πλοίων.

### **4.3 Η Eco Marine Power και το υβριδικό σκάφος Tonbo**

Η Eco Marine Power σε συνεργασία με επιχειρήσεις εταίρους, έχουν καταλήξει σε ένα σχέδιο για ένα υβριδικό σκάφος που περιλαμβάνει μέσα σε αυτό, τόσο την οικο-φιλική θαλάσσια τεχνολογία, όσο και ότι νεότερο υπάρχει στην πράσινη τεχνολογία. Αυτό το υβριδικό πλοίο, που θα ονομαστεί Tonbo, χρησιμοποιεί την τελευταία λέξη στην τεχνολογία των μπαταριών λιθίου, μεταξύ άλλων και των δυνατοτήτων για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του σκάφους. Το πλοίο χρησιμοποιεί ένα ηλιακό πάνελ στην οροφή για να φορτίζει τις μπαταρίες λιθίου, ως εκ τούτου αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα των περιβαλλοντικών δυνατοτήτων του.

Άλλες δυνατότητες για την παραγωγή ενέργειας αποτελούν η λήψη ισχύος από την ακτή, παράλληλα και με μια γεννήτρια βιοκαυσίμων πάνω στο σκάφος. Αυτές οι φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας, συμβάλλουν επίσης στη μείωση του κόστους, τόσο για τους χειριστές, όσο και για τους ιδιοκτήτες μέσω της μείωσης που επιφέρει στο κόστος καυσίμων και συντήρησης. Εκτός από αυτό, οι τρέχουσες προσπάθειες για την απλούστευση του φημισμένου συστήματος Hybrid Marine Power (HMP) που χρησιμοποιείται στο σκάφος, βοηθά περαιτέρω στη μείωση του αρχικού κόστους, καθιστώντας έτσι αυτό το υβριδικό πλοίο μια

ελκυστική πρόταση υπό την έννοια της απόδοσης της επένδυσης (return on investment - ROI) (Media Coverage, 2011).



**Εικόνα 4. 4** Το υβριδικό πλοίο Tonbo  
Πηγή: <http://www.ecomarinepower.com>

Ως προς την ταχύτητα, το πλοίο μπορεί να κινείται με 10 κόμβους ή λιγότερο με την βοήθεια των μπαταριών που διαθέτει επιτρέποντας έτσι μια ομαλή πλεύση, ιδανική για κρουαζιέρες. Μια άλλη πτυχή που πρέπει να σημειωθεί είναι οι ηλιακοί συλλέκτες, οι οποίοι μπορούν εύκολα να υψωθούν ή να χαμηλώσουν, όπως απαιτείται, όταν το σκάφος κινείται κοντά σε γέφυρες. Ένα μοναδικό στο είδος του σύστημα ελέγχου που θα τοποθετεί, τα ηλιακά πάνελ, θα κάνουν το σκάφος εύκολα ευέλικτο, ελαφρύ, καθώς και άκρως αποτελεσματικό.

Ο σχεδιασμός αυτού του υβριδικού πλοίου, επιτρέπει τη διαμόρφωση των διαφόρων εφαρμογών, ενώ ταυτόχρονα καθιστά δυνατή την εφαρμογή του ηλιακού ηλεκτρικού συστήματος HMP για διαφορετικά είδη πορθμείων, πλοίων εργασίας καθώς και επιβατηγών πλοίων. Εκτός αυτού, το Tonbo θα κάνει επίσης χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους την οποία προμηθεύεται μέσω ενός δικτύου γεννητριών για την παροχή πρόωσης. Ένα σύστημα ταχείας φόρτισης που βρίσκεται επίσης επί του σκάφους επιτρέπει σε αυτό το σκάφος να φορτίζεται γρήγορα, ακόμη και αν η φόρτιση γίνεται για ένα μικρό χρονικό διάστημα.

Κατασκευασμένο από αλουμίνιο ειδικό για εφαρμογές στη ναυτιλία και με το σύστημα πρόωσης, το οποίο επιτρέπει τον εύκολο ελιγμό μέσα σε στενούς, περιορισμένους χώρους, το Tonbo είναι ένα υβριδικό σκάφος σχεδιασμένο για την μεταφορά 200-250 επιβατών. Εκτός από αυτό, περιλαμβάνει ένα ανοικτό κατάστρωμα στο οπίσθιο άκρο και μια περιοχή παρατήρησης μπροστά. Με συνολικό

μήκος 30 μέτρων και πλάτος 8 μέτρων, ο επαναστατικός σχεδιασμός αυτού του υβριδικού πλοίου υπόσχεται πολλά για τις θαλάσσιες μεταφορές μέσω ποταμών και όρμων σε όλο τον κόσμο.

#### **4.4 Nichio Maru**

Το Nichio Maru είναι το νέο οχηματαγωγό σκάφος (Ro-Ro) της γιαπωνέζικης Nissan, το οποίο ξεκίνησε το παρθενικό του ταξίδι στις 7 Ιανουαρίου 2012.

Το φιλικό προς το περιβάλλον οχηματαγωγό σκάφος υπόσχεται μείωση της κατανάλωσης καυσίμων έως 1.400 τόνους ετησίως, γεγονός που μεταφράζεται σε ετήσια μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> της τάξεως των 4.200 τόνων.

Το Nichio Maru αποτελείται επίσης από ενεργειακά αποδοτικά χαρακτηριστικά όπως ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κινητήρας ντίζελ και χαμηλής τριβής επίστρωση του κύτους. Το πλοίο έχει μήκος 169.95 μέτρα, πλάτος 26 μέτρα και ταχύτητα λειτουργίας των 21,2 κόμβων.

Το Nichio Maru είναι επίσης το πρώτο παράκτιο πλοίο στην Ιαπωνία που διαθέτει φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ. Αποτελείται από 281 ηλιακά πάνελ, τα οποία χρησιμοποιούνται στην τροφοδότηση φωτισμού LED σε διάφορα σημεία σε όλο τον σκάφος.

Το πλοίο μπορεί να μεταφέρει έως και 1.380 αυτοκίνητα και είναι μέρος ενός ενδιάμεσου σχεδίου δράσης για το περιβάλλον της Nissan, το Nissan Green Program 2016. Το Nichio Maru μαζί με το «The City of St. Petersburg», είναι μέρος του πράσινου στόλου των οχηματαγωγών πλοίων της Nissan (Sarah, 2014).

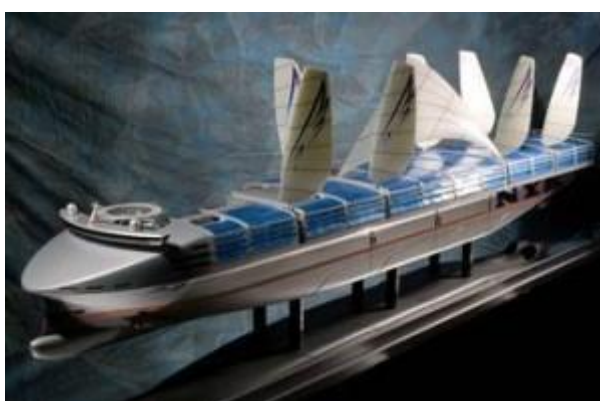
#### **4.5 Super Eco Ship 2030 από την NYK**

Οι φουτουριστικές και ευφάνταστες ιδέες στο σχεδιασμό ενός πλοίου πρόκειται να αλλάξουν τη μορφή της ναυτιλίας και της βιομηχανίας. Ενώ οι θαλάσσιες μεταφορές παραμένουν ο πιο αποτελεσματικός και οικονομικός τρόπος μεταφοράς, εκφράζονται ανησυχίες σχετικά με την ολοένα και αυξανόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, επηρεάζοντας έτσι την ποιότητα της θάλασσας, των υδάτων και της ατμόσφαιρας ταυτόχρονα. Η



ανάπτυξη καινοτόμων οικολογικών πλοίων, τα οποία θα μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά και να προστατεύουν το περιβάλλον, αποτελεί την μοναδική λύση για τη διατήρηση της ασφάλειας του περιβάλλοντος (Hiteshk, 2011).

Το Super Eco Ship 2030 της NYK αποτελεί το όραμα για την επίτευξη των στόχων αυτών με ημερομηνία-στόχο το 2030, όπως υποδηλώνει και το όνομα. Θα είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον πλοίο με μια καινοτόμο δομή και προοδευτική τεχνολογία που θα αξιοποιεί τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Αν και η ιδέα του πράσινου πλοίου για το Super Eco Ship 2030 ακούγεται σαν ένα όνειρο αυτή τη στιγμή, πρόκειται να γίνει πραγματικότητα.



**Εικόνα 4. 5** Super Eco Ship 2030

Πηγή: <https://www.designboom.com/design/nyk-super-eco-ship-2030/>

Ο σχεδιασμός του Super Eco Ship 2030 είναι διαφορετικός λόγω της καινοτόμου κατανομής των εμπορευματοκιβωτίων του, με βάση το κλειστό κύριο κατάστρωμα και το ολοκληρωμένο σύστημα φόρτωσης κάτω από αυτό. Με το ολοκληρωμένο και αυτόματης φόρτωσης σύστημά του, καταργεί την ανάγκη για μεταφορά εξοπλισμού από την ακτή. Αυτό ενισχύει την αντοχή του πλοίου και επιτρέπει την ταχύτερη φόρτωση. Αυτό, με τη σειρά του αυξάνει τη σταθερότητα του πλοίου, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στη μείωση ή την αφαίρεση του έρματος εντελώς.

Οι εγκαταστάσεις για το πλήρωμα και τα μηχανήματα θα βρίσκονται γύρω από την πλώρη του πλοίου για την καλύτερη πλοήγηση, την προστασία του φορτίου του καταστρώματος, τη βελτιωμένη αεροδυναμική και την ασφαλέστερη προσβασιμότητα του πλοίου. Περαιτέρω μείωση του βάρους του πλοίου και του νεκρού βάρους θα επιτευχθεί με τη χρήση νέων υλικών, αλλά και με τη χρήση υψηλής αντοχής χάλυβα, κράματα, σύνθετα υλικά και με την μεταφορά ελαφρύτερων

εμπορευματοκιβωτίων και λιγότερων καυσίμων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συνολική μείωση του βάρους κατά 20% και σε μείωση του διοξειδίου του άνθρακα κατά 9% (Hiteshk, 2011).

Η χρήση εναλλακτικών και φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας είναι ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό για την κατασκευή ενός πράσινου πλοίου. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του Super Eco Ship 2030 προωθείται από την τεχνολογία κυψελών καυσίμου, οι οποίες είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον σε σχέση με τις υπάρχουσες μηχανές ντίζελ που καίνε ορυκτά καύσιμα. Οι κυψέλες καυσίμου θα χρησιμοποιούν το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως πηγή υδρογόνου. Οι κυψέλες καυσίμου διαμορφωμένες σε μονάδες μεγέθους του εμπορευματοκιβωτίου αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας του πλοίου, με την υποστήριξη αναδιπλούμενων ηλιακών πάνελ που καλύπτουν την περιοχή των εμπορευματοκιβωτίων. Θα αξιοποιεί την αιολική και την ηλιακή ενέργεια για αυτή την πρόσθετη υποστήριξη. Αυτά τα ιστία αποτελούν πηγές ενέργειας απαλλαγμένες από εκπομπές, τα οποία συνδυάζονται στην έννοια του πράσινου πλοίου.

Το Super Eco Ship 2030 θα είναι εξαιρετικά σημαντικό για το περιβάλλον. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του πλοίου, όπως η μείωση του βάρους, η βέλτιστη μορφή του κύτους, η αποτελεσματικότητα της πρόωσης, η αξιοποίηση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βιώσιμης ενέργειας, όπως οι κυψέλες καυσίμου, μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 69%. Αυτό το καθιστά ένα πραγματικά πράσινο και φιλικό προς το περιβάλλον πλοίο.

#### **4.6 Solar Sailor - Hong Kong Jockey Club (HKJC) ferries**

Η Solar Sailor είναι μια αυστραλιανή εταιρεία τεχνολογίας που παρέχει πατενταρισμένη τεχνολογία «ηλιακού ιστίου» για να αξιοποιήσει τον συνδυασμό της ανανεώσιμης ηλιακής και αιολικής ενέργειας σε ένα υβριδικό σύστημα θαλάσσιας ισχύος (hybrid marine power - HMP). Με την παροχή εναλλαξιμότητας στην πρόωση, την αποδοτικότητα των καυσίμων, την άνεση των επιβατών και με μηδενικές εκπομπές στην λειτουργία stealth, η τεχνολογία Solar Sailor μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία ποικιλία θαλάσσιων εφαρμογών, από μικρά μη

επανδρωμένα σκάφη έως και μεγάλα δεξαμενόπλοια, πλοία, κρουαζιερόπλοια και τουριστικά ιδιωτικά σκάφη αναψυχής (Schneider Electric, 2014).

Μία τέτοια εφαρμογή είναι το Kau Sai Chau του Jockey Club του Χονγκ Κονγκ (KSC), μίας ακτοπλοϊκής σύνδεσης με σκάφη που εξυπηρετούν περίπου 40 εκτελέσεις ανά φέριμποτ κάθε μέρα. Με τέσσερα φέριμποτ διαθέσιμα, τουλάχιστον 2 φέριμποτ λειτουργούν ανά πάσα στιγμή. Έχοντας έναν χρόνο ολοκλήρωσης 20 λεπτών, κάθε ταξίδι 6 χιλιομέτρων διαθέτει διαφορετικές ζώνες ταχύτητας, αντιμετωπίζοντας επαρκώς τόσο τις καιρικές συνθήκες, όσο και τους συχνούς ελλειμνισμούς και ελιγμούς. Τα φέριμποτ έχουν χωρητικότητα 100 επιβατών.

Αντιμέτωποι με την αύξηση του κόστους λόγω της αύξησης των τιμών του αργού πετρελαίου και της γήρανσης του στόλου των σκαφών, το Jockey Club του Χονγκ Κονγκ (HKJC) πλησίασε την Solar Sailor για να διαπιστωθεί αν τα HMP καταμαράν θα μπορούσαν να παρέχουν μια οικονομικά βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά πετρελαιοκίνητα σκάφη της γραμμής. Η φιλοδοξία του HKJC για την αειφορία και την περιβαλλοντική ηγεσία σήμαινε ότι ο οργανισμός ήταν πρόθυμος να βρει μία ενεργειακή και οικονομικά αποδοτική λύση για την υπηρεσία του πορθμείου του KSC. Τα νέα σκάφη χρειάζονταν για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ενώ θα βοηθούσαν και στη διατήρηση του καθαρού αέρα και του νερού της πόλης και όλα αυτά χωρίς να παρεμποδίζεται η άνεση των επιβατών. Παρά το γεγονός ότι τα πράσινα διαπιστευτήρια της λύσης του σκάφους ήταν σημαντικά για το HKJC, ήταν επίσης επιτακτική η ανάγκη η λύση που θα υλοποιούνταν να προσέφερε χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και βελτιωμένη αξιοπιστία. Σε μια παγκόσμια πρωτιά, η Solar Sailor ανέλαβε να προμηθεύσει στο HKJC τέσσερα καταμαράν τελευταίας τεχνολογίας υβριδικά συστήματα θαλάσσιας ισχύος (HMP) σε μια περίοδο 2 ετών, με το πρώτο πλοίο να παραδίδεται μέσα σε 18 μήνες.

Τα τρία πρώτα πλοία χρησιμοποιούν την τεχνολογία του ηλιακού ιστίου HMP σε ένα πρότυπο σχέδιο καταμαράν, ενώ το τέταρτο πλοίο ενσωματώνει επίσης ένα προηγμένο, κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας «ηλιακό ιστίο» που εκμεταλλεύεται τους ισχυρούς ανέμους κατά μήκος της διαδρομής του πλοίου. Με το ηλιακό ιστίο τελευταίας τεχνολογίας σε κάθε ένα από τα σκάφη και με ειδικά ύφαλα χαμηλής πλύσης, η Solar Sailor χρειάστηκε αυτοματισμό που θα είναι σε θέση να ελέγχει το σύστημα HMP, με ένα εύκολο στη χρήση περιβάλλον εργασίας για τους χειριστές των φέριμποτ.

Για την επίτευξη των στόχων του HKJC, η Solar Sailor αποφάσισε να σχεδιάσει τα σκάφη στο Σύδνεϋ και στη συνέχεια να κατασκευάσει τα καταμαράν στην Κίνα, με εκτεταμένες δοκιμές στο Χονγκ Κονγκ. Με ένα πολύ στενό χρονοδιάγραμμα παράδοσης, η Solar Sailor χρειάστηκε έναν παγκόσμιο εταίρο που θα μπορούσε να παρέχει τοπική μηχανική υποστήριξη για την διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και τον αυτοματισμό σε όλες τις τρεις θέσεις.

#### **4.6.1 Πλεονεκτήματα για τον πελάτη**

Πραγματοποιήθηκαν ανεξάρτητες δοκιμές του πρώτου σκάφους προκειμένου για τη συγκριτική αξιολόγηση του συστήματος HMP έναντι των συμβατικών κινητήρων ντίζελ. Κατά τη διάρκεια της 9ης ημέρας δοκιμών, οι οποίες διεξήχθησαν σε συνθήκες ομίχλης και ήπιων ανέμων, το πλοίο ελέγχθηκε με μέτρηση της χρήσης καυσίμων μέσω μετρητών ροής. Το πλοίο λειτουργούσε συμβατικά με το σύστημα HMP απενεργοποιημένο και στη συνέχεια, οι δοκιμές επαναλήφθηκαν με το σύστημα HMP σε λειτουργία, δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτροκινητήρες για τις χαμηλές ταχύτητες και τον ελλιμενισμό. Οι δοκιμές έδειξαν μια εξοικονόμηση της τάξεως του 8% επί της διαδρομής, όπου το σκάφος τρέχει με τη μέγιστη ταχύτητα. Στη δεύτερη διαδρομή, όπου το σκάφος περιορίζεται σε χαμηλότερες ταχύτητες, καθώς περνά ένα ιχθυοτροφείο, οι εξοικονομήσεις εκτιμήθηκαν σε 17%.

Σύμφωνα με το HKJC, αυτά τα νέα σκάφη παρέχουν εξοικονόμηση καυσίμων κατά 50% σε σύγκριση με τα υπάρχοντα σκάφη που λειτουργούν με ντίζελ. Τα πλοία θα εξοικονομήσουν επίσης 1.280 τόνους CO<sub>2</sub> ετησίως. Σε σύγκριση με τα προηγούμενα συμβατικά πλοία, η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου αντιπροσωπεύει εξοικονόμηση καυσίμου περίπου HK \$ 2.500.000 ετησίως.

Το HKJC επωφελείται επίσης μιας παγκόσμιας εγγύησης από την Schneider Electric και προγραμματισμένη συντήρηση 12 μηνών. Η άνεση των επιβατών ήταν επίσης σημαντικά βελτιωμένη λόγω των μειωμένων επιπέδων θορύβου, των λιγότερων δονήσεων και της μείωσης των αναθυμιάσεων από το ντίζελ (Schneider Electric, 2014).

#### **4.6.2 Μεθοδολογία Υλοποίησης**

Η Schneider Electric επιλέχθηκε από την Solar Sailor για την προμήθεια και τον

σχεδιασμό του συστήματος αυτοματισμού και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος για το έργο HKJC. Ως μία διεθνώς αναγνωρισμένη εταιρεία με ειδικευση στη διαχείριση ενέργειας, με πάνω από 35 χρόνια εμπειρίας στον έλεγχο της βιομηχανικής διαδικασίας στην Αυστραλία, η Schneider Electric διέθετε τόσο την εμπειρία, όσο και τις απαραίτητες ομάδες παράδοσης έργου για την επιτυχή παράδοση των συστημάτων ηλεκτρικής διανομής και αυτοματισμού και της επακόλουθης τοπικής υποστήριξης που απαιτείται για τα Solar Sailor φέριμποτ (Schneider Electric, 2014).

Στο πλαίσιο της πρώτης υπηρεσίας υβριδικού φέριμποτ στον κόσμο, κάθε καταμαράν έχει δύο 190/25kW συστήματα Solar Sailor HMP, αποτελείται από δύο πετρελαιοκινητήρες των 250 ίππων (δίνοντας μια υπηρεσιακή ταχύτητα των 16 κόμβων με πλήρες φορτίο), συν δύο 25kW (33,5 hp) ηλεκτροκινητήρες για ταχύτητες από 6 κόμβους ή λιγότερο για τις επιχειρήσεις ελλιμενισμού και ελιγμών. Τα σκάφη διαθέτουν επίσης ηλιακούς συλλέκτες των 7.5kW στην οροφή και μια γεννήτρια 32kW.

Δουλεύοντας σε στενή συνεργασία με την Solar Sailor, κατασκευάστηκε το σύστημα ελέγχου και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, διαχειρίστηκε και εγκαταστάθηκε από την ομάδα Επαγγελματικών Υπηρεσιών της Schneider Electric που εργάζεται στο Σύδνεϋ, το Χονγκ Κονγκ και την Κίνα. Η παγκόσμια παρουσία της Schneider Electric ελαχιστοποίησε μερικές από τις προκλήσεις που συνήθως εμφανίζονται σε ένα πολυεθνικό έργο. *«Αρχικά επρόκειτο να εγκαταστήσουμε όλα τα συστήματα ισχύος και ελέγχου μόνοι μας. Ωστόσο, από τη στιγμή που ξεκινήσαμε, συνειδητοποιήσα ότι θα ήταν πιο εύκολο αν αναθέσουμε στην Schneider να το κάνει»,* λέει ο CEO της Solar Sailor, Dr Robert Dane *«διαθέτουν την εμπειρία και την ποιότητα των ανθρώπων, τόσο στο Σύδνεϋ, όσο και στο Χονγκ Κονγκ, συν το ότι μπορεί να προσφέρουν μια παγκόσμια εγγύηση. Ήταν λοιπόν λογικό για εμάς να τους εμπλέξουμε, καθώς είχαμε ήδη συνεργαστεί με επιτυχία με τη Schneider στο παρελθόν».*

Προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση των τεσσάρων σκαφών, το πρώτο σκάφος κατασκευάστηκε και δοκιμάστηκε ως προς την απόδοση. Αυτό επέτρεψε να γίνουν βελτιώσεις στο σχεδιασμό των τριών άλλων σκαφών, πριν από την παραγωγή τους, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και χρήμα. Μία τέτοια βελτίωση ήταν ο ενισχυμένος ηλεκτρικός σχεδιασμός που μείωσε σημαντικά την ποσότητα των καλωδίων που απαιτούνται.

### 4.6.3 Διάρκεια

Σε μια παγκόσμια πρωτιά, η Solar Sailor ανέλαβε να προμηθεύσει το ΗΚJC με τέσσερα καταμαράν τελευταίας τεχνολογίας με υβριδικό σύστημα θαλάσσιας ισχύος (HMP) σε μια περίοδο 2 ετών, με το πρώτο σκάφος να παραδίδεται μέσα σε 18 μήνες.

### 4.6.4 Εξοικονόμηση ενέργειας

Διενεργήθηκαν ανεξάρτητες δοκιμές στο πρώτο σκάφος για τη συγκριτική αξιολόγηση του συστήματος HMP έναντι των συμβατικών κινητήρων ντίζελ. Κατά τη διάρκεια της 9<sup>ης</sup> ημέρας των δοκιμών, η οποία διεξήχθη σε συνθήκες ομίχλης και ήπιων ανέμων, το σκάφος ελέγχθηκε με τη μέτρηση της χρήσης καυσίμων μέσω μετρητών ροής. Το σκάφος λειτούργησε συμβατικά με το σύστημα HMP απενεργοποιημένο και στη συνέχεια, οι δοκιμές επαναλήφθηκαν με το σύστημα HMP σε λειτουργία, δηλαδή με ηλεκτροκινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για τις χαμηλές ταχύτητες και τον ελλιμενισμό. Οι δοκιμές έδειξαν μια εξοικονόμηση της τάξεως του 8% επί της διαδρομής όπου το σκάφος κινούνταν με τη μέγιστη ταχύτητα. Στη δεύτερη διαδρομή, όπου το σκάφος περιορίστηκε σε χαμηλότερες ταχύτητες, καθώς περνούσε ένα ιχθυοτροφείο, οι εξοικονομήσεις εκτιμήθηκαν στο 17% (Schneider Electric, 2014).

Σύμφωνα με τον Robert Dane «*Η αρχική εξοικονόμηση καυσίμων ήταν σημαντική και θα βελτιώσει την εξοικείωση του καπετάνιου. Το τέταρτο πλοίο θα διαθέτει τα πατενταρισμένα Solarsails μας, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι ακόμη καλύτερα, καθώς και η διαδρομή διαθέτει αξιόπιστα μοτίβα ανέμων*».

### 4.6.5 Η διαφοροποίηση των τιμών της Schneider Electric έναντι των ανταγωνιστών

Η Solar Sailor χρειάστηκε έναν εταίρο ανάπτυξης ο οποίος θα μπορούσε να παρέχει την τεχνική εμπειρία και την εμπειρία στην διαχείριση του έργου για την προμήθεια του συστήματος ελέγχου των σκαφών. Η Schneider Electric επιλέχθηκε από την Solar Sailor για να παρέχει και να κατασκευάσει τον έλεγχο αυτοματισμού και το σύστημα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος για το έργο του ΗΚJC, λόγω της τοπικής τεχνογνωσίας και του παγκόσμιου δικτύου εξειδικευμένων μηχανικών και τεχνιτών συντήρησης.

Ως μία εταιρία παγκοσμίως αναγνωρισμένη και με εξειδίκευση στη διαχείριση ενέργειας, με πάνω από 35 χρόνια εμπειρίας στον έλεγχο της βιομηχανικής διαδικασίας στην Αυστραλία, η Schneider Electric διέθετε τόσο την εμπειρία, όσο και τις απαραίτητες ομάδες για την επιτυχή παράδοση των συστημάτων ηλεκτρικής διανομής και αυτοματισμού και την επακόλουθη τοπική υποστήριξη που απαιτείται για τα πορθμεία της Solar Sailor.

Δουλεύοντας σε στενή συνεργασία με την Solar Sailor, σχεδιάστηκε το σύστημα ελέγχου και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, έγινε διαχείριση και εγκατάσταση του έργου από τις ομάδες Επαγγελματικών Υπηρεσιών της Schneider Electric που εργάζονται στο Σύδνεϋ, το Χονγκ Κονγκ και την Κίνα. Η παγκόσμια παρουσία της Schneider Electric ελαχιστοποίησε μερικές από τις προκλήσεις που συνήθως απαντώνται σε ένα τέτοιο πολυεθνικό έργο.

#### **4.6.6 Επισκόπηση της λύσης**

Το σύστημα ελέγχου των φέριμποτ χρησιμοποιεί διάφορα προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των: Magelis HMI, Altivar drives και Modicon M340 PLCs ρυθμισμένων κατάλληλα στις αρχιτεκτονικές PlantStruxure της Schneider Electric. Η Schneider Electric προμήθευσε επίσης το σύστημα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος συμπεριλαμβανομένων και των μετρητών ισχύος, των διακοπών και μετασχηματιστών ρεύματος σε μη-διαβρωτικά πολυανθρακικά ερμάρια για την ελαχιστοποίηση του βάρους (Schneider Electric, 2014).

Ακόμη και αν η τελική ταχύτητα είναι μόλις 16 κόμβοι, λόγω της υψηλής ισχύος των σκαφών σε αναλογία του βάρους, τα σκάφη πρέπει επίσης να συμμορφώνονται με τους αυστηρούς κανόνες ασφαλείας του ναυτικού κώδικα περί των υψηλών ταχυτήτων. Ένα από τα χαρακτηριστικά ασφαλείας του σχεδιασμού των σκαφών του HKJC είναι η πλήρης εναλλαξιμότητα του συστήματος πρόωσης. Η λύση που κατασκευάστηκε από τη Schneider Electric εγγυάται ότι υπάρχει μια στιγμιαία εναλλακτική λύση, σε περίπτωση που κάποιο από τα συστήματα κίνησης της έλικας αποτύχει ή που θα πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που αποτύχουν οι κινητήρες ντίζελ, τότε οι ηλεκτροκινητήρες μπορούν να εξακολουθούν να λειτουργούν, να πραγματοποιούν ελιγμούς και να τροφοδοτούν το σκάφος με ενέργεια προκειμένου να φτάσει στην

αποβάθρα.

Το σύστημα αυτοματισμού σχεδιάστηκε για να βελτιστοποιήσει τη χρήση της ενέργειας. Το σύστημα ελέγχει τα φτερά της αεροτομής αυτόματα, ενώ χρησιμοποιείται το καλύτερο στην κατηγορία του σύστημα Altivar 71 για την κίνηση μεταβλητής ταχύτητας (συχνότητας VSD) της Schneider Electric για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας κατά τη διάρκεια εκκίνησης του κινητήρα και των ελιγμών. Αυτό εξασφαλίζει ότι τα σκάφη θα επωφεληθούν από την βελτιωμένη επιτάχυνση, την ανώτερη διακοπή έκτακτης ανάγκης και τον ευκολότερο χειρισμό των σύγχρονων μοτέρ υψηλής ροπής και άμεσης κίνησης (Schneider Electric, 2014).

Για την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, ζητήθηκε ειδικά από την Schneider Electric οι μονάδες Altivar 71 να φορτίζουν τις μπαταρίες για το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, όταν ο πετρελαιοκινητήρας είναι σε λειτουργία.

Η πατενταρισμένη τεχνολογία που εφαρμόστηκε στο τέταρτο σκάφος, θα αξιολογήσει τόσο την ηλιακή, όσο και την αιολική ενέργεια, και ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, οι δύο αυτοί πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί ή ξεχωριστά. Τα φτερά παρακολουθούν τον ήλιο για βέλτιστη συλλογή ηλιακής ενέργειας και τον άνεμο για βέλτιστη αιολική ενέργεια. Αυτό μπορεί να ελέγχεται χειρωνακτικά ή μέσω του Magelis HMI. Η τεχνολογία είναι αυτο-βελτιστοποιούμενη για να ταιριάζει και να διευκολύνει την λειτουργία με διάφορα φορτία και τις συχνές στάσεις, που σημαίνει ότι το σύστημα Solar Sailor HMP μπορεί να μεγιστοποιήσει την εξοικονόμηση καυσίμων.

Η λύση της Schneider Electric περιελάμβανε επίσης την εποπτεία της εγκατάστασης και την τεχνική υποστήριξη κατά τη διάρκεια των δοκιμών του συστήματος HMP στο Χονγκ Κονγκ, την κατάρτιση του προσωπικού για την λειτουργία και την συντήρηση και λεπτομερή εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης. Η λύση περιλαμβάνει επίσης ένα 12-μηνο πρόγραμμα προγραμματισμένης συντήρησης, εγγύηση και υποστήριξη στον χώρο από τη Schneider Electric στο Χονγκ Κονγκ για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και η μέγιστη επιχειρησιακή διάρκεια.



## Βιβλιογραφία

- Δασκαλάκη, Ε., & Μπαλαράς, Κ., Α., 2000, «Ηλιακά συστήματα θέρμανσης», ΤΕΙ Πειραιά
- Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Larousse Britannica.(2009), σελ. 286, τομ. 60
- Καγκαράκη, Κ.(1992), ΦωτοΒολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα
- Καμπούγιας, Ι., Κυρίτσης, Α., Νανάκος, Α, Τατάκης, Ε.(2012) «Σύγχρονες εξελίξεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα για διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας» Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2001, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας , ΚΑΠΕ
- Κυρίτσης, Α. Ι. Κομπούγιας, Ν. Παπανικολάου, Ε. Τατάκης, Π. Σταύρου Σ.(2012)Διερεύνηση των Λειτουργικών Χαρακτηριστικών Μονοφασικών μετατροπέων για την άμεση διασύνδεση Φωτοβολταϊκών Γεννητριών με το δίκτυο Χαμηλής Τάσης των Αστικών Περιοχών Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας
- Λάσκαρης Κ.,(2008), Sustainable Development Θεωρητικές Προσεγγίσεις μιας Κρίσιμης Έννοιας, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.(2009) Εργαστήρια Υλικών ΙΙΙ, Ανάκτηση στις 16-8-2014 από <http://users.uoi.gr/ppats/Lab%20Materials%20III/Notes-Photoconductivity-2012.pdf>
- Παπαδοπούλου, Ε.(2008) *Φωτοβολταϊκα από ανόργανα υλικά*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Πάρη, Κ.(2012) *Μελέτη εκτίμησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον*, Enginner 4U, σελ.17, Ανάκτηση στις 20-8-2014 από [http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/All/41DB222B84F874D8C2257B52002EEE58/\\$file/MP2013\\_043\\_01\\_01.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/All/41DB222B84F874D8C2257B52002EEE58/$file/MP2013_043_01_01.pdf)
- Πρωτογερόπουλος, Χ., Τσελεπής, Σ., Ζαχαρίου, Α. (2001), Επιδεικτικό Έργο Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων σε Κτίριο του ΚΑΠΕ, συνολικής Ισχύος 5 kWp

- Τατάκης Ε.(2006) Ηλεκτρονικά στοιχεία Ισχύος και Βιομηχανικές Εφαρμογές , Πάτρα 2006
- Τσαβασάρος, Κ.(2000)Ηλιακά Συστήματα στην Ελλάδα: Εμπειρίες και προοπτικές, Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας
- A.Kyritsis, Optimum design of a high-frequency single phase inverter for connecting low power PV panels to the utility grid (Ph.D. dissertation), University of Patras, Patras, Greece, 2005
- AAPA. Harbors navigation and environment 2006, online /[http://www.aapa-ports.org/programs/hne/Library\\_aq.html#LosAngelesS](http://www.aapa-ports.org/programs/hne/Library_aq.html#LosAngelesS).
- Adamson K-A. Fuel cells and marine applications. Fuel Cell Today 2005; online: /<http://www.fuelcelltoday.comS>.
- Ahmad, M., & Khan, B. H., 2012. Design and evaluation of solar inverter for different power factor loads. Energy and Power Engineering, Vol. 4, No.5, pp. 324-329
- Baekhoej, S., et al.(2005) “A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules”, , Senior Member, IEEE, and Frede Blaabjerg, Fellow, IEEE, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No 5, September/October 2005.
- Bhatt, P., & Verma, A., 2014. Design and cost analysis of PV system using nano solar cell. International Journal of Scientific and Research Publications, pp. 1-5
- Blue Water 2006, online /<http://www.foe.org/new/releases/March2006/carbreport3062006.htmlS>.
- Bradley, M.J., Jones, B.M.(2002) “Reducing Global NOx Emissions: Developing Advanced Energy and Transportation Technologies”, AMBIO: Journal of the Human Environment, Vol.31, Iss.2, pp.141-149
- Brodrick C-J, Lipman TE, Farshchi M, Lutsey NP, Dwyer HA, Sperling D, et al. Evaluation of fuel cell auxiliary power units for heavy-duty diesel trucks. Transport Res Part D 2002;7:303–15.
- Clarkson Research Studies, 2008. Clarkson Research Studies (various issues) Shipping Intelligence Weekly.
- Clim, A.(2013) Air pollution from ships, Available in 14-6-2014 from [http://www.seas-at-risk.org/Images/111128\\_Air%20pollution%20from%20ships.pdf](http://www.seas-at-risk.org/Images/111128_Air%20pollution%20from%20ships.pdf)

- Corbett JJ, Fischbeck PS, Pandis SN. Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships. *J Geophys Res* 1999;104(D3):3457–70.
- Dow Jones & Company, 2006. Spot Oil Price: West Texas Intermediate, *Wall Street Journal*, Date range 1946-01-01 to 2008-06-01.
- EG & G Technical Services Under Contract No. DE-AM26-99FT40575 for US Department of Energy. Fuel cell handbook 7<sup>th</sup> ed., 2004.
- Europa.(2012) Air pollution, Available in 10-6-2014 from <http://www.eea.europa.eu/themes/air>
- European Commission. Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community. Entec UK Limited 2002, online [/www.europa.eu.int/comm/environment/air/background.htm#transportS](http://www.europa.eu.int/comm/environment/air/background.htm#transportS).
- Giacomazzi G. Prospects for intercontinental seaborne transportation of hydrogen. *Int J Hydrogen Energy* 1989;14(8):603–16.
- Green. M.A.(1982) *Solar cells*. Prentice-Hall
- Hiteshk (2010). Skysails: Pioneering ‘Green Ship’ Uniquely Ανακτημένο από: <http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/green-shipping/skysails-pioneering-%E2%80%98green-ship%E2%80%99-uniquely/>
- Hiteshk (2011). How the Super Eco Ship 2030 by NYK is Different from Others of the Same League? Ανακτημένο από: <http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/green-shipping/how-the-super-eco-ship-2030-by-nyk-is-different-from-others-of-the-same-league/>
- Hiteshk (2012). Auriga Leader – The World’s First Partially Propelled Cargo Ship. Ανακτημένο από: <http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/auriga-leader-the-worlds-first-partially-propelled-cargo-ship/>
- Hornblower Hybrid (2014). Cruise Green. Ανακτημένο από: <http://www.alcatrazcruises.com/website/hybrid.aspx>
- Hua J. Impact of marine engine exhaust on air quality of Port City, Final Report. City Government of Keelung, 2005, in Chinese.
- Hybrid Booklet, Hybrid Power Systems—Issues & Answers,2008.Photovoltaic Systems Research & Development, Sandia National Laboratories. Available from <http://photovoltaics.sandia.gov/docs/Hybook.html>S.
- Hydrogen and Fuel Cell Committee. Charting the course: a program roadmap for Canada’s transition to a hydrogen economy, 2004.
- IEA, World energy outlook, 2007

- International Maritime Organization. Annex VI to MARPOL 73/78 regulations for the prevention of air pollution from ships and NOx technical code. Report IMO—664E 1998.
- ISO 8217, 2005. Fuelquality standard for RESIDUAL marine fuels.Availablefrom /http://www.bunkerworld.com/technical/iso8217\_res.htmS.
- Kagaraki, K., 2001. Photovoltaic Technology. Symmetria Publications, ISBN: 978-960-266-183-3, pp. 52–129.
- Kapros, P., 2006. Energy Economics. National Technical University of Athens.
- Korea Electric Power Corporation (KEPCO) [Internet]. Available from: [www.kepcoco.kr/eng/](http://www.kepcoco.kr/eng/).
- Li Z, Boyle F, Reynolds A. Domestic application of solar PV systems in Ireland: the reality of their economic viability. Energy Sep. 2011;36:5865e76.
- Lin B, Lin C-Y. Compliance with international emission regulations: Reducing the air pollution from merchant vessels. Mar Pol 2006;30(3):220–5.
- Lorenzo, E.(1994) Solar electricity engineering of photovoltaic Systems, Progensa,
- Luo, F.L.(2012) Re -lift converter : design,test,simulation and stability analysis, pp315-325
- Maritime Update 2006, online /[http://www.trans-inst.org/updates\\_Mar\\_3\\_06.htmS](http://www.trans-inst.org/updates_Mar_3_06.htmS).
- MCIT.(2013) Τεχνολογίες και συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας και βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης, τρόπος λειτουργίας εφαρμογές στην Κύπρο, Ανάκτηση στις 4-8-2014 από [http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/7FCCCC67119C7A3AC2257586003AC345/\\$file/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%95%CE%9E%CE%9F%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97%CE%A3%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%A3.pdf](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/7FCCCC67119C7A3AC2257586003AC345/$file/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%95%CE%9E%CE%9F%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97%CE%A3%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%A3.pdf)
- Media Coverage (2011). Solar Panel Sails Move To Design Phase. Ανακτημένο από: <http://www.ecomarinepower.com/en/media-coverage?start=1>
- Moustafa, M. M., & El-bokl, E. E., 2014. Solar energy for River Nile cruisers. Vol. 65, No. 2, pp. 61-72
- NACAA.(2009) Protecting American Health from Shipping Pollution, Available in 14-6-2014 from [http://www.edf.org/sites/default/files/9466\\_ECA\\_report\\_March2009\\_0.pdf](http://www.edf.org/sites/default/files/9466_ECA_report_March2009_0.pdf)

- Nandi SK, Ghosh HR. Prospect of wind-PV-battery hybrid power system as an alternative to grid extension in Bangladesh. *Energy* Mar. 2010;35:3040e7.
- OPINET [Internet]. Available from: <http://www.opinet.co.kr/index.do?cmdOmain>
- Papalambopoulos Michail, Glykas Alexandros, 2008, Renewable energy implementation on merchant marine vessels. Wind turbines and photovoltaic systems. Unpublished Dissertation No. 333.79, University of the Aegean, Department of Shipping Trade and Transport.
- Patil, A. R., Atar, K. D., Potdar, A. A., & Mudholkar, R. R., 2013. Embedded fuzzy module for battery charger control. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 2, No. 8
- Piebalgs A.(2009), *EU energy policy: Towards a third industrial revolution*, Ανάκτηση στις 10-8-2014 από <http://www.euractiv.com/en/energy/eu-energy-policy-third-industrial-revolution/article-180372>
- Rehman S, Al-Hadhrami L. Study of a solar PV-diesel-battery hybrid power system for a remotely located population near Rafha, Saudi Arabia. *Energy* Aug. 2010;35:4986e95.
- Sarah W. (2014). Nichio Maru : The New Green Car Carrier from Nissan. Ανακτημένο από: <http://www.linkedin.com/groups/Nichio-Marunew-Green-Car-2485713.S.92243403>
- Sattler G. Fuel cells going on-board. *J Power Source* 2000;86:61–7.
- Schneider Electric (2014). Solar Sailor - Hong Kong Jockey Club (HKJC) ferries (Australia). Ανακτημένο από: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com) 1 [πρόσβαση στις 20-9-2014]
- Scott Robert, 1993. *Standard Ship Designs (Bulk Carriers and Tanker)*. Fairplay Publications Ltd, ISBN: 0-905045-72-6.
- Seddiek, I. S., Mosleh, M. A., & Banawan, A. A., 2013. Fuel saving and emissions cut through shore-side power concept for high speed crafts at the red sea in Egypt. *Journal of Marine Science and Application*, Vol. 12, No. 4, pp. 463-472
- Shvachko VI. Micromechanical aspects of reversible hydrogen embrittlement. *Mater Sci* 2000;36(4).
- Simon, R.(1991), *Solar Electricity*, McGraw Hill
- Skjolsvik K-O. Emissions from ships—the fourth Stanley Gray lecture. *Trans IMarE* 1123, 2000.

- Soufi, A., Chermitti, A., & Bibi Triki, N., 2013 Sizing and optimization of a livestock shelters solar stand-alone power system. *International Journal of Transportation Technologies*, Vol. 2, pp. 144-149
- Stackhouse, P., Whitlock, C., 2008. *Surface Meteorology and Solar Energy: A Renewable Energy Resource Web Site (release 6.0)* sponsored by NASA's Earth Science Enterprise Program. Available from [/http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/S](http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/S).
- Taiwan Headline. Environment official respond to oil spill 2001, online [/http://publish.gio.gov.tw/iisnet/20010206/20010206s2.html](http://publish.gio.gov.tw/iisnet/20010206/20010206s2.html).
- The Complete Guide to the Bunker Market, 2008. Available from [/http://www.bunkerworld.com/markets/prices/S](http://www.bunkerworld.com/markets/prices/S).
- US Department of Justice 2005, online [/http://www.usdoj.gov/opa/pr/2005/April/05\\_enrd\\_159.htm](http://www.usdoj.gov/opa/pr/2005/April/05_enrd_159.htm).
- Wang, C., & Nehrir, M. H., 2008. Power management of a stand-alone wind / photovoltaic / fuel cell energy system. *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, Vol. 23, No. 3, pp. 957-967
- Water Transit Authority. *Development of a hybrid Fuel Cell Ferry, Summary Report 2003*.
- World Solar Energy News, 2008. *Solar Electricity Prices*. Available from [/http://www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com).
- World Energy Council (2013), "World Energy Resources 2013 Survey", available at [http://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/2013/09/Complete\\_WER\\_2013\\_Survey.pdf](http://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf), accessed on 01-08- 2014.
- Yaw-Juen Wang, and Po-Chun Hsu, (2009), *Analysis of Partially Shaded PV Modules Using Piecewise Linear Parallel Branches Model* »