

**Πτυχιακή εργασία**  
**«Κατασκευή ηλεκτρικά κινούμενου**  
**πλωτού μέσου, με χρήση της**  
**ηλιακής ενέργειας**  
**για τις ανάγκες του»**



ΤΕΙ Κρήτης - Παράρτημα Χανίων

Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Επιβλέπων . Κατσίγιαννης Ιωάννης

Επιμέλεια Πτυχιακής Τέρεχοφ Διονύσης

## **Ευχαριστίες**

Ευχαριστώ πολύ τον κυριο Κατσίγιαννη Ιωάννη για την καθοδήγηση στην διάρκεια της πραγματοποίησης αυτής της εργασίας .

Επίσης ιδιαίτερα σημαντική ήταν και η συνεισφορά της συμφοιτήτριας μεταπτυχιακού προγράμματος Γκούνταρα Ευαγγέλια του Πολυτεχνείου Κρήτης , καθώς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή Γκουσαροβ Θεόδωρη για την στήριξη .

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την μητέρα μου που στάθηκε τόσα χρόνια κοντά στην προσπάθεια μου .

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη και κατασκευή ενός πλωτού ηλεκτρικά κινούμενου μέσου με τη χρήση ηλιακής ενέργειας. Η διεξαγωγή της παρούσας πτυχιακής εργασίας βασίστηκε στην κατασκευή και μελέτη ενός πειραματικού αυτοσχεδίου πρωτοτύπου μοντέλου, καθώς και στην πειραματική διαδικασία και ανάλυση των δυνατοτήτων αυτής της τεχνολογίας. Στο κατασκευαστικό κομμάτι πραγματοποιείται η ανάλυση και η σχεδίαση των θεωρητικών παραμέτρων όσο αφορά την κατανάλωση και παράγωγή ενέργειας, όπως επίσης και των ναυπηγικών χαρακτηριστικών του σκάφους. Στην πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και σχολιασμός των αποτελεσμάτων της λειτουργίας αυτής. Όλες οι μετρήσεις έχουν γίνει στο σημείο που έχει κατασκευαστεί το πρωτότυπο μοντέλο και τα αποτελέσματα προσομοιώνονται ως προς το γεωγραφικό πλάτος του νομού Χανίων. Στην εργασία αυτή αναλύεται επίσης η διαδικασία της κατασκευής και οι τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί, ενώ παράλληλα μελετάται η απόδοση του σκάφους σε διάφορες συνθήκες κατά την διάρκεια του έτους. Τέλος γίνονται συγκρίσεις ανάμεσα στα πειραματικά αποτελέσματα και διεξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τη βιωσιμότητα και τη βέλτιστη σχεδίαση του ηλεκτρικά κινούμενου πλωτού μέσου.

## Summary

The aim of this Thesis is to design and construct a floating electric vessel using solar energy. This project is based upon the construction and study of an experimental model specifically designed for the purposes of this study, in order to demonstrate the theoretical background of energy conversion from solar radiation to kinetic energy. During the vessel construction, an analysis has been performed in order to take account the theoretical parameters in regards to the production and consumption of energy, as well as the structural characteristics of the vessel. In the experimental procedure, actual measurements have been recorded and presented in the results section with commentary. All measurements are made at the location where the vessel has been built and the simulated results correspond to the latitude and longitude of Chania city, Crete. In the discussion section the process of construction, as well as the technologies that have been applied during the conduct of this project are being discussed. The performance of the solar powered vessel is also tested under different weather conditions throughout the year. Finally, comparisons are made between the theoretical and experimental results and conclusions are conducted on the viability and the optimal design of the solar powered floating vessel.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	
1.1 - Εισαγωγή	6
1.2 - Αντικείμενο της εργασίας	7
1.3 - Μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί	7
1.4 - Συνεισφορά της εργασίας	8
1.5 - Δομή της εργασίας	9
Κεφάλαιο 2 Ενεργειακό μέρος	
2.1 – Ήλιος	10
2.2 - Το ηλιακό φάσμα	10
2.3 - Η τροχιά της γης	12
2.4 - Η τροχιά της γης και οι εποχές του χρόνου	13
2.5 - Γωνία ύψους του ηλίου το ηλιακό μεσημέρι	14
2.6 - Ύψος και αζιμούθιο ήλιου	15
2.7 - Ζενιθιακή γωνία του ήλιου	16
2.8 - Προσανατολισμός του συλλέκτη	16
2.9 - Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας .	18
<b>Κεφάλαιο 3</b>	
3.1 - Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	19
3.2 -Τα είδη των φωτοβολταϊκών συστοιχιών	22
3.3 - Άλλες τεχνολογίες	25
3.4 - Οι ιδιότητες των ΦΒ, οι πρότυπες συνθήκες δοκιμής (STC) και οι καμπύλες I-V , P-V.	26
3.5 -Η απόδοσης ΦΒ στοιχείου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του.	28
3.6 - Συσσωρευτές	29
3.7 - Μπαταρίες μολύβδου-οξέος	30
<b>Κεφάλαιο 4 - Ναυπηγικό μέρος</b>	
4.1 – Εισαγωγή	33
4.2 - Στοιχεία ναυπηγικής του καταμαράν	33

4.3 - Η πλεύση του σκάφους	35
4.4 - Το αδιάρρηκτο φράγμα της συμβατικής πλεύσης	37
4.5 - Υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της καρίνας	41
4.6 Ναυπηγικές γραμμές	42
4.7 - Τρόπος σχεδίασης	45
4.8 Προώθηση του σκάφους	46
4.9 - Μηχανικός σχεδιασμός και χειρισμός	47
<b>Κεφάλαιο 5 Κατασκευαστικό μέρος</b>	
5.1 - Εισαγωγή	48
5.2 - Κατασκευή πλωτού μέσου	48
5.3 - Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν	51
5.4 - Κατασκευαστικό κομμάτι	53
5.5 - Ενσωμάτωση των μηχανικών εξαρτημάτων , κινητήρων , φωτοβολταϊκού πάνελ και μπαταριών .	57
5.6 - Κατασκευή του χειριστηρίου	63
<b>Κεφάλαιο 6 - Μετρήσεις και σχολιασμός</b>	
6.1 Μέτρηση της λειτουργίας των στοιχείων του σκάφους	65
6.2 Μέτρηση του κινητήρα σε λειτουργία	65
6.3 Μέτρηση φωτοβολταϊκού πάνελ	67
6.4 - Υπολογισμός της γωνίας του πάνελ για τις ώρες τις μέρας	74
6.5 – Μετρήσεις ταχύτητας κατά την πλεύση	75
6.6 - Μετρήσεις διανυσμάτων χρόνου κατά την διέλευση απόστασης 15 μέτρων και υπολογισμός ταχύτητας	75
6.7 - Θεωρητική προσέγγιση της δυνατότητας του σκάφους	76
6.8 Υπολογισμός τις απόδοσης του συστήματος	78
6.9 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	80
<b>Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα</b>	83
<b>Βιβλιογραφία</b>	85

## Κεφάλαιο 1

### 1.1 - Εισαγωγή

Σε όλους τους λαούς του κόσμου συναντάμε μια ιδιαίτερη σχέση του ανθρώπου με τον ήλιο. Κάποιοι λαοί τον λάτρευαν σαν θεό, κάποιοι τον σέβονταν για τη δύναμή του. Η σχέση του ανθρώπου με τον ήλιο δεν ήταν τυχαία καθώς ο ήλιος αποτελούσε ανέκαθεν μια πανίσχυρη μηχανή παραγωγής καθαρής ενέργειας.

Μολονότι βρισκόμαστε 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα μακριά, ο πλανήτης μας λαμβάνει αρκετή ενέργεια ώστε να κρατάει τη θερμοκρασία του κατά 288 βαθμούς Kelvin πιο ψηλά από το ελεύθερο διάστημα που είναι 2-3 βαθμούς Kelvin. Απλό παράδειγμα είναι αν κάποιος παραμείνει σε σκιά μια ηλιόλουστη μέρα και μετά μετακινηθεί στον ήλιο, θα νιώσει έντονα τη διαφορά στη θερμότητα που λαμβάνει από τις ακτίνες του.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη μετατροπή της σε άλλες μορφές όπως για παράδειγμα κινητική, ξεκίνησε μόλις τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Οι άνθρωποι όμως εκμεταλλεύονταν τον ήλιο ως πηγή φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας και ως μέσο για την ανάπτυξη της γεωργίας, από καταβολής κόσμου. Στην πραγματικότητα ενέργειες όπως η αποθήκευση τροφής για το χειμώνα ή η αποταμίευση του νερού της βροχής, ήταν μια πρωταρχική μορφή αποθήκευσης ενέργειας.

Κατά τη βιομηχανική επανάσταση με την εμφάνιση των πρώτων θερμικών μηχανών δόθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας μέσω της μετατροπής της ακτινοβολίας σε θερμότητα και της θερμότητας σε κινητική ενέργεια άμεσα. Όμως με ορυκτά καύσιμα και με ξύλα ήταν πιο εύκολη η παραγωγή ενέργειας και κράτησε για σχεδόν 200 χρόνια. Γύρω στη δεκαετία του 1950 έκαναν την εμφάνισή τους οι πρώτες ηλιοθερμικές πειραματικές στάθμες και οι μηχανές Stirling. Όλα άλλαξαν ριζικά όταν ανακαλύφθηκε το φωτοβολταϊκό (ΦΒ) φαινόμενο που έδωσε τη δυνατότητα να παράγουμε από την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας ηλεκτρική ενέργεια με πληθώρα εφαρμογών. Χάρη σε αυτό το γεγονός οι τεχνητοί δορυφόροι απέκτησαν μεγάλη αυτονομία στο διάστημα και η εξερεύνηση άλλων πλανητών έγινε πραγματικότητα.

Πληθώρα συσκευών απέκτησαν όλο και μεγαλύτερη αυτονομία και στο τέλος αναπτύχθηκε ένας ολοκληρωτικά νέος τρόπος παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας που εισβάλλει προοδευτικά στην ενεργειακή αγορά. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η ανάπτυξη ειδικότερα μονοκρυσταλλικών αγωγών έδωσε τη δυνατότητα να έχουμε κάποιες εφαρμογές που ανταγωνίζονται άλλες πηγές ενέργειας λόγω του μεγάλου ποσοστού της αποτελεσματικότητας, που κυμαίνεται 13%-14%.

Με βάση τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ηλιακή ενέργεια θα αποτελεί πάντα ένα σημαντικό κομμάτι στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και εάν λάβουμε υπόψη μας και την εξάντληση των ορυκτών πόρων είναι ίσως η κυριότερη πηγή. Είναι λοιπόν σημαντικό έως απαραίτητο να εξελισσόμαστε σε αυτόν τον τομέα ώστε να επωφεληθούμε από την άφθονη ενέργεια που μας προσφέρει αυτή η πηγή που ονομάζεται ήλιος.

## **1.2 - Αντικείμενο της εργασίας**

Σε αυτήν την εργασία κατασκευάστηκε και μελετήθηκε ένα πλωτό σκάφος που χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία ως κύρια πηγή ενέργειας για τις ανάγκες της πλεύσης και του χειρισμού. Αυτή η κατασκευή αποτελείται από ένα πλωτό μέσο με μεγάλο εμβαδόν για να μπορεί να συλλέξει αρκετή ακτινοβολία και από τα ηλεκτρικά στοιχεία όπως (ΦΒ) πάνελ, μπαταρίες, κυκλώματα ελέγχου και κινητήρες για την προώθηση. Συνολικά ο στόχος της μελέτης είναι να κατασκευαστεί ένα πλωτό σκάφος το οποίο θα μπορούσε να έχει εφαρμογή σε κάποιες ανάγκες για μικρά θαλάσσια μη επανδρωμένα οχήματα που μπορούν να πραγματοποιούν κάποιο είδος παρακολούθησης βυθού ή εργασίες συλλογής δεδομένων. Το όχημα θα πρέπει να έχει αρκετή ενέργεια για να μετακινηθεί σε μικρές αποστάσεις αλλά και να πραγματοποιήσει κάποιες μετρήσεις π.χ. της θερμοκρασίας, και του βάθους. Βεβαίως η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να οριστεί επακριβώς. Επίσης, στη μελέτη θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στο θέμα της (πλεύσης με χρήση ηλιακής ενέργειας) ενώ θα μελετηθούν και δυνατότητες που μπορούν να προσφερθούν.

## **1.3 - Μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί**

Το πρώτο βήμα στην υλοποίηση της μελέτης είναι η δημιουργία ενός προσχέδιου της κατασκευής το οποίο είναι απαραίτητο για να συγκεντρώσουμε τα υλικά για την υλοποίηση. Με αυτόν τον τρόπο, έχοντας ως πρότυπο ένα μικρό όχημα της τάξης



του ενός μέτρου για εύκολη μεταφορά πραγματοποιήθηκε μια προσομοίωση ως προς αυτό το μέγεθος. Στην συνέχεια όταν όλα τα απαραίτητα υλικά και εξαρτήματα συγκεντρώθηκαν, αναλύθηκαν τα χαρακτηριστικά τους και προχωρήσαμε στην κατασκευή. Το κατασκευαστικό μέρος της αποτελείται από δυο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η κατασκευή των πλωτών εξέδρων και η ρύθμιση τους ως προς τη βύθιση και το δεύτερο στάδιο αφορά τα μηχανικά μέρη και τη συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Τέλος, πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική πλεύση και έγινε καταγραφή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

#### **1.4 - Συνεισφορά της εργασίας**

Η χρήση αυτής της τεχνολογίας και η εξέλιξη της μπορεί να προσφέρει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως οικονομικότερη μεταφορά του εμπορεύματος και μείωση της εκπομπής των ρύπων από την καύση των ορυκτών. Αν παρατηρήσουμε την πρόοδο της τεχνολογίας των (ΦΒ) βλέπουμε αρκετή βελτίωση στην απόδοση τους που τους επιτρέπει να έχουν όλο και περισσότερες εφαρμογές. Ένα παράδειγμα είναι το σκάφος στην Σκωτία που ονομάζεται Mobicat και είναι μια ιδιωτική πρωτοβουλία της εταιρίας BSG. Έχει μήκος 33m και φάρδος 11m με 240 (ΦΒ) συστοιχίες συνολικής ισχύος 20kW. Αυτό το πλωτό μέσο μπορεί να μεταφέρει ως 150 επιβάτες και να αναπτύξει ταχύτητα 8km/h μόνο με χρήση των ηλιακών συλλεκτών. Αυτή ταχύτητα δεν είναι μεγάλη αλλά είναι αρκετή για να έχει πολλές εφαρμογές. Παίρνοντας ως παράδειγμα αυτήν την κατασκευή μπορούμε να πούμε πως αυτή η τεχνολογία είναι εφαρμόσιμη σε πολλούς τομείς και στο μέλλον θα την παρατηρούμε σε όλο και περισσότερες εφαρμογές. Σε αυτό οφείλεται η επιλογή του θέματος για την κατασκευή του πλωτού μέσου. Άλλο ένα παράδειγμα είναι ένα σκάφος Αγγλικής εταιρίας που κατασκευάστηκε πρόσφατα και θα κάνει ένα ταξίδι γύρω από τον κόσμο αποκλείστηκα με ηλιακή ενέργεια. Είναι ένα σύγχρονο σκάφος που συγκεντρώνει πάρα πολλές καινοτομίες στο χώρο του και το κόστος του ξεπερνά το ένα εκατομμύριο Ευρώ. Έχει και αυτό μια δομή καταμαράν και έχει μήκος 35m. Το όνομα του είναι σκάφος MS Turanor Planet Solar, διαθέτει ένα κατάστρωμα που καλύπτει πάνω από 500m<sup>2</sup> ηλιακών συλλεκτών, ενώ διαθέτει επίσης δυο κινητήρες σε κάθε καρίνα. Έτσι βλέπουμε ότι η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας είναι εφικτή και στο μέλλον θα παρατηρούμε όλο και περισσότερες τέτοιες κατασκευές.

#### **1.5 - Δομή της εργασίας**

Η δομή της εργασίας μπορεί να χωριστεί σε δυο μέρη: στο θεωρητικό μέρος και στο κατασκευαστικό μέρος. Στο θεωρητικό μέρος αναλύονται και επεξηγούνται οι λεπτομέρειες της κατασκευής και επίσης αναλύονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Επιπλέον, το θεωρητικό κομμάτι περιέχει ανάλυση των ηλιακών δεδομένων για την τοποθεσία που πραγματοποιήθηκε η μελέτη.

Στο κατασκευαστικό κομμάτι αναλύεται η διαδικασία και η σειρά υλοποίησης των βημάτων συναρμολόγησης καθώς και η επιλογή των υλικών για την κατασκευή των διαφόρων μερών όπως π.χ. της καρίνας .

## Κεφάλαιο 2 Ενεργειακό μέρος

### 2.1 - Ήλιος

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η σχεδίαση του σκάφους όσο αφορά την ενεργειακή ροή κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ΦΒ συστήματος . Έτσι είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε κάποια χαρακτηριστικά για τον ήλιο και για την ηλιοφάνεια σε συγκεκριμένες ώρες και συνθήκες ώστε να υπολογίσουμε την συνολική ενέργεια που διαθέτουμε ανά πάσα στιγμή. Συγκεκριμένα είναι προτεραιότητα να μελετήσουμε σχολαστικά τα ηλιακά χαρακτηριστικά όπως θέση, ενέργεια, κλίση κ.τ.λ. διότι ο ήλιος είναι και η μοναδική πηγή ενέργειας για ένα ηλιακά κινούμενο σκάφος.

### 2.2 - Το ηλιακό φάσμα

Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι το ηλιακό φάσμα που χαρακτηρίζει την ακτινοβολία και είναι πολύ χρήσιμο στην μελέτη της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Το φάσμα ενός μελανού σώματος εξαρτάται απευθείας από την θερμοκρασία του και αυτό σημαίνει πώς όλα τα σώματα που έχουν θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο 0°K η (-273,14°C) έχουν κάποια ακτινοβολία. Ο ήλιος έχει επιφανειακή θερμοκρασία 5500 °C, επομένως είναι ένα αρκετά θερμό σώμα και εκπέμπει αρκετή ενέργεια σε πολλά μήκη κύματος. Όπως θα δούμε παρακάτω στον Διάγραμμα 2.2 του φάσματος, η ενέργεια εκπομπής ενός σώματος είναι ανάλογη με την αύξηση εκπομπής ακτινοβολίας σε μικρά μήκη κύματος. Αυτό δικαιολογείται διότι όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος ενός φωτονίου τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια του, έτσι το μέλαν σώμα αναγκάζεται να εκπέμπει όλο και περισσότερη ακτινοβολία σε μικρότερα μήκη κύματος όσο αναβαίνει η θερμοκρασία του . Αυτό το φαινόμενο περιγράφει ο νόμος του Max Planck και δίδεται από τον τύπο:

Εξίσωση 2.2.1

$$E_{\lambda} = \frac{3.74 \cdot 10^8}{\lambda^5 \cdot \left[ e^{\frac{14400}{\lambda \cdot T}} - 1 \right]}$$

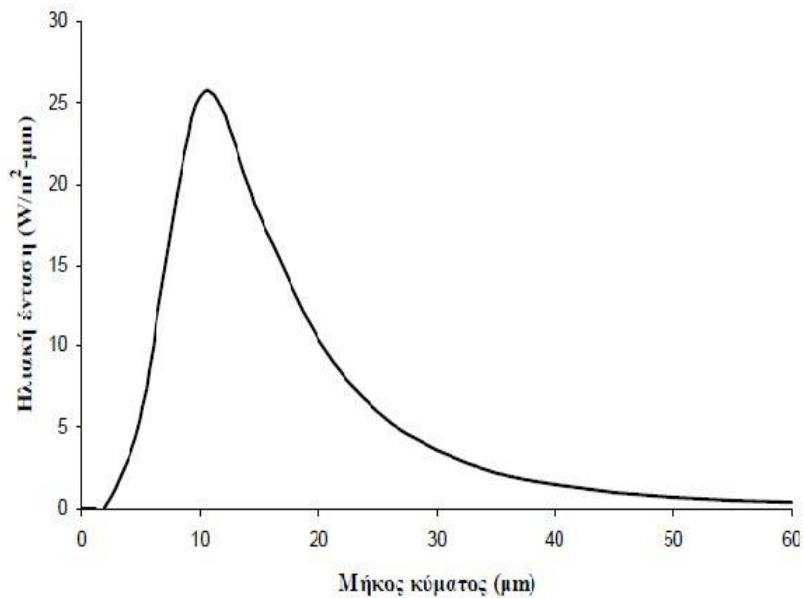
## 2.1

Μπορούμε να δούμε δυο χαρακτηριστικές καμπύλες για δυο σώματα όπως η γη και ο ήλιος στα Διαγράμματα 2.1 και 2.2 αντίστοιχα στα οποία παρατηρούμε ότι το μέσο μήκος κύματος για τη γη είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο μέσο μήκος του ηλίου. Από τους πίνακες φαίνεται ότι η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη του Max Planck είναι ίση με την εκπεμπόμενη ισχύ. Αυτή η συνολική εκπεμπόμενη ισχύς φάσματος υπολογίζεται από τον νόμο ακτινοβολίας του Stefan Boltzmann .

Εξίσωση 2.2.2

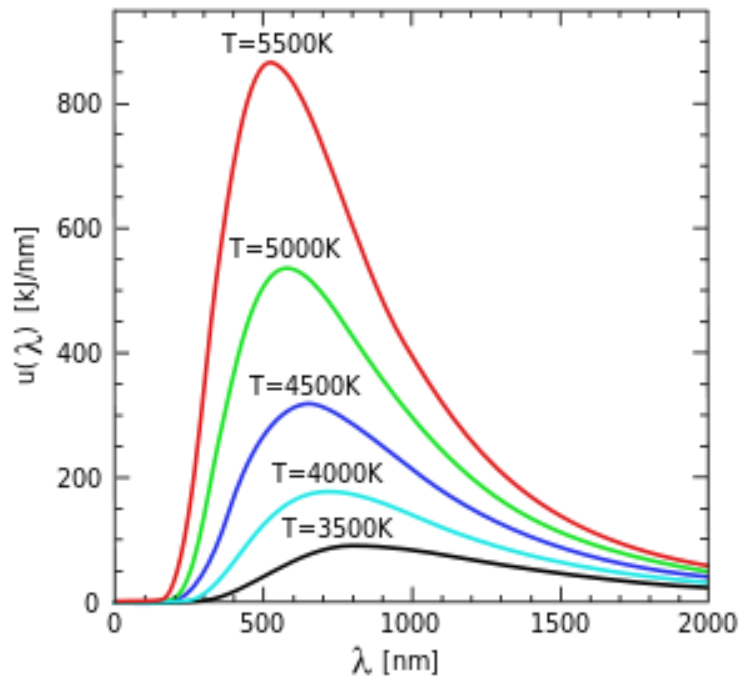
$$E = A * \Sigma * T^4$$

2.2



εκπεμπόμενη ισχύς φάσματος μέλανος σώματος 288<sup>0</sup>K.

Διάγραμμα 2.1



Καμπύλες της ισχύος του φάσματος των θερμοκρασιών μελανού σώματος από  $T_a = 3500\text{K}$  μέχρι  $T_a = 5500^\circ\text{C}$

Διάγραμμα 2.2

Ακόμα ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της καμπύλης εκπομπής του μέλανος σώματος δίνεται από τον κανόνα μετατόπισης του Wien, σύμφωνα με τον οποίο το μήκος κύματος στο οποίο το φάσμα εκπέμπει τη μέγιστη ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση:

Εξίσωση 2.2.3

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

2.3

όπου το μήκος κύματος  $\lambda_{\max}$  είναι σε  $\mu\text{m}$  και η θερμοκρασία σε  $^\circ\text{K}$ .

### 2.3 - Η τροχιά της γης

Όπως είδαμε η προσπίπτουσα ενέργεια σε ένα αντικείμενο εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας αλλά και από την γωνιά που πέφτει στην επιφάνεια. Δηλαδή όσο η

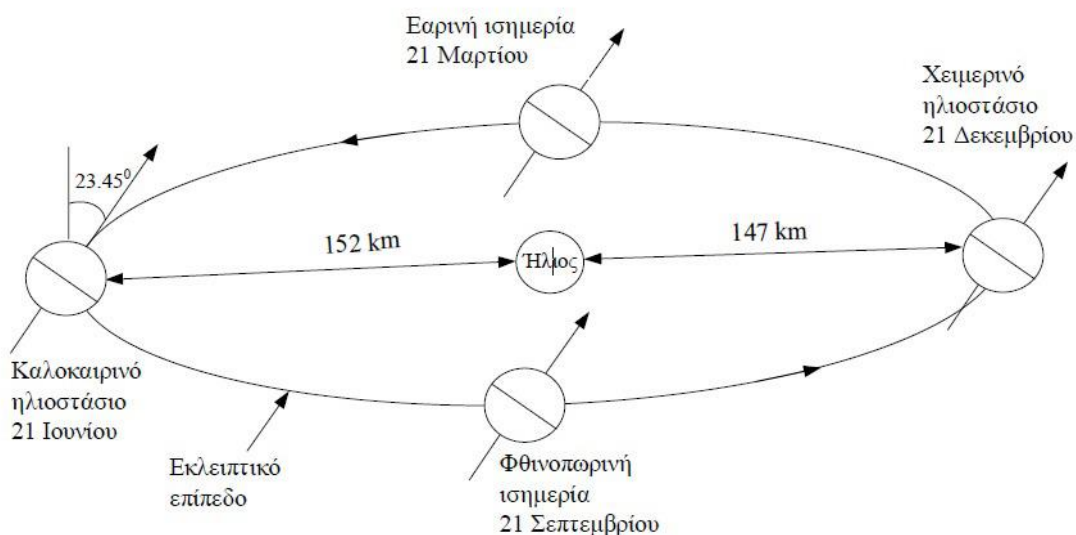
επιφάνεια είναι κάθετη στις ακτίνες έχουμε την μέγιστη ενέργεια και όταν η γωνιά αυτή αλλάζει έχουμε μεταβολή της ενέργειας. Μπορούμε να πούμε και ότι όταν η γωνιά είναι  $0^\circ$  η ενέργεια είναι μέγιστη ενώ όσο τείνει προς τις  $90^\circ$  μηδενίζεται. Στην περίπτωση του ηλίου ως πηγή ακτινοβολίας έχουμε συνεχώς την μεταβολή της γωνίας και χρειάζεται γνώση των εξισώσεων της ηλιακής γεωμετρίας για να προβλέψουμε την πορεία του. Έτσι ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία.

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο με ελλειπτική τροχιά, κάνοντας μία περιστροφή κάθε 365.25 μέρες. Η εκκεντρότητα της έλλειψης είναι μικρή και η τροχιά είναι, στην πραγματικότητα, σχεδόν κυκλική. Το σημείο στο οποίο η γη είναι πλησιέστερα στον ήλιο, το περιήλιο, συμβαίνει στις 2 Ιανουαρίου, στο οποίο σημείο η απόσταση είναι λίγο μεγαλύτερη από 147 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Στην άλλη ακραία θέση, στο αφήλιο, το οποίο συμβαίνει στις 3 Ιουλίου, η γη απέχει περίπου 152 εκατομμύρια χιλιόμετρα από τον ήλιο. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η μεταβολή της ενέργειας σε μια μικρή μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως το σκάφος είναι ασήμαντη και δεν χρειάζεται να προβλεφτεί. Αντιθέτως η πορεία του ηλίου στον ουράνιο θόλο και οι εποχές είναι σημαντικό να υπολογιστούν διότι μεταβάλουν κατά πολύ την ενέργεια που μπορεί να παραχθεί όπως θα δούμε στην συνέχεια.

#### **2.4 - Η τροχιά της γης και οι εποχές του χρόνου**

Όπως ειπώθηκε παραπάνω η γη ακολουθεί μια σχεδόν κυκλική τροχιά και κατά την περιστροφή της δεν αλλάζει η ενέργεια που δέχεται συνολικά. Όμως λόγω εκκεντρότητας της περιστροφής της ίδιας της γης γύρω από τον εαυτό της ως προς τον άξονα περιστροφής γύρω από τον ήλιο, έχουμε μεταβολή της ενέργειας κατά την διάρκεια των εποχών ως προς ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε μια στατική θέση στην επιφάνεια. Η απόκλιση του άξονα περιστροφής της γης έναντι του ηλίου είναι θετική για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητική για το νότιο κατά την διάρκεια της περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο. Οι ακραίες τιμές της είναι  $+23.45^\circ$  στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και  $-23.45^\circ$  στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο) βλ. Σχήμα 2.4. Παρατηρούμε ότι όσο έχουμε αλλαγή ημερών έχουμε αλλαγή και στη διάρκεια ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια της

μέρας , έτσι το χειμώνα στο βόριο ημισφαίριο έχουμε κατά πολύ μικρότερη διάρκεια ενάντια του καλοκαιριού. Συνεπώς έχουμε και αλλαγή της κλίσης των ακτινών του ήλιου κάθε μέρα την ίδια ώρα ως προς τοπικό οριζόντιο επίπεδο κατά την διάρκεια του έτους,κατι που θα το αναλυθεί στη συνέχεια .



Σχήμα 2.4

Κλίση του άξονα περιστροφής της γης ως προς το εκλειπτικό επίπεδο .

## 2.5 - Γωνία ύψους του ηλίου το ηλιακό μεσημέρι

Ο ήλιος ανατείλει στην ανατολή, δύει στη δύση και φθάνει στο υψηλότερο σημείο του το μεσημέρι. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι πολύ χρήσιμο να μπορούμε να προβλέπουμε τη θέση του ήλιου στον ουρανό κάθε χρονική στιγμή , σε κάθε μέρος της γης και για κάθε μέρα του έτους. Στην περίπτωση ενός φωτοβολταϊκού χρησιμοποιούμε τη μέγιστη μέση γωνία ήλιου προκειμένου να εκτίθεται στη μεγαλύτερη δυνατή ακτινοβολία η φωτοβολταϊκή μας συστοιχία. Στην περίπτωση του πλωτού μέσου λόγω του ότι μπορεί να κινηθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση κατά την πλεύση έχουμε επιλέξει μια γωνιά  $0^\circ$ . Κατά την διάρκεια της στάσης μπορούμε να εκμεταλλευτούμε αυτή την γωνιά για να έχουμε καλύτερη απόδοση εφόσον το επιτρέπει η κατασκευή μας να σηκώσουμε το ΦΒ πάνελ σε μια γωνιά π.χ.  $30^\circ$ .

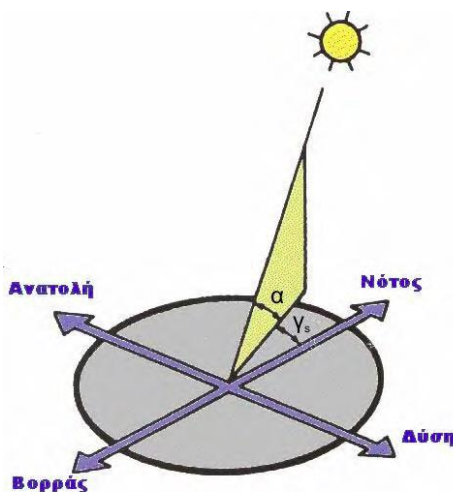
## 2.6 - Ύψος και αζιμούθιο του ήλιου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες : το ύψος του ήλιου ( $\alpha$ ) και το αζιμούθιο του ήλιου ( $\gamma$ ). Το ύψος του ήλιου ( $\alpha$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα (Σχήμα 2.5) . Αζιμούθιο  $\gamma$  είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά – νότου. Ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη as summut, που σημαίνει κατεύθυνση. Προς τα δεξιά από το νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό. Το αζιμούθιο είναι:

Για νότιο προσανατολισμό  $\gamma=0^\circ$

Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.

Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.



Σχήμα 2.5

## 2.7 - Ζενιθιακή γωνία του ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία , δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου ( $\theta_z$ ) . Ζενίθ είναι το



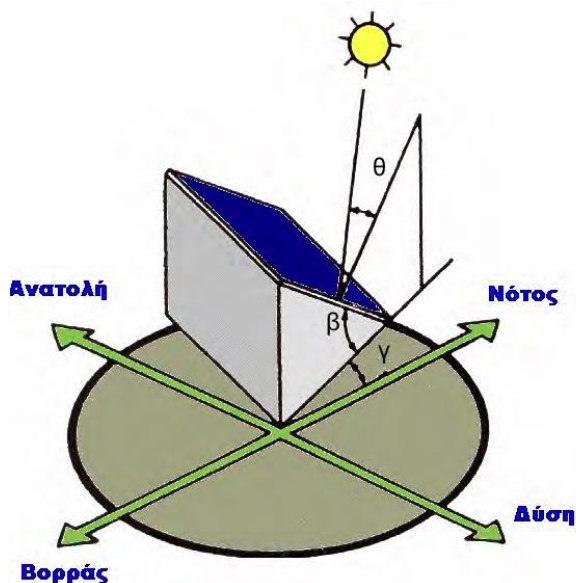
σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη Senit που σημαίνει ευθεία οδός . Ωριαία γωνία του ήλιου ορίζεται ως ωριαία γωνία ( $\omega$ ) του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία  $\omega=0^\circ$  ενώ κάθε ώρα η  $\omega$  μεταβάλλεται κατά  $15^\circ$ . Τις πρωινές ώρες η  $\omega$  είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-) Ισχύει ότι:

Εξίσωση 2.7

$$\omega = \pm 0.25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$$

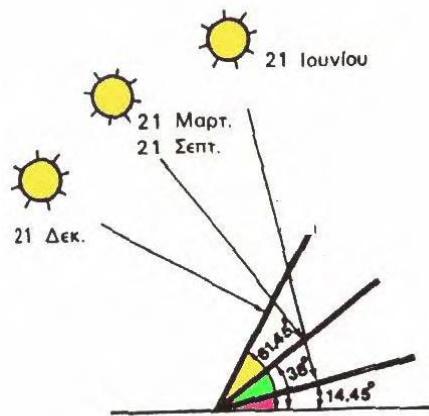
## 2.8 - Προσανατολισμός του συλλέκτη

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία.



Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ), το αζιμούθιο του συλλέκτη ( $\gamma$ ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στο συλλέκτη ( $\theta$ ).

Σχήμα 2.6



Βέλτιστη κλίση του συλλέκτη των τεσσάρων εποχών

Σχήμα 2.7

Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία  $30^\circ$  ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι  $45^\circ$  ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ. ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου  $25^\circ$ . Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες). Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση.

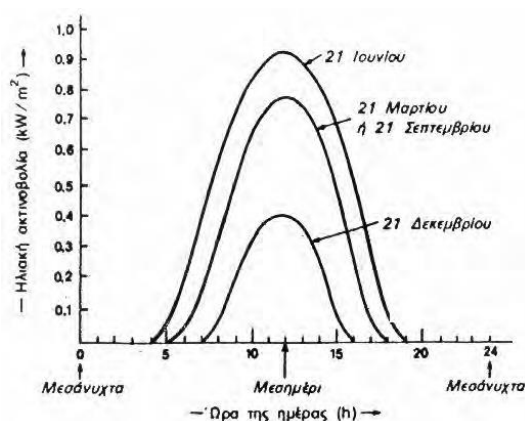
Στον Πίνακα 2.1 δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον σε περιοχές όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες.

Πίνακας 2.1

Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0.05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Αγρός με σκοτεινόχρωμα χώμα	0.08
Πράσινος αγρός	0.15
Βραχώδη επιφάνεια	0.20
Επιφάνεια παλαιού τσιμέντου	0.24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου	0.30
Χιόνι	0.60

## 2.9 - Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας .

Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια τριών χαρακτηριστικών ημερών του έτους:



Σχήμα 2.8

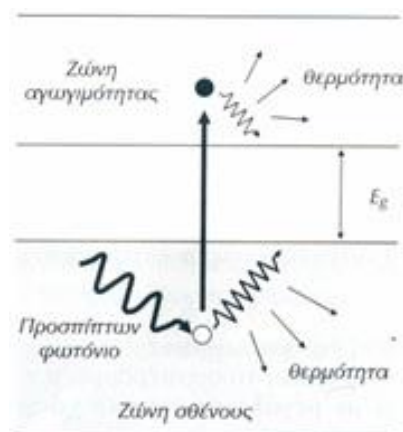
Σημείωση:(οι ώρες είναι σε ηλιακές τιμές σε σχέση με το ηλιακό μεσημέρι )

Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας με τον ηλιακό συλλέκτη σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Έχουμε ήδη τονίσει ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτινών να γίνεται κάθετα .

## Κεφάλαιο 3

### 3.1 - Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η φωτοβολταϊκή μετατροπή της ενέργειας βασίζεται στην κβαντική φύση του φωτός σύμφωνα με την οποία θεωρούμε το φως ως μια ροή σωματιδίων - φωτονίων - τα οποία μεταφέρουν ενέργεια, όπου  $h$  είναι η σταθερά Planck,  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός και  $\lambda$  το μήκος κύματος του φωτός. Σε μια καθαρή ημέρα  $4.4 \times 10^{17}$  φωτόνια περίπου, χτυπούν ένα τετραγωνικό εκατοστό της επιφάνειας της γης κάθε δευτερόλεπτο. Μερικά μόνο απ' αυτά τα φωτόνια - εκείνα των οποίων η ενέργεια ξεπερνά το ενεργειακό χάσμα - μπορούν να μετατραπούν σε ηλεκτρισμό από το ηλιακό στοιχείο. Όταν ένα τέτοιο φωτόνιο εισέλθει στον ημιαγωγό, μπορεί να απορροφηθεί και να προωθήσει ένα ηλεκτρόνιο από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας (Σχήμα 3.1). Από τη στιγμή που μια οπή παραμένει πίσω, μέσα στη ζώνη σθένους η διαδικασία της απορρόφησης παράγει ένα ζευγάρι ηλεκτρονίου-οπής. Κάθε ημιαγωγός επομένως περιορίζεται στο να μετατρέπει μόνο ένα μικρό μέρος του ηλιακού φάσματος. Μόνο ένα μέρος του κελιού είναι τύπου-η. Στο υπόλοιπο μέρος έχει προστεθεί βόριο, το οποίο έχει 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα αντί 4, με τα οποία γίνεται τύπου-ρ πυρίτιο. Το πυρίτιο τύπου-ρ, έχει κενές οπές αντί για ελεύθερα ηλεκτρόνια. Οι οπές ουσιαστικά εκφράζουν την απουσία των ηλεκτρονίων και για αυτό είναι θετικά φορτισμένες. Περιφέρονται ακριβώς όπως τα ηλεκτρόνια.



Αναπαράσταση της μετατροπής ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα κατά τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ημιαγωγό.

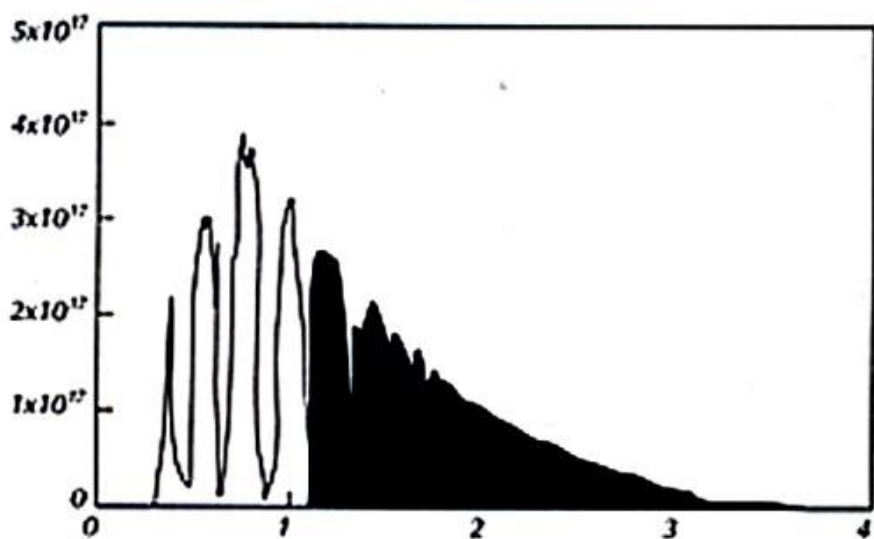
Σχήμα 3.1

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.1), το φάσμα έχει σχεδιαστεί εδώ στο σχήμα 3.2 όπως η προσπίπτουσα ροή φωτονίων σε συνάρτηση με την ενέργεια του φωτονίου. Η σκιασμένη περιοχή συμβολίζει τη ροή φωτονίων, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια από ένα στοιχείο πυριτίου και είναι περίπου τα δύο τρίτα της ολικής ροής.

εξίσωση 3.1

$$E_{ph}(\lambda) := hc/\lambda$$

3.1

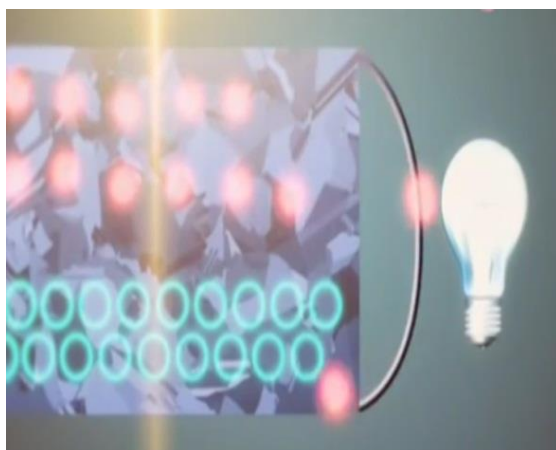


Αναπαράσταση του ηλιακού φάσματος σε σχέση με την απορρόφηση ενός ημιαγωγού

σχήμα 3.2

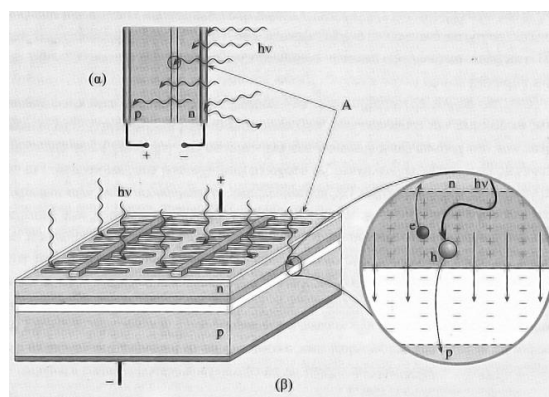
Η φύση της διαδικασίας απορρόφησης δείχνει επίσης πως ένα μέρος της προσπίπτουσας ενέργειας του φωτονίου χάνεται κατά το φαινόμενο. Πράγματι είναι εμφανές ότι πρακτικώς όλα τα παραγόμενα ζεύγη ηλεκτρονίου - οπής έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα. Αμέσως μετά τη δημιουργία τους, το ηλεκτρόνιο και η οπή μετακινούνται και παραμένουν κοντά στα άκρα των αντίστοιχων ζωνών τους. Η πλεονάζουσα ενέργεια χάνεται ως θερμότητα και δεν μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη ισχύ. Αυτή η διαδικασία περιγράφει έναν από τους βασικούς μηχανισμούς απωλειών, που συναντούμε μέσα σ' ένα ηλιακό στοιχείο.

Επίσης ένα χαρακτηριστικό είναι η οπτικό - ηλεκτρική συμπεριφορά του ημιαγωγού . Όταν ένας ημιαγωγός φορτίζεται άγει με διαφορετική τάση το ρεύμα από ότι όταν βρίσκεται στο σκοτάδι . Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από την συχνότητα της ακτινοβολίας ή αλλιώς από το μήκος κύματος και επηρεάζει την διαδικασία του φαινομένου αν αλλαχτούν η συνθήκες ακτινοβολίας. Από μόνο του το ΦΒ φαινόμενο δεν αρκεί για να παραχθεί ρεύμα, αλλά θα πρέπει να τεθούν σε κίνηση τα ηλεκτρόνια φορείς με κάποιο μηχανισμό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία μιας επαφής ημιαγωγού με διαφορετικές προσμίξεις. Στο σημείο επαφής με την ακτινοβολία επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο ένα σταθερό ρεύμα που μπορεί να παρουσιαστεί σαν αυτόνομη πηγή ηλεκτρισμού όσο διαρκεί το φαινόμενο . Στο εικόνα 3.1 και σχήμα 3.3 φαίνεται πώς επιτυγχάνεται αυτή η διαδικασία.



Αναπαράσταση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απο έναν ημιαγωγό

εικόνα 3.1



Δημιουργία ηλεκτρονίου στη ζώνη σθένους επαφής N-P

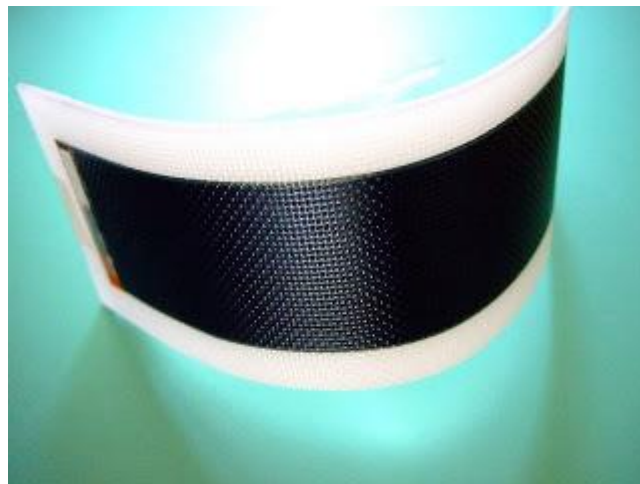
Σχήμα 3.3

Συγκεκριμένα όταν η στρώση με το πλεόνασμα των ελευθέρων φορέων δέχεται ακτινοβολία, οι ελεύθεροι φορείς απελευθερώνουν ηλεκτρόνια τα οποία αν συνδεθούν σε ένα βρόχο με αγωγό που συνδέεται στην πλευρά του ημιαγωγού όπου πλεονάζουν, παρουσιάζεται κάποιο σημαντικό ρεύμα και η υπόλοιπη προσπίπτουσα ακτινοβολία είτε ανακλάται, είτε μετατρέπεται σε θερμότητα. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι με τη διαδικασία που αναφέρθηκε καταφέρνουμε να πραγματοποιήσουμε μερική μετατροπή της ακτινοβολίας απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το ποσοστό της απόδοσης αυτής της μετατροπής εξαρτάται από τον ημιαγωγό και την ποιότητα του κρυστάλλου .

### 3.2 Τα είδη των φωτοβολταϊκών συστοιχιών

Τα είδη των ΦΒ συστοιχιών μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις βασικές ομάδες:

Η πρώτη ομάδα αποτελείται από άμορφο κρυσταλλικό σώμα που συνήθως έχει και την μικρότερη απόδοση της τάξης 2-6%. Το άμορφο πυρίτιο δεν έχει κρυσταλλική μορφή. Τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου κατασκευάζονται μέσω της τεχνολογίας των λεπτών υμένων (thin film). Μακράν οικονομικότερα από τα υπόλοιπα, χρησιμοποιούνται και αυτά στην προσπάθεια μείωσης του κόστους κατασκευής.



Ευκαμτο ΦΒ πάνελ από άμορφο κρυσταλλικό σώμα .

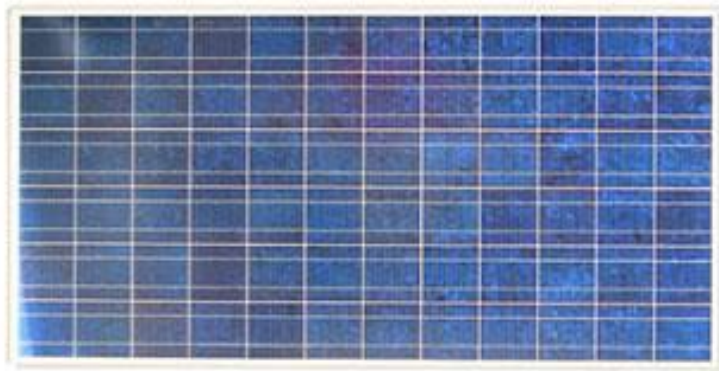
Εικόνα 3.2

Το άμορφο πυρίτιο (a-Si) διαφέρει από το κρυσταλλικό πυρίτιο στο ότι τα άτομα του πυριτίου δεν είναι τοποθετημένα σε πολύ συγκεκριμένες αποστάσεις το ένα από το άλλο και οι γωνίες μεταξύ των δεσμών Si-Si δεν έχουν μια συγκεκριμένη μοναδική τιμή . Αυτή η ακανόνιστη διάταξη μέσα στην ατομική διευθέτηση έχει μια σημαντική επίδραση πάνω στα ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά του υλικού. Αυτό σημαίνει τη δημιουργία υλικού με άμεσο (οπτικό) ενεργειακό χάσμα των 1.75 eV περίπου, καθώς μάλιστα οι ενεργειακές του ζώνες παρουσιάζουν μια πολύ υψηλή πυκνότητα καταστάσεων μέσα στο ενεργειακό χάσμα, που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στις ελλειπείς συνδέσεις. Το 1969 βρέθηκε ότι η ένταξη υδρογόνου μέσα σε άμορφο πυρίτιο θα μπορούσε να απενεργοποιήσει τους ελλειπείς δεσμούς και να ελαττώσει την πυκνότητα των καταστάσεων μέσα στο ενεργειακό χάσμα, σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορεί να κατασκευασθεί υλικό τύπου - n ή τύπου - p από την πρόσμειξη φωσφόρου ή βορίου. Τόσο ο τύπος p όσο και ο τύπος n έχουν χαμηλές ιδιότητες μεταφοράς και τα ηλεκτρικά στοιχεία απλής επαφής p-n έχουν χαμηλές αποδόσεις . Η πληθώρα διαμορφώσεων της τεχνολογίας αυτής έδωσε και κάποιες δυνατότητες στις φωτοβολταϊκές κυψέλες όπως μεγάλη ευλυγισία και αντοχή και σύντομα στο μέλλον αναμένεται να έχει και πολλές εφαρμογές που θα προσφέρουν καινοτομίες όπως υφάσματα , πλαστικά, βαφές με φωτοβολταϊκές ιδιότητες.

Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από πολυκρυσταλλικό σώμα όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3, συνεπώς η ΦΒ συστοιχία έχει καλύτερη απόδοση που εξαρτάται από το μέγεθος των συσσωμάτων του κρυστάλλου. Τα ΦΒ πολυκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από χυτό πυρίτιο. Είναι ελαφρώς οικονομικότερα από τα αντίστοιχα μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο χρησιμοποιείται στην προσπάθεια μείωσης του κόστους κατασκευής, παρόλο που τα προερχόμενα κελιά του δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (P-Si) η κρυσταλλική δομή δεν είναι η ίδια σε όλο το στερεό αλλά παίρνει διαφορετικό προσανατολισμό σε διάφορες περιοχές του στερεού που χωρίζονται μεταξύ τους με συγκεκριμένες νοητές γραμμές. Έχουν χρώμα γαλάζιο και στην επιφάνεια του στοιχείου διακρίνονται μονοκρυσταλλικές περιοχές. Η απόδοση είναι περίπου 12-15% και απαιτούνται 8-10m<sup>2</sup> για 1kWp



(συνεπώς για την ίδια ισχύ απαιτείται λίγο μεγαλύτερη επιφάνεια σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικού). Κόβονται σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής πάχους 10-50 $\mu\text{m}$ . Χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες.



Ένα συμβατικό πολυκρυσταλλικό ΦΒ πάνελ.

Εικόνα 3.3

Η τρίτη ομάδα των φωτοβολταϊκών αποτελείται από συστοιχία με μονοκρυσταλλικό κρύσταλλο και έχει την μέγιστη απόδοση 15-18% . Όλα τα ΦΒ συνήθως είναι μια λεπτή στρώση του φωτοευαίσθητου υλικού πάνω σε μια επιφάνεια στερέωσης της τάξης περίπου 300 $\mu\text{m}$ . Μέχρι τώρα το πυρίτιο ήταν ηλεκτρικά ουδέτερο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια εξισορροπούνται από τα επιπλέον πρωτόνια στον φώσφορο. Στο βόριο το έλλειμμα των ηλεκτρονίων εξισορροπούνταν από το έλλειμμα των πρωτονίων. Όταν τα ηλεκτρόνια και οι οπές ενωθούν κατά την σύνδεση του πυριτίου τύπου η και ρ, διαταράσσεται η ουδετερότητα. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν γεμίζουν όλες τις κενές οπές επειδή δεν θα ήταν χρήσιμο. Στο σημείο της σύνδεσης, όμως ενώνονται και σχηματίζουν ένα φράγμα, κάνοντας όλο και δυσκολότερη τη διέλευση των ηλεκτρονίων από την η περιοχή στην ρ. Τελικά καταλήγουμε σε ισορροπία και δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο που διαχωρίζει τις δύο πλευρές. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν δίοδος, επιτρέποντας στα ηλεκτρόνια να ρέουν από την ρ περιοχή στην η, αλλά όχι στην αντίθετη κατεύθυνση. Έτσι έχουμε ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο λειτουργεί σαν μια δίοδος στην οποία τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν μόνο προς την μια κατεύθυνση.

### 3.3 - Άλλες τεχνολογίες

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει τοποθετηθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6%. Το φθινό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση. Επίσης άλλης τεχνολογίας είναι τα ηλιακά κύτταρα δισελινιούχου ινδιούχου χαλκού: Το ημιαγωγό υλικό του δισελινιούχου ινδιούχου χαλκού (CIS) είναι ένα ημιαγωγό υλικό, το οποίο μπορεί να είναι τύπου n ή p, και έχει μια άμεση οπτική απορρόφηση με τον υψηλότερο συντελεστή απορρόφησης που έχει μετρηθεί μέχρι σήμερα. Τα ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά του CIS εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το λόγο χαλκού/ινδίου, ενώ ο καλός έλεγχος της στοιχειομετρίας του θεωρείται ουσιώδης για αποδοτικές διατάξεις.

Η συγχώνευση του γαλλίου μέσα στο CIS, έχει ένα αριθμό πλεονεκτημάτων. Το Γάλλιο αντικαθιστά το ίνδιο για να δώσει ένα πραγματικό κράμα - χαλκού ινδίου/γαλλίου δισεληνίου (CIGS) - με ένα ενεργειακό χάσμα του αυξάνει με την αύξηση του ποσοστού του γαλλίου.

Άλλη τεχνολογία ΦΒ είναι τα ηλιακά Κύτταρα Καδμίου Τελλουριούχου Καδμίου. Είναι γνωστό από το 1950 ότι το Τελλουριούχο κάδμιο έχει το ιδανικό ενεργειακό χάσμα για ένα υλικό ηλιακής απορρόφησης. Αυτές οι προσπάθειες, όμως, ήταν μικρές και ασυντόνιστες και εμποδίζονταν από το χαμηλό επίπεδο της τεχνολογίας υλικών της ομάδας. Το κατόρθωμα στο τέλος του 1970 ήταν να αναπτυχθούν ειδικές κατεργασίες μετά την απόθεση, οι οποίες ελαττώνουν πολύ την πυκνότητα αυτών των κέντρων επανασύνδεσης.

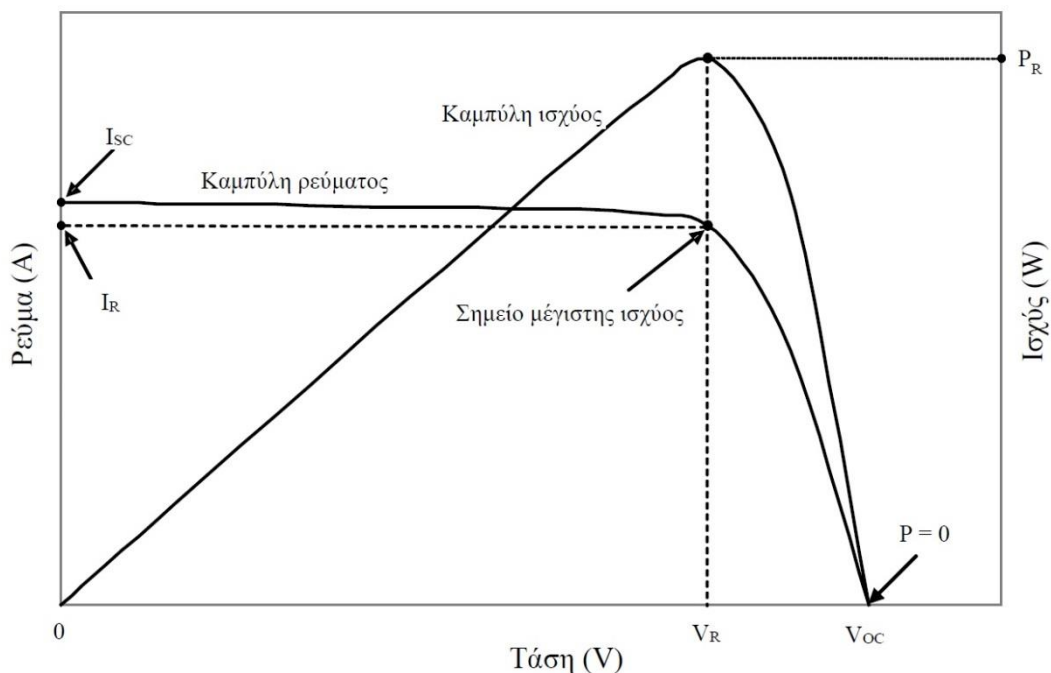
Πίνακας 3.1

Υλικά φωτοβολταϊκών στοιχείων	Μono-κρυσταλλικό	Πολυ-κρυσταλλικό	Αμορφο πυρίτιο	Μεμβράνες GaAs	Μεμβράνες CuO	Μεμβράνες Cd-Te
Θεωρητική βέλτιστη απόδοση (%)	24	18	12	23	20	24
Πραγματική απόδοση (%)	15	12	5	-	-	-

### 3.4 – Οι ιδιότητες των ΦΒ, οι πρότυπες συνθήκες δοκιμής (STC) και οι καμπύλες I-V, P-V.

Ένα ΦΒ πλαίσιο συνδέεται συχνά με κάποιο φορτίο, όπως για παράδειγμα, μία μπαταρία ή ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος. Πριν τη σύνδεση του φορτίου, το ΦΒ πλαίσιο που είναι εκτεθειμένο στον ήλιο θα παράγει μία τάση ανοικτοκύκλωσης  $V_{OC}$ , αλλά δε θα διαρρέεται από ρεύμα. Αν οι ακροδέκτες του ΦΒ στοιχείου βραχυκυκλωθούν, θα κυκλοφορήσει το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ , αλλά η τάση εξόδου θα είναι μηδέν. Και στις δύο περιπτώσεις, καθώς η ισχύς είναι το γινόμενο τάσης και ρεύματος, το ΦΒ στοιχείο δεν παράγει ισχύ και το φορτίο δεν παραλαμβάνει ισχύ. Όταν συνδεθεί το φορτίο, κάποιος συνδυασμός τάσης και ρεύματος θα προκύψει και θα παραχθεί ισχύς. Για να υπολογιστεί το ποσό της ισχύος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι χαρακτηριστικές  $I-V$  του ΦΒ πλαισίου και του φορτίου.

Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται μία γενική χαρακτηριστική  $I-V$  ενός ΦΒ πλαισίου, όπου φαίνονται διάφορες σημαντικές παράμετροι όπως η τάση ανοικτοκύκλωσης  $V_{OC}$  και το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ . Επίσης φαίνεται και η ισχύς που παράγει το ΦΒ πλαίσιο. Στα δύο άκρα της χαρακτηριστικής  $I-V$ , η ισχύς εξόδου είναι μηδέν επειδή είτε το ρεύμα ή η τάση είναι μηδέν σε εκείνα τα σημεία. Το σημείο της μέγιστης ισχύος είναι στο γόνατο της καμπύλης ισχύος. Το σημείο της μέγιστης ισχύος  $P_R$  αντιστοιχεί σε ονομαστικό ρεύμα  $I_R$  και σε ονομαστική τάση  $V_R$  κάτω από τις ειδικές συνθήκες που αντιστοιχούν στις ιδανικές συνθήκες δοκιμών του ΦΒ πλαισίου.



Χαρακτηριστική  $I-V$  και καμπύλη ισχύος ενός ΦΒ πλαισίου.

Σχήμα 3.3

Η χαρακτηριστική  $I-V$  του ΦΒ πλαισίου εξαρτάται από την ηλιακή ένταση και τη θερμοκρασία. Η πρότυπη θερμοκρασία του Φβ στοιχείου είναι 250C (η οποία είναι η θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου και όχι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος). Οι κατασκευαστές πάντοτε παρέχουν δεδομένα απόδοσης κάτω από αυτές τις συνθήκες λειτουργίας. Η παράμετρος κλειδί κάθε ΦΒ πλαισίου είναι η ονομαστική του ισχύς που στο πλαίσιο που διαθέτουμε είναι 20W. Ένας άλλος τρόπος προσδιορισμού του σημείου μέγιστης ισχύος είναι με τη βοήθεια του συντελεστή πλήρωσης,  $FF$ , ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

Εξίσωση 3.2

$$FF = \frac{P_R}{V_{OC} \cdot I_{OC}} = \frac{V_R \cdot I_R}{V_{OC} \cdot I_{OC}}$$

3.2

Ο συντελεστής πλήρωσης είναι περίπου 70-75% για φ/β πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου, και 50-60% για φ/β πλαίσια άμορφου πυριτίου.

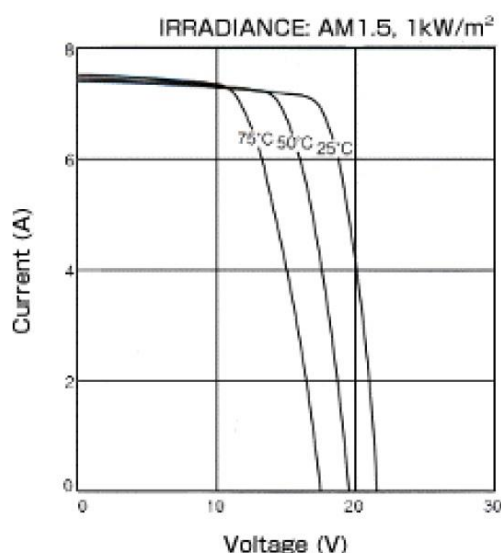
### Η απόδοση ενός ΦΒ στοιχείου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του.

Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός ΦΒ στοιχείου με μια συμβατική θερμοκρασία (π.χ. 20°C) είναι ( $n$ ), η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία ( $\theta$ ) θα είναι :

$$n\theta = n \cdot \sigma_{\theta}$$

όπου  $\sigma_{\theta}$  είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασίας διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική θερμοκρασία, ο  $\sigma_{\theta}$  είναι ίσος με τη μονάδα, και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.

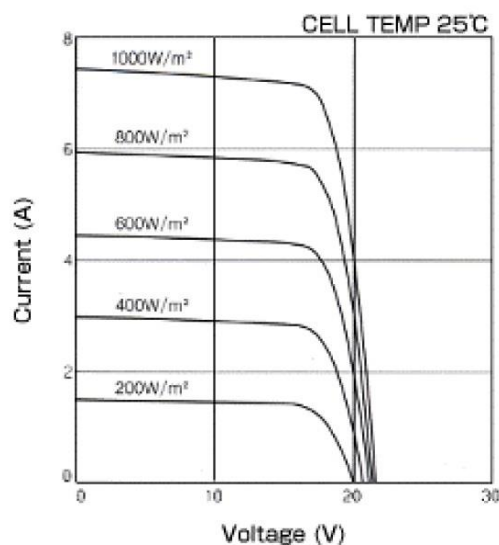
Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου, η τάση ανοικτοκύκλωσης μειώνεται σημαντικά ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνεται μόνο λίγο. Τα φωτοβολταϊκά, ίσως απρόσμενα, συμπεριφέρονται καλύτερα τις κρύες, ξάστερες μέρες, παρά τις ζεστές. Για τα ΦΒ στοιχεία από κρυσταλλικό πυρίτιο, η  $V_{OC}$  μειώνεται περίπου 0.37% για κάθε βαθμό Κελσίου αύξησης της θερμοκρασίας και το  $I_{SC}$  αυξάνεται περίπου κατά 0.05%. Έτσι, όταν τα ΦΒ στοιχεία θερμαίνονται, το σημείο μέγιστης ισχύος μειώνεται κατά περίπου 0.5%/°C. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4 η καμπύλη φόρτου με την θερμοκρασία μειώνεται στην τάση αρκετά και στην ένταση πολύ λιγότερο με σταθερή ακτινοβολία 1kW/m<sup>2</sup>.



Η καμπύλη φόρτου και η μορφή της σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Σχήμα 3.4

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5 με την μείωση της ακτινοβολίας (πχ, με την μερική σκίαση του ήλιου) η τάση V παραμένει σχεδόν σταθερή .



Μεταβολή της καμπύλης φόρτου σε σχέση με την ακτινοβολία που προσπίπτει στο ΦΒ .

Σχήμα 3.5

Με δεδομένη αυτή τη σημαντική αλλαγή στην απόδοση εξαιτίας της μεταβολής της θερμοκρασίας του ΦΒ στοιχείου, είναι προφανές γιατί θα πρέπει να συνυπολογίζεται η θερμοκρασία σε κάθε εκτίμηση της απόδοσης του ΦΒ πλαισίου .

### 3.6 - Συσσωρευτές

Συσσωρευτές είναι ένα μέσο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη μορφή χημικής με σκοπό την εκμετάλλευση αυτής αργότερα. Οι συσσωρευτές αποτελούνται από έναν ηλεκτρολύτη και ένα γαλβανικό στοιχείο που συνήθως είναι μέταλλο . Ο ηλεκτρολύτης συνήθως είναι κάποιο οξύ και τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως μόλυβδος, νικέλιο , κάδμιο , μαγνήσιο , και σε πιο αποδοτικές εφαρμογές λίθιο . Η επιλογή του συσσωρευτή εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής , δηλαδή από την ταχύτητα εκφόρτισης, την απόδοση του στοιχείου, την ποσότητα κύκλων φόρτισης και το κόστος. Στην περίπτωση μας επιλέξαμε ένα είδος συσσωρευτή μολύβδου-οξέος που είναι αρκετά αξιόπιστη και οικονομική λύση στην απαίτηση της αποθήκευσης ενέργειας. Θα μπορούσε μάλιστα να χρησιμοποιηθεί ένας συσσωρευτής

με βάση το λίθιο , ο οποίος όμως είναι οικονομικά ασύμφορος σε απλές καθημερινές εφαρμογές .

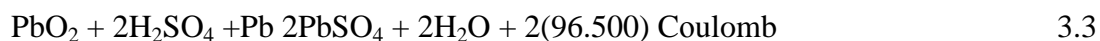
### 3.7 - Μπαταρίες μολύβδου-οξέος

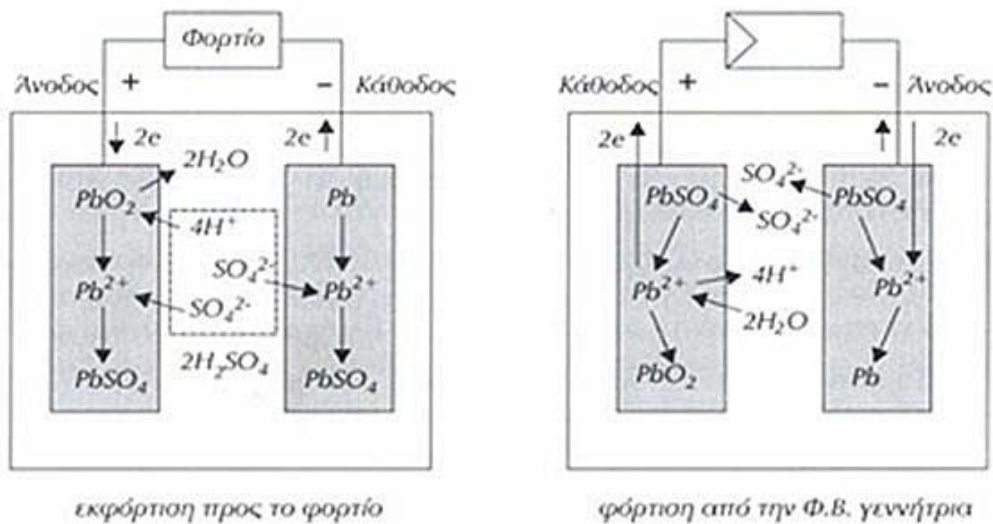
Με απλοποιημένους όρους η μπαταρία μολύβδου-οξέος περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόδια μολύβδου και διοξειδίου του μολύβδου και τον ηλεκτρολύτη του θεικού οξέος διαλυμένο με νερό. Τα ηλεκτρόδια σχηματίζονται από πλέγμα μολύβδου , όπου το ενεργό υλικό φέρεται με τη μορφή μιας πορώδους δομής, η οποία προσφέρει μια μεγάλη περιοχή επιφάνειας για χημικές αντιδράσεις με τον ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος συνήθως βρίσκουμε στο εμπόριο ανοιχτού και κλειστού τύπου . Ανοιχτού τύπου είναι όταν το ηλεκτρολυτικό υλικό μπορεί να συμπληρωθεί και κλειστού τύπου είναι όταν το περιεχόμενο του συσσωρευτή και ο ηλεκτρολύτης είναι σφραγισμένος σε μια κάψουλα και βρίσκεται σε ένα πορώδες υλικό ή υπό μορφή gel. Στην περίπτωση της κατασκευής του πλωτού έγινε επιλογή του απλούστερου συσσωρευτή ανοιχτού τύπου. Η απόδοση της εξαρτάται από τον τύπο κατασκευής της . Το ιδανικό είναι όταν 100% της χημικής ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική, αλλά αυτό δεν συμβαίνει στην πράξη.

Μια κλασική μπαταρία μολύβδου με ηλεκτρολύτη διάλυμα θεικού οξέος έχει απόδοση 75%, ενώ μια μπαταρία κλειστού τύπου gel μπορεί να φθάσει απόδοση 95%. Μια μπαταρία αποτελείται από μια σειρά στοιχείων όπου το κάθε ένα από αυτά έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη (Τάση χωρίς φορτίο) όταν είναι τελείως φορτισμένο 2,2 Volt, έτσι λοιπόν για μια μπαταρία 12 Volt ονομαστική τάση θα χρησιμοποιούνται 6 τέτοια στοιχεία  $6 \times 2,2 = 13,2$  Volt.

Το κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία αποτελείται από μια πλάκα ενεργού μολύβδου Pb για το θετικό πόλο, και μια πλάκα διοξειδίου του μολύβδου PbO<sub>2</sub> για τον αρνητικό πόλο. Τα στοιχεία αυτά είναι βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη διάλυμα θεικού οξέος H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και αποσταγμένου νερού H<sub>2</sub>O και λαμβάνει χώρα η παρακάτω αμφίδρομη αντίδραση:

Εξίσωση 3.3





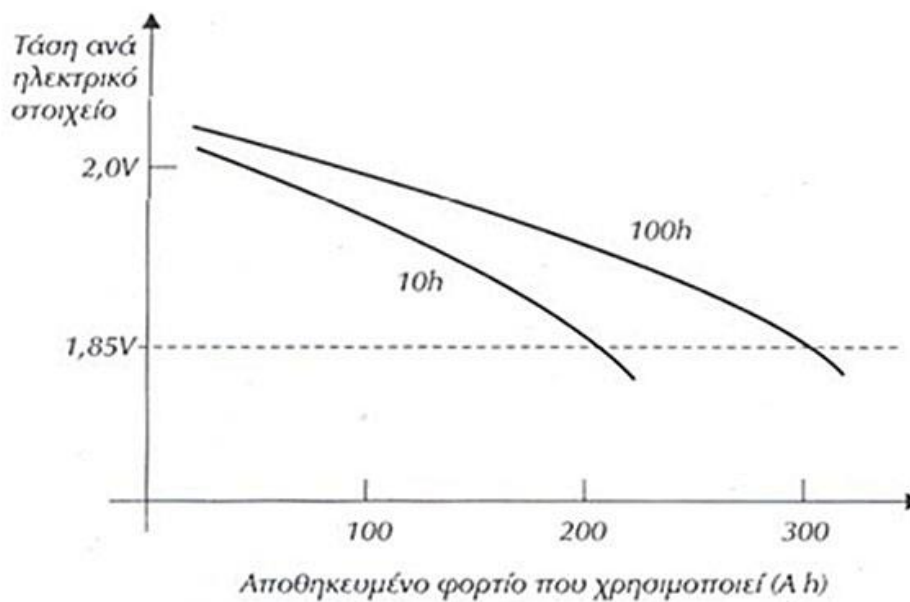
Ροή ιόντων κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση ενός συσσωρευτή μολύβδου οξέος

Σχήμα 3.6

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης το οξείδιο του μολύβδου σχηματίζεται στην κάθοδο και το θεικό οξύ ελευθερώνεται μέσα στον ηλεκτρολύτη. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης σχηματίζεται ο θεικός μολύβδος και στα δύο ηλεκτρόδια και το θεικό οξύ απομακρύνεται από τον ηλεκτρολύτη (Σχήμα 3.6). Μια τυπική συμπεριφορά της τάσης κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7. Φαίνεται ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας ελαττώνεται εμφανώς, όταν εκφορτίζεται με έντονο ρυθμό. Για παράδειγμα, μια μπαταρία με μια ονομαστική χωρητικότητα που έχει προσδιοριστεί με εκφόρτιση στις 10 ώρες, μπορεί να αυξήσει εμφανώς τη χωρητικότητα της όταν η εκφόρτιση διαρκέσει 100 ώρες μια διάρκεια, η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Αυτό το χαρακτηριστικό πρέπει να ληφθεί υπόψη, όταν σχεδιάζεται η αποθήκευση ενέργειας ενός Φ.Β. συστήματος, γιατί πολλά λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες από αυτές που καθορίζουν οι κατασκευαστές της μπαταρίας. Στην περίπτωση πλωτού μέσου η συσσωρευμένη ενέργεια κατά την διάρκεια της μέρας πιθανώς θα καταναλωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα και για τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος άρα δεν πρέπει να καταναλωθεί λιγότερο από ότι σε μια ώρα ώστε να μην καταστρέφεται ο συσσωρευτής που πρέπει να ληφθεί κατά την πλεύση. Έτσι με την επιλογή του μέσου αποθήκευσης της



ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να υπολογιστεί και η απώλεια της εκφόρτισης για τον συγκριμένο τύπο συσσωρευτή .



Διάγραμμα καμπύλων αριθμού φορτίσεων σε σχέση με την τάση του συσσωρευτή

Σχήμα 3.7

## **Κεφάλαιο 4 - Ναυπηγικό μέρος**

### **4.1 - Εισαγωγή**

Ανέκαθεν στις παραθαλάσσιες περιοχές οι μεταφορές και η μετακίνηση σε μια υδάτινη επιφάνεια ήταν πολύ δημοφιλής. Από την εποχή της αρχαίας Ελλάδας και Αιγύπτου η μετακίνηση μέσω θαλάσσιου χώρου ήταν ο οικονομικότερος και γρηγορότερος τρόπος. Ακόμη και η μετακίνηση των πληθυσμών μεταξύ ηπείρων είχε γίνει με πλωτά μέσα. Η μετακίνηση μέσω θαλάσσιου χώρου αποτελεί μέχρι και σήμερα έναν από τους βασικότερους τρόπους μετακίνησης.

Στην αρχή πιθανόν ο άνθρωπος να είχε ενώσει μερικούς κορμούς δένδρων δημιουργώντας έτσι μια πλωτή εξέδρα. Στη συνέχεια αυτή η εξέδρα εξελίχτηκε σε σύγχρονο σκάφος. Συνεπώς με την πάροδο του χρόνου προστέθηκαν κάποιες βελτιώσεις δημιουργώντας ένα μεταφορικό μέσο που εξυπηρετούσε τις υπάρχουσες ανάγκες. Για τη δημιουργία του μέσου βασικές προϋποθέσεις ήταν το εν λόγω μέσο να έχει σχήμα και μέγεθος καθώς και μια πηγή ενέργειας για τη μετακίνηση του. Έτσι στην ιστορία της θαλασσοπλοΐας έχουμε διαχωρισμό των σκαφών σε δυο κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα σκάφη που η πλωτή εξέδρα έπρεπε να εξελιχτεί σε ένα υδροδυναμικό σχήμα με ένα πολύ χαμηλό κέντρο βάρους όπως τα σημερινά σκάφη με καρίνα σαν κωνική κουτάλα. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα καταμαράν, στα οποία διαχωρίστηκε η πλωτή εξέδρα σε δύο καρίνες ώστε να έχουν συνολικά μεγάλο εμβαδόν και να έχουν καλύτερη ευστάθεια χωρίς να προκύπτουν μεγαλύτερες τριβές. Με τη δεύτερη κατηγορία, που είναι ιδανικότερο σχήμα για την κατασκευή ενός ηλιακά κινούμενου σκάφους λόγω του μεγάλου εμβαδού που μας παρέχει αυτή η τεχνολογία, θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία.

### **4.2 - Στοιχεία ναυπηγικής του καταμαράν**

Τα καταμαράν γενικώς χαρακτηρίζονται ως πλωτά σκάφη μεγάλης απόδοσης σε σχέση με πλωτά ίδιου μεγέθους και βάρους αλλά άλλων κατηγοριών. Ειδικά αυτά τα χαρακτηριστικά τα εκτιμήθηκαν ιδιαίτερα στην ιστιοπλοΐα όπου η προώθηση γίνεται με χρήση ανέμου και η πηγή ενέργειας είναι περιορισμένη και χρειάζεται σωστή

διαχείριση . Το ίδιο όμως χρήσιμα είναι και στην περίπτωση ενός ηλιακά κινούμενου σκάφους.

Τα θετικά χαρακτηριστικά των καταμαράν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με τον εξής τρόπο:

- ♦ Η κατασκευαστική δομή των καταμαράν, μειώνει σημαντικά την πλάγια ταλάντωση , ενώ η ροπή επαναφοράς σε κλίσεις είναι πολύ μεγάλη . Αυξάνεται έτσι η ευστάθεια στην οριζόντια θέση και μειώνεται η πλάγια ταλάντωση .
- ♦ Τα Καταμαράν σε γενικές γραμμές, είναι συνήθως ταχύτερα από τα Monohull (ιστιοπλοϊκά η σκάφη με μια καρίνα), σκάφη ίδιας κατηγορίας για τρεις λόγους :
  - Τα καταμαράν είναι ελαφρύτερα, λόγω του γεγονότος ότι, δεν υπάρχει αντίβαρο στις καρίνες τους και μπορούμε στην περίπτωση του ηλιακού σκάφους να τοποθετήσουμε τους συσσωρευτές με ευκολία χωρίς να επιβαρύνουμε το συνολικό τους βάρος δραματικά.
  - Τα καταμαράν έχουν μεγαλύτερο πλάτος το οποίο τα καθιστά πιο σταθερά και συνεπώς μπορούν να φέρουν μεγαλύτερα πανιά και στην περίπτωση μας περισσότερα ΦΒ πάνελ ανά μονάδα μήκους από ένα ισοδύναμο πλωτό άλλης κατηγορίας και γενικότερα προσφέρεται μεγάλη ωφέλιμη επιφάνεια ως προς την εκμετάλλευση .
  - Έχουν μεγαλύτερη σταθερότητα, που σημαίνει ότι το κατάρτι τους είναι πιο πιθανό να μείνει όρθιο σε ένα φύσημα του ανέμου, αντλώντας μεγαλύτερη δύναμη από αυτή ενός Monohull, γιατί εξαιτίας της αύξησης της απόστασης μεταξύ του κέντρου βάρους και του κέντρου της άνωσης παρέχουν υψηλότερη σταθερότητα σε σύγκριση με τα άλλα σκάφη. Αυτό σημαίνει ότι έχουν και μεγαλύτερη ευστάθεια με μεγαλύτερη στην συγκέντρωση μάζας πάνω από το επίπεδο της θάλασσας που δημιουργεί γενικώς πολλά οφέλη ενάντια άλλων κατηγοριών των πλωτών.

Όπως είναι επίσης γνωστό η μέγιστη ενέργεια σε μια κάθετη γωνία ως προς τις ακτίνες φωτός του ηλίου είναι κατά προσέγγιση  $1\text{KW}/\text{m}^2$  και το γεγονός ότι μια επιφάνεια που πλέει στην θάλασσα είναι ανέφικτο να βρίσκεται κάθετα, η ενέργεια

θα είναι ακόμα μικρότερη. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα σκάφος μπορεί να κινείται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, βορά, νότο κ.τ.λ. που καθιστά την ιδανική θέση του φωτοβολταϊκού πάνελ οριζόντια ως προς το επίπεδο τις θάλασσας ώστε να μπορεί να κινηθεί οπουδήποτε. Το γεγονός αυτό μειώνει την ενέργεια που συλλέγει μια επιφάνεια από τον ήλιο. Για αυτό σε ένα καταμαράν οφείλουμε να επωφεληθούμε με τον καλύτερο τρόπο από την επιφάνεια ώστε να έχουμε βέλτιστη δυνατή σχέση του βάρους ανά απόδοση ενέργειας του πλωτού για την προώθηση του στον υδάτινο χώρο. Έτσι έχουμε ένα ελαφρύ καταμαράν με όλη την επιφάνεια μεταξύ δεξιάς και αριστερής καρίνας καλυμμένη με φωτοβολταϊκό πάνελ και οι συσσωρευτές βρίσκονται σε πιο χαμηλό σημείο στο κέντρο της κάθε καρίνας που είναι το καλύτερο για την ευστάθεια του πλοίου. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ανάγκη για όσο γίνεται μεγαλύτερη επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ σε σχέση με το συνολικό εμβαδόν της ωφέλιμης επιφάνειας του καταμαράν είναι σημαντικό κομμάτι της εργασίας και θα το αναλυθεί σε ξεχωριστή ενότητα. Η κατασκευή για την παρούσα εργασία διαθέτει ένα πάνελ με σχετικά μικρότερες διαστάσεις και πάνω σε αυτές θα έγιναν μετρήσεις και υπολογισμοί .

### **4.3 - Η πλεύση του σκάφους**

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός πλωτού μέσου γενικώς χαρακτηρίζονται από την συνολική μάζα που αντιστοιχεί στην μάζα νερού εκτόπισης κατά την πλεύση (συνολικό βάρος του μέσου), τον τύπο της καρίνας (της καμπύλες και το σχήμα) και τον τρόπο που συμπεριφέρεται στο νερό ή αλλιώς τις τριβές που δημιουργεί.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι ρύθμισης της πλεύσης:

Ο πρώτος τρόπος αναφέρεται στην επιφανειακή ολίσθηση της καρίνας που είναι απλή μετατόπιση του σκάφους σε σχέση με το νερό, δηλαδή η καρίνα ή ένα μέρος της απλά ολισθαίνει στην επιφάνεια του νερού χωρίς να βυθίζεται όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1. Προκαλεί ελάχιστες τριβές αλλά για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να έχουμε μικρό βάρος αλλά και μεγάλη ταχύτητα ώστε να είναι ο κυριότερος τρόπος πλεύσης παράδειγμα όπως τα σκάφη Flying Dolphin που έχουν ένα υποβρύχιο πτερόγιο ολισθήσεως και εκμεταλλεύονται αυτό το φαινόμενο σε ψηλές ταχύτητες. Δεν είναι ο

καταλληλότερος τρόπος για ένα ηλιακά κινούμενο σκάφος λόγω του ότι καταναλώνει μεγάλα ποσά ενέργειας την ώρα της πλεύσης.



Ένα ταχύπλοο σκάφος τύπου Flying Dolphin

Εικόνα 4.1

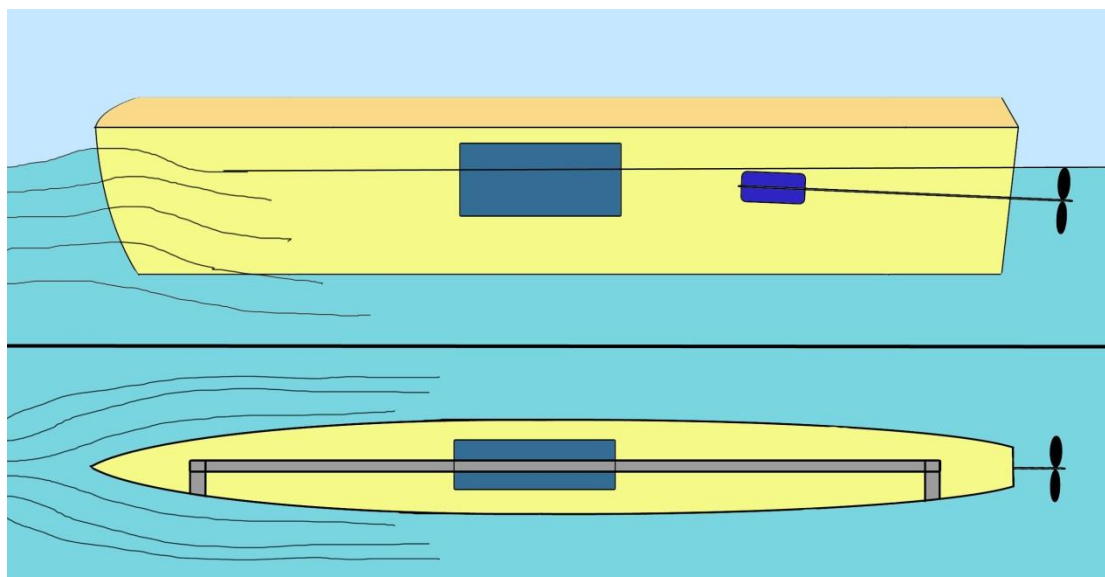
Ο δεύτερος τρόπος είναι να σκίσουμε το νερό και να δημιουργήσουμε πλαϊνή εκτόπιση της υδάτινης μάζας όπως φαίνεται στην σχήμα 4.1. Στην ουσία χρησιμοποιείται μια καρίνα πολύ λεπτή με μεγάλο μήκος για να μικρύνουμε τις τριβές που σε ένα σκάφος δεν γίνεται να γίνει σε μεγάλο βαθμό λόγω ευστάθειας. Όμως στα καταμαράν αυτό το φαινόμενο το εκμεταλλευόμαστε σε ένα ικανοποιητικό βαθμό λόγω του ότι έχουνε δυο πιο λεπτές καρίνες αντί μία πιο φαρδιά .

Ο τρίτος τρόπος είναι ο μετριασμός της ταχύτητας σε σχέση με το φράγμα της θεωρητικής ταχύτητας της γάστρας εκτοπίσματος ενός σκάφους και θα αναλυθεί με ακρίβεια στην επόμενη ενότητα. Για να έχουμε μια οικονομικότερη πλεύση ενός πλωτού μέσου πρέπει να είναι η ταχύτητα όσο γίνεται μικρότερη του φράγματος της εκτόπισης και αυτό γιατί η καρίνα ουσιαστικά υπερπηδάει το ίδιο κύμα που δημιουργεί και δεν μπορεί να το ξεπεράσει όση δύναμη και να εφαρμοστεί. Έτσι αν το σκάφος διασχίζει το υδάτινο μέσο με αυτόν το τρόπο και θέλουμε να κινείται πιο γρήγορα πρέπει να μεγαλώσουμε το μήκος του ώστε να μεγαλώσει και το φράγμα.

Στην πραγματικότητα σε οποιοδήποτε σκάφος έχουμε και τις τρεις διαφορετικές τριβές απλά η ποσοστιαία επίδραση εξαρτάται από το σχεδιασμό της καρίνας και το

είδους του σκάφους. Έτσι κατά τον σχεδιασμό του πλωτού όταν είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά του όπως μήκος , μάζα , ιπποδύναμη , απαίτηση σε ταχύτητα κ.τ.λ. μπορούμε να επιλέξουμε το είδος της καταλληλότερης καρίνας και το σχεδιασμό που θα επακολουθήσει .

Και τα τρία είδη τριβής έχουν επίδραση στην καρίνα του καταμαράν και για το λόγο αυτό η ταχύτητα της γάστρας θα περιοριστεί στα πλαίσια του φράγματος για το μήκος που διαθέτει το σκάφος. Είναι όμως αρκετά λεπτό το σχήμα της γάστρας ώστε να εκμεταλλευτεί και την πλάγια εκτόπιση μεγαλώνοντας την απόδοση στην πλεύση. Στο σχήμα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εκτόπιση του νερού κατά την κίνηση της καρίνας. Όπως φαίνεται έχουμε αρκετά λεπτή πλώρη (μπροστινό μέρος ) που κόβει την υδάτινη στήλη αποτελεσματικά .



Πορεία του υδάτινου μέσου κατά μήκος επιφάνειας της καρίνας

Σχήμα 4.1

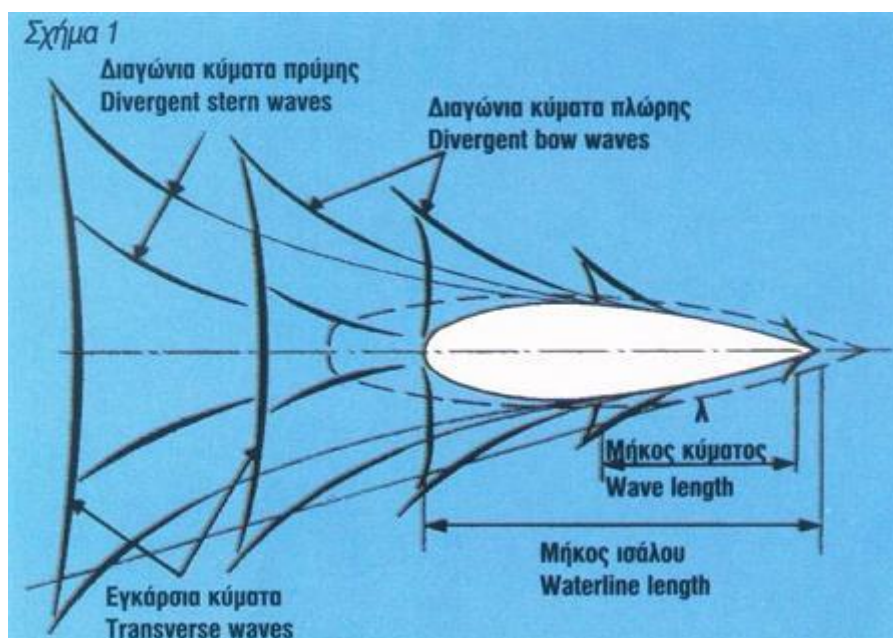
#### 4.4 - Το αδιάρρηκτο φράγμα της συμβατικής πλεύσης

Μπορεί ο άνθρωπος να έσπασε το φράγμα του ήχου, εκείνο όμως που δεν κατόρθωσε μέχρι σήμερα, είναι να σπάσει το φράγμα της θεωρητικής ταχύτητας της γάστρας ενός σκάφους εκτοπίσματος.

Ας πάρουμε για παράδειγμα ένα συμβατικό σκάφος , μηχανοκίνητο ή ιστιοφόρο , που ταξιδεύει σε συμβατική πλευση (δηλαδή δεν πλανάει λόγω σχήματος γάστρας) με τα πανιά ή τη μηχανή. Καθώς το σκάφος κινείται μέσα στο νερό, η γάστρα του δημιουργεί κύματα , που ταξιδεύουν και αυτά μαζί του, με την ίδια σχεδόν ταχύτητα. Όσο πιο βαρύ είναι το σκάφος, τόσο πιο βαθύ είναι το κοίλωμα μεταξύ των κορυφών των κυμάτων, που δημιουργούνται από τη διέλευσή του. Όσο πιο γρήγορα «ταξιδεύει» το κύμα, τόσο πιο μακριά είναι η περίοδος του ή πιο αναλυτικά η απόσταση μεταξύ των κορυφών δύο συνεχόμενων κυμάτων. Έτσι, καθώς η ταχύτητα του σκάφους του παραδείγματός μας μεγαλώνει, ο αριθμός των κυμάτων που δημιουργούνται μικραίνει, αφού η περίοδος τους μεγαλώνει. Κάποια στιγμή, με την αύξηση της ταχύτητας, θα βρεθεί να ταξιδεύει στο κοίλωμα ενός κύματος, του οποίου η μια κορυφή βρίσκεται στην πλώρη (μπροστινό μέρος) και η άλλη στην πρύμη (στο πίσω μέρος τις καρίνας). Το κύμα κρατάει το σκάφος μας «αιχμάλωτο». Μετά από πολλές έρευνες , ο άνθρωπος κατόρθωσε να προσδιορίσει την ταχύτητα του κύματος, που είναι:

$$U = v \cdot \lambda \cdot 2,43$$

όπου  $\lambda$  είναι η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.2

Όταν το σκάφος ταξιδεύει, δημιουργεί τρία είδη κυμάτων, τα διαγώνια κύματα της πλώρης, τα διαγώνια κύματα της πρύμης και τα εγκάρσια.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ένα κύμα μήκους 8 μέτρων «ταξιδεύει» με ταχύτητα 6,87 κόμβους, ενώ ένα μεγαλύτερο, 12 μέτρων ας πούμε, «τρέχει» με 8,41 κόμβους, σύμφωνα με τον τύπο:

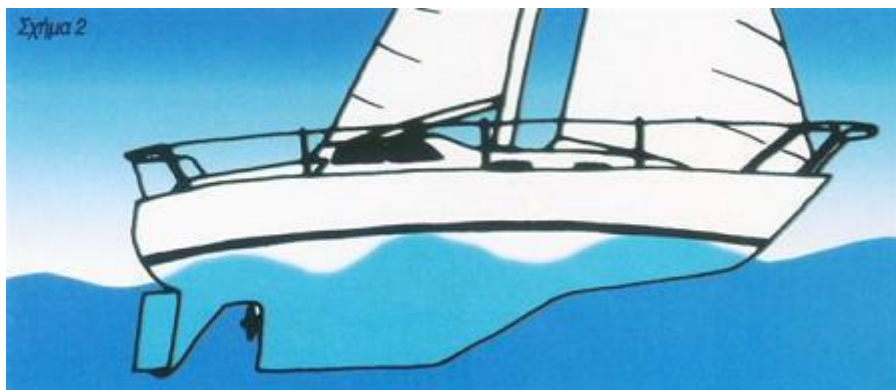
Ταχύτητα κύματος =  $2,43 \times \sqrt{\text{μήκους κύματος}}$ .

Αναφορικά με το σκάφος του παραδείγματός μας, (ένα ιστιοφόρο βαρέως εκτοπίσματος), το κύμα δημιουργείται από τη γάστρα και την αντίσταση, που προβάλλει στο νερό. Όταν το σκάφος μας φτάσει το μέγιστο της ταχύτητάς του, είδαμε ακόμα ότι δημιουργείται ένα και μοναδικό κύμα. (Εικόνα 4.4) Άρα μπορούμε να πούμε ότι και το σκάφος θα φτάσει σε μια ταχύτητα ίση με εκείνη του κύματος, που το ίδιο δημιουργεί. Είναι μια ταχύτητα, που εξ ορισμού δεν μπορεί να υπερβεί. Άρα μπορούμε να πούμε ότι η ταχύτητα αυτή είναι και η μέγιστη θεωρητική ταχύτητα του σκάφους μας.

Ο προσδιορισμός της γίνεται αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση την ταχύτητα κύματος με την ταχύτητα σκάφους  $V_T$  και το μήκος κύματος με το μήκος της ισάλου του σκάφους μας  $L_{WL}$ , έχουμε:

Ταχύτητα σκάφους =  $2,43 \times \sqrt{\text{μήκους ισάλου ή εναλλακτικά}}$ :

$$V_T = 2,43 \times \sqrt{L_{WL}}$$



Στο 1/3 περίπου της θεωρητικής ταχύτητας θα υπάρχουν τρία κύματα κατά μήκος της καρίνας.

Εικόνα 4.2



Ο παραπάνω τρόπος είναι ενδεικτικός των δυνατοτήτων ενός ιστιοφόρου εκτοπίσματος και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θεωρητικής ή σχετικής ταχύτητας, όταν συγκρίνουμε δύο σκάφη του ίδιου τύπου. Στην καθημερινότητα έχει ειπωθεί πολλές φορές ότι ένα σκάφος είναι πιο γρήγορο από ένα άλλο, επειδή έχει μεγαλύτερη ίσαλο (μήκος της γραμμής βύθισης στην καρίνα). Ο παραπάνω τύπος μας εξηγεί το γιατί. Όλα όσα αναφέραμε αφορούν, βέβαια, τη συμβατική πλεύση και όχι το πλανάρισμα. Πολλές φορές ακόμα και τα σκάφη εκτοπίσματος πλανάρουν για λίγο, όταν για παράδειγμα βρίσκονται στην κορυφή ενός κύματος και αρχίζουν να κατεβαίνουν προς το κοίλωμα.



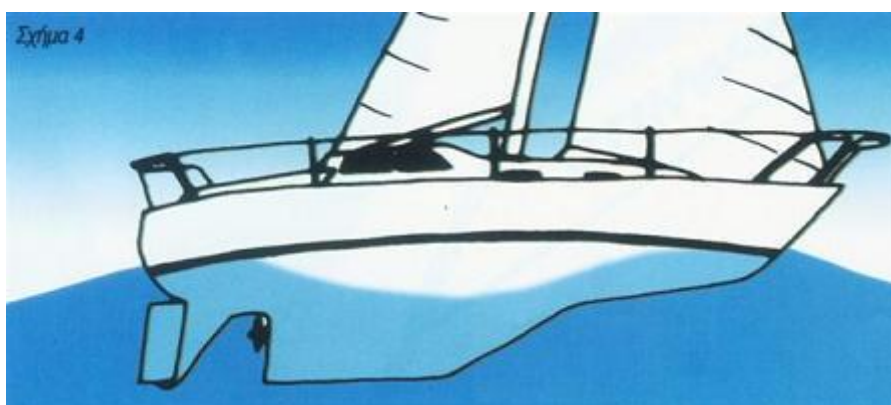
Στο  $1/2$  περίπου της θεωρητικής ταχύτητας θα υπάρχουν δυο κύματα κατά μήκος της καρίνας.

Εικόνα 4.3

Καθώς το σκάφος επιταχύνεται και φτάνει στο  $1/2$  περίπου της θεωρητικής ταχύτητας, τα κύματα επιταχύνονται αντίστοιχα, το μήκος μεγαλώνει και ο αριθμός τους μειώνεται σε δύο.

Επίσης, τα σύγχρονα ελαφρά ιστιοφόρα με μεγάλα πανιά μπορούν να υπερβούν αρκετά τη θεωρητική ταχύτητα της γάστρας στα πρίμα με μπαλόνη. Αυτές όμως δεν θεωρούνται συμβατικές πλεύσεις σκάφους βαρέως εκτοπίσματος, όπως είναι ο ναυπηγικός όρος. Το ότι τα σκάφη αυτά «εκτοπίζουν» συνεχώς ένα βαρύ «τμήμα νερού» είναι και ο λόγος, που τους δόθηκε ο συγκεκριμένος όρος, σε αντίθεση με εκείνα μεσαίου και ελαφρού εκτοπίσματος, τα οποία επίσης λέγονται σκάφη ημιπλαναρίσματος και πλαναρίσματος αντίστοιχα.

Αν και πολλές φορές ο ιδιοκτήτης ή κυβερνήτης ενός σκάφους μπορεί να προσδιορίσει με μεγάλη ακρίβεια την ταχύτητα, με την οποία ταξιδεύει το σκάφος του ανά πάσα στιγμή, χωρίς να κοιτάξει καν το δρομόμετρο, είναι πολύ εύκολο και εμείς να κάνουμε το ίδιο με μια απλή παρατήρηση. Αν δούμε δύο κύματα να σχηματίζονται από πλώρη μέχρι πρύμη, το σκάφος ταξιδεύει στο ήμισυ ( $1/2$ ) της θεωρητικής ταχύτητάς του. Αν πάλι δούμε τρία κύματα, τότε η ταχύτητά του είναι το ένα τρίτο ( $1/3$ ) της θεωρητικής. Και βέβαια, όταν ένα και μοναδικό κύμα ταξιδεύει μαζί μας, από πλώρη μέχρι πρύμη, έχουμε φτάσει τη μέγιστη ταχύτητά μας, δηλαδή τη θεωρητική ταχύτητα της γάστρας του σκάφους μας.



Σκάφος που ταξιδεύει κοντά στη θεωρητική του ταχύτητα.

Εικόνα 4.4

#### **4.5 - Υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της καρίνας**

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αναφερόμενα μπορούμε να προχωρήσουμε σε κάποιους υπολογισμούς. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι συνήθως στα καταμαράν ακολουθείται μια τακτική δομή στο σχεδιασμό του πλαισίου που συνδέει τις δυο καρίνες που ακολουθεί έναν εμπειρικό συντελεστή (το φάρδος ως προς το μήκος) που κυμαίνεται από  $3/5$  ως  $1/2$  του μήκους της καρίνας. Στο σκάφος που κατασκευάστηκε για την παρούσα εργασία η απόσταση μεταξύ κέντρου δυο καρινών είναι προσαρμοζόμενη σε σχέση το πάνελ που είναι 62cm και το μήκος της καρίνας είναι 92cm. Υπολογίζοντας την μέγιστη ταχύτητα με τους τύπους έχουμε:

από τον τύπο ταχύτητας του σκάφους

$$V_T = 2,43 \times \sqrt{\text{μήκους ισάλου}}$$

$$V_T \text{ κόμβους} = 2,34 \times \sqrt{0,92\text{m}} = 2,34 \times 0,96 = 2,33 \text{ κόμβους}$$

Άρα η ταχύτητα του σκάφους πρέπει να κυμαίνεται από 0 έως 2 κόμβους. Εμπειρικά μπορούμε να πούμε ότι η οικονομική πλεύση πραγματοποιείται στο  $\frac{1}{2}$  της μέγιστης ταχύτητας δηλαδή 1,62 κόμβους. Επίσης η εκτόπιση του σκάφους αντιστοιχεί με το βάρος του που είναι 7,4 κ.τ.λ. και η βύθιση είναι 6cm. Άρα από τα πρόχειρα αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι έχουμε σχετικά οικονομικό σκάφος με μικρή αντίσταση και μικρή βύθιση και μπορεί να κινείται και κόντρα στο όριο των 2,33 κόμβων.

Να σημειώσουμε ότι 1κόμβος = 1,85 χιλ/ώρα άρα 2,33 χ 1,85 = 4,31χι/ώρα είναι το φράγμα του πλωτού μας με μήκος ισάλου 0,92m .

#### 4.6 Ναυπηγικές γραμμές

Οι ναυπηγικές γραμμές ή γραμμές σκάφους προέρχονται από νοητές τομές της εσωτερικής επιφάνειας του κελύφους του σκάφους με επίπεδα κατακόρυφα εγκάρσια του σκάφους, επίπεδα κατακόρυφα κατά το διάμηκες του σκάφους, επίπεδα οριζόντια, καθώς και βοηθητικές διαγώνιες γραμμές . Εάν είναι γνωστές οι συντεταγμένες πάνω στην νοητή επιφάνεια μπορούμε να αναπαραστήσουμε όλες τις ναυπηγικές γραμμές είτε γραφικά είτε με ψηφιακό τρόπο. Έτσι κατά το σχεδιασμό της καρίνας μπορούμε να ψηφιοποιήσουμε τις μετρήσεις και να τις χρησιμοποιήσουμε στους υπολογισμούς μας. Για να υπολογιστούν κάποια χαρακτηριστικά σε μια καρίνα ενός πλωτού υπάρχουν εξειδικευμένα προγράμματα σχεδίασης ή αναπαράστασης που υπολογίζουν αυτόματα με ειδικό λογισμικό παραμέτρους όπως όγκος, κέντρο βάρους, εμβαδόν και άλλα βασικά χαρακτηριστικά.

Η συμμετρικότητα του πλοίου αποτελεί κάθετο επίπεδο κατά το διάμηκες (από την πλώρη μέχρι την πρύμη) και στο μέσον ακριβώς, καλούμενο και ως επίπεδο συμμετρίας ή κεντρική γραμμή (center line, CL), παρότι είναι επίπεδο.

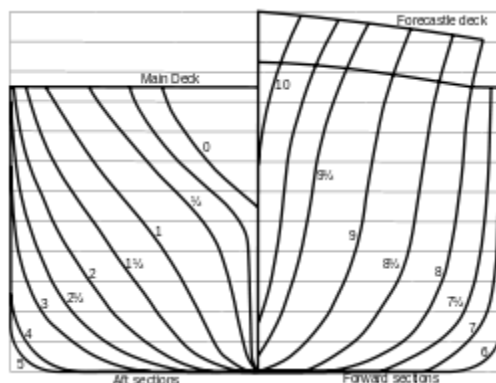
Πλωραίο τμήμα στη ναυπηγική καλείται το τμήμα από το μέσο του πλοίου και εμπρός χώρο, η άκρη του οποίου είναι η πλώρη (fore), το αντίθετο λέγεται πρυμναίο με άκρη την πρύμνη ή πρύμη (aft).

Εξωτερικό περίβλημα ή κέλυφος είναι τα ελάσματα που περιβάλλουν το πλοίο. Η θέση του άξονα των νομέων (δηλ. της βασικής γραμμής) ορίζεται στο κατώτερο μέρος τομής εσωτερικά του περιβλήματος και του επιπέδου συμμετρίας. Η τομή αυτή πιθανόν να είναι οριζόντια και να συμπίπτει με τη βασική γραμμή σε αρκετό μήκος, πιθανόν όμως να έχει και ένα μόνο κοινό σημείο (περίπτωση ρυμουλκών).

Έτσι η βασική γραμμή, λόγω της μεγάλης σπουδαιότητάς της στην κατασκευή και ονομάζεται και γραμμή κατασκευής.

Βασικές ναυπηγικές γραμμές είναι οι Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές ή γραμμές νομέων (frame lines), οι Διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές ή κάθετοι (Longitudinal lines ή Vertical lines) και οι Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές ή παρίσαλοι ή ίσαλοι (Water lines). Οι Διαγώνιες (Diagonals) αποτελούν βοηθητικές ναυπηγικές γραμμές.

#### *Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές*



Η δεξιά πλευρά είναι το εμπρόσθιο τμήμα του σχεδίου και το αριστερό οπίσθιο τμήμα, γεγονός που δηλώνει ότι η καρίνα έχει ένα συμμετρικό σχήμα και αρκεί να διατυπώνουμε η δεξιά η αριστερή πλευρά την φορά .

Σχήμα 4.3

Οι Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές είναι οι γραμμές οι προερχόμενες από την τομή εγκαρσίων επιπέδων με την εσωτερική όψη των ελασμάτων του περιβλήματος του πλοίου. Οι θέσεις αυτών των τομών καλούνται "θεωρητικοί νομείς". Στο σχέδιο οι νομείς που ανήκουν στο «πρωραίο τμήμα» του σκάφους χαράζονται δεξιά της

κεντρικής γραμμής κατά το ήμισυ τους, αφού το άλλο είναι συμμετρικό, ενώ εκείνοι που ανήκουν στο «πρυμναίο τμήμα» αριστερά της κεντρικής γραμμής επίσης κατά το ήμισυ τους. Η δε αρίθμηση των νομέων αρχίζει από τη πρυμναία κάθετο όπου και ο νομέος 0 και προχωρεί προς πώρα με αύξοντα αριθμό 1,2,3,4 κλπ. Το τμήμα όπισθεν της πρυμναίας καθέτου αριθμείται με τα γράμματα Α,Β,С, ...κλπ.

Διαπιστώνουμε δύο κατηγορίες νομέων: τους "θεωρητικούς" και τους "κατασκευαστικούς" νομείς.

Θεωρητικοί νομείς είναι οι γραμμές οι χρησιμοποιούμενες στη μελέτη του σκάφους που επέχουν θέση νομέων. Ο αριθμός των μεταξύ τους ισαποστάσεων εκλέγεται (για διευκόλυνση) πάντα άρτιος. Ο θεωρητικός νομέας που σχεδιάζεται ακριβώς στο μέσον του πλοίου καλείται μέσος νομέας και συμβολίζεται με κύκλο στο κέντρο του οποίου εφάπτονται οριζόντια δύο ημιπεριφέρειες.

Κατασκευαστικοί νομείς είναι οι γραμμές στη θέση των οποίων τοποθετούνται πλέον οι εγκάρσιες ενισχύσεις του σκάφους καλούμενοι νομείς. Η μεταξύ τους απόσταση δεν είναι σταθερή σε όλο το μήκος του πλοίου .

#### *Διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές*

Οι Διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές ή κάθετες (Longitudinal Lines or Vertical Lines): είναι οι γραμμές από τη τομή διαμηκών κατακόρυφων επιπέδων, κατά το διάμηκες του πλοίου, με την εσωτερική όψη των ελασμάτων του περιβλήματος.

Στο σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών οι διαμήκεις ή κάθετες εμφανίζονται ως προβολές των τομών επί του κεντρικού επιπέδου (συμμετρίας) και συνήθως τίθενται στο πάνω δεξιό μέρος του σχεδίου. Λόγω της συμμετρίας οι κάθετες του ΔΕ τμήματος, συμπίπτουν με εκείνες του ΑΡ τμήματος . Το τμήμα του σχεδίου που φέρει τις διαμήκεις γραμμές ή κάθετες ονομάζεται πρόοψη ή διαμήκης όψη του σκάφους. Στις άλλες όψεις του σχεδίου οι διαμήκεις γραμμές εμφανίζονται ως ευθείες.

#### *Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές*

Οι Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές ή παρίσαλοι ή ίσαλοι (Water Lines): είναι οι τομές οριζοντίων επιπέδων μετά της εσωτερικής όψης των ελασμάτων του περιβλήματος. Στο σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών οι οριζόντιες ή παρίσαλοι εμφανίζονται επί της ΑΡ πλευράς του σκάφους επί ενός οριζοντίου επιπέδου που συνήθως τίθενται στο

κάτω δεξιό μέρος του σχεδίου των ναυπηγικών γραμμών, καλούμενο κάτοψη του σκάφους.

#### *Διαγώνιες ναυπηγικές γραμμές*

Οι Διαγώνιες βοηθητικές γραμμές (Diagonals) προέρχονται από την τομή διαγωνίων επιπέδων με την εσωτερική όψη των ελασμάτων του περιβλήματος.

Κατασκευάζονται μόνο και μόνο για τον έλεγχο του σχήματος, την ανεύρεση ανωμάτων επιφανειών του περιβλήματος, καθιστάμενη έτσι την έγκαιρη διόρθωση των βασικών ναυπηγικών γραμμών (νομέων, καθέτων και παρισάλων) πριν την κατασκευή των τελικών σχεδίων ή μοντέλων (Templates) του πλοίου. Ο αριθμός των διαγωνίων δεν είναι καθορισμένος (πιθανόν μία, δύο ή τρεις) ούτε η θέση τους.

#### **4.7 - Τρόπος σχεδίασης**

Αφού ορισθούν οι κύριες διαστάσεις του σκάφους εκτελείται η α' φάση της σχεδίασης (προσχέδιο) όπου σχεδιάζονται οι τρεις όψεις του σκάφους (κάτοψη – πρόοψη – πλάγια όψη) υπό κλίμακα. Στη συνέχεια ακολουθεί η β' φάση όπου το προσχέδιο αντιγράφεται επί του δαπέδου του σχεδιαστηρίου (ναυπηγείου) σε φυσικό μέγεθος (κλίμακα 1:1) προκειμένου να γίνουν οι τελικές τυχόν διορθώσεις. Πολλές φορές ιδιαίτερα όταν το υπό σχεδίαση σκάφος είναι «πρωτότυπο» για την εξέταση της συμπεριφοράς του κατά τη πρόωση στο νερό κατασκευάζεται ομοίωμα (μακέτα) που μελετάται στη «Δεξαμενή Ναυπηγικών Δοκιμών» ή «Δεξαμενή Δοκιμών Προτύπων» (Ship's Model Tank) που βάσει των αποτελεσμάτων ενεργούνται ενδεδειγμένες διορθώσεις ή τίθενται όρια ασφαλείας αυτού. Στο στάδιο κατασκευής της μακέτας του ηλιακά κινούμενου καταμαράν έχει γίνει σχετική σχεδίαση της καρίνας σε θεωρητικούς νομής και η διάσταση του ομοιώματος μακέτας είναι 1/3. Στη μακέτα έχει πραγματοποιηθεί αύξηση του ύψους της καρίνας στο διπλάσιο σε σχέση με την πραγματικότητα για ευκολία του πειράματος και της τοποθέτησης των συσσωρευτών.

#### **4.8 Προώθηση του σκάφους**

Για να έχει ένα σκάφος μια ικανοποιητική ταχύτητα πλεύσης πρέπει να διαθέσουμε κάποια ενέργεια ώστε να ασκηθεί μια αρκετά μεγάλη οριζόντια δύναμη και με

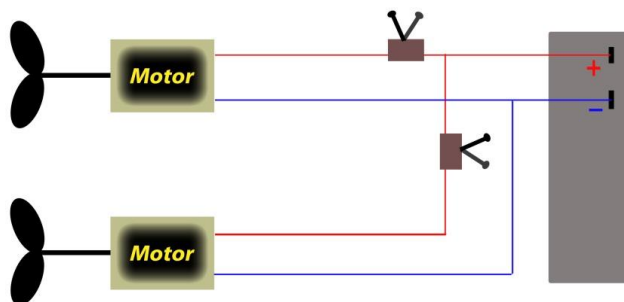
αντίθετη φορά με την πορεία του σκάφους στο υδάτινο μέσο . Αυτό πραγματοποιείται με σύστημα προπέλας και κάποιου είδος κινητήρα που καταναλώνει αυτή την ενέργεια και την μετατρέπει σε κινητική μέσο προπέλας. Για να κινηθεί το σκάφος πρέπει να υπερνικάμε συνέχεια τις τριβές του νερού που δέχεται η καρίνα και οι προπέλες και για να έχουμε μια συνεχόμενη και σταθερή πλεύση πρέπει να κρατάμε σταθερή αυτήν τη δύναμη ώθησης. Συνεπώς πρέπει να έχουμε έναν ή πολλούς κινητήρες που θα καταναλώνουν συνέχεια μεγάλο ποσό ενέργειας με σταθερό ρυθμό ώστε να κινείται το σκάφος με σταθερό ρυθμό και η απόσταση που μπορεί να διανύσει θα είναι ανάλογη της ενέργειας που διαθέτουμε στα μέσα αποθήκευσης όπως π.χ. συσσωρευτές .

Η προώθηση του σκάφους πραγματοποιείται με δυο όμοιους ηλεκτροκινητήρες που δίνουν κίνηση στις προπέλες τοποθετήθηκαν στην κάθε καρίνα . Με αυτόν το τρόπο έχουμε μοιρασμένη στις δυο καρίνες την δύναμη προώθησης για ομαλή κίνηση στην ευθεία γραμμή . Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε προπέλα σε κάθε καρίνα έχει αντίθετη φορά μια με την άλλη ώστε να αποφευχθεί η κλίση του σκάφους κατά την πλεύση. Γενικότερα όποιες δυνάμεις εφαρμόζουμε σε ένα πλωτό μέσο πρέπει να είναι ίδιες και αντίρροπες αλλιώς θα παρεμβάλουν στην διαδικασία της ομαλής πλεύσης. Ο έλεγχος της ταχύτητας και η στροφή του πλωτού θα πραγματοποιείται με απλό έλεγχο της ισχύος των κινητήρων μέσω πίνακα ελέγχου που για το πείραμα μας θα βρίσκεται εκτός του πλωτού μέσου. Με αυτόν τον απλό τρόπο μπορούμε να ελαττώσουμε και να αυξήσουμε την ενέργεια σε κάθε κινητήρα ξεχωριστά πραγματοποιώντας έτσι τους επιθυμητούς ελέγχους.

Συνοψίζοντας κάθε καρίνα φέρει έναν κινητήρα που είναι όμοιος με τον αντίστοιχο του όσο αφορά το βάρος, την ισχύ (σε Watt), τις στροφές, με ίδιες προπέλες και ίδιο σχεδιασμό που θα συνδέονται σε μια κονσόλα χειρισμού . Η κονσόλα χειρισμού αποτελείται από δύο διακόπτες που αποσυνδέουν τον κάθε κινητήρα. Αυτός ο απλός τρόπος ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του κάθε κινητήρα είναι αρκετός ώστε να πραγματοποιηθεί το πείραμα της πλεύσης και να γίνουν οι απαραίτητοι ελιγμοί .

#### 4.9 - Μηχανικός σχεδιασμός και χειρισμός

Όπως προαναφέρθηκε έχουμε έναν κινητήρα με προπέλα σε κάθε καρίνα και τροφοδοτούνται με μια γραμμή από την πηγή ρεύματος. Στο θετικό πόλο του κάθε κινητήρα τοποθετήθηκε ένας διακόπτης ο οποίος απλά αποσυνδέει το κύκλωμα .



Συνδεσμολογία των κινητήρων και της μπαταρίας με τους διακόπτες χειρισμού της κονσόλας .

Σχήμα 4.4

Για να χειριστούμε το σκάφος από απόσταση και να μπορούμε να πραγματοποιήσουμε της απαραίτητες μετρήσεις απομακρύνουμε τους διακόπτες με τέσσερα καλώδια από το σκάφος. Τα τοποθετούμε σε ένα καλάμι από απόσταση έτσι ώστε να μην προκαλούν τριβές στο νερό και να μην ασκούν κάποια δύναμη ή τριβή στην πορεία της πλεύσης όπως φαίνεται στην εικόνα .



Οι διακοπτες της κονσολας χειρισμου της πλεβσης .

Εικόνα 4.



## Κεφάλαιο 5 Κατασκευαστικό μέρος




### 5.1 - Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος που πραγματοποιούνται η επεξεργασία υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή και η συναρμολόγηση του σκάφους. Επίσης παρουσιάζονται η ρύθμιση και η ζυγοστάθμιση του πλωτού μέσου. Τέλος παρατίθενται τα εργαλεία και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν και η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην πορεία της κατασκευής .

### 5.2 - Κατασκευή πλωτού μέσου

Πρώτο σημαντικό σημείο στην κατασκευή του σκάφους είναι η επιλογή των υλικών με τα απαραίτητα κριτήρια που χρειαζόμαστε για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα .

Τα κριτήρια που βελτιστοποιούν το στόχο μας είναι τα εξής:

-  Η ελαχιστοποίηση του κόστους
-  Η επιλογή υλικών με εύκολη κατεργασία
-  Η επιλογή υλικών με υψηλή αντοχή στη φθορά και τα χρόνο.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Φελιζόλ διαστάσεων 100\*12,5\*50cm , τέσσερα τεμάχια .

Επιλογή του φελιζόλ έγινε για τα τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά του:

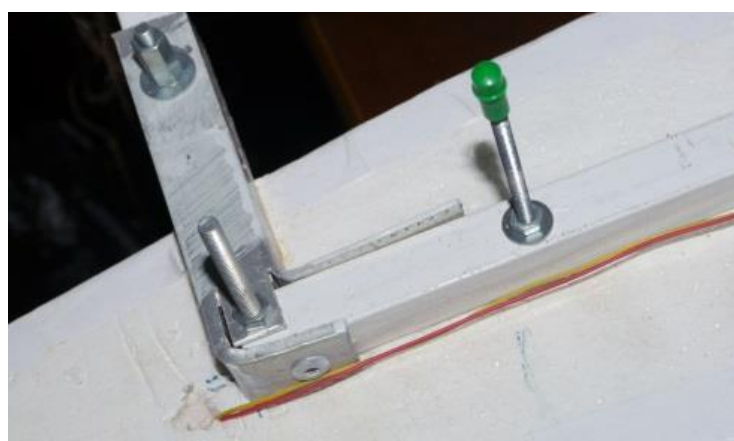
- Είναι πολύ φτηνό και διαδεδομένο στην αγορά υλικό
  - Εύχρηστο και γρήγορο στην κατεργασία του
  - Άκαμπτο και πάρα πολύ ελαφρύ σε σχέση με το όγκο του .
  - Έχει μεγάλη ακαμψία και αν γίνει σωστή επένδυση κρατεί πολύ καλά το σχήμα του και παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε τυχόν κρούσεις .
- 
- Πολυμορφικός σωλήνας αλουμινίου τετράγωνου σχήματος 1,6x1,6cm, πάχους 1,5mm και μήκους 3m.

Το αλουμίνιο είναι αρκετά ελαφρύ μέταλλο και άκαμπτο σε πολυμορφική δομή. Για το λόγο αυτό το προτιμήθηκε σαν υλικό στην κατασκευή του πλαισίου που συγκρατεί τις δυο καρίνες ενωμένες .



Σηντεση της αριστερής γωνίας του πλεσιου αλουμινιου .

Εικόνες 5.1



Σύνδεση της δεξιιάς γωνίας του πλαισιού αλουμινίου.

Εικόνες 5.2

Τέλος επάνω στο αλουμίνιο είναι εύκολη η τοποθέτηση εξαρτημάτων και είναι μαλακό στην κατεργασία. Θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε ξύλινα καδρόνια αλλά το γεγονός ότι το αλουμίνιο είναι πιο αποδοτικό και ενώνεται αποτελεσματικότερα στις γωνίες το καθιστά καλύτερη επιλογή.

□ 8 ντίζες με σπείρωμα Φ4mm και μήκος 80cm

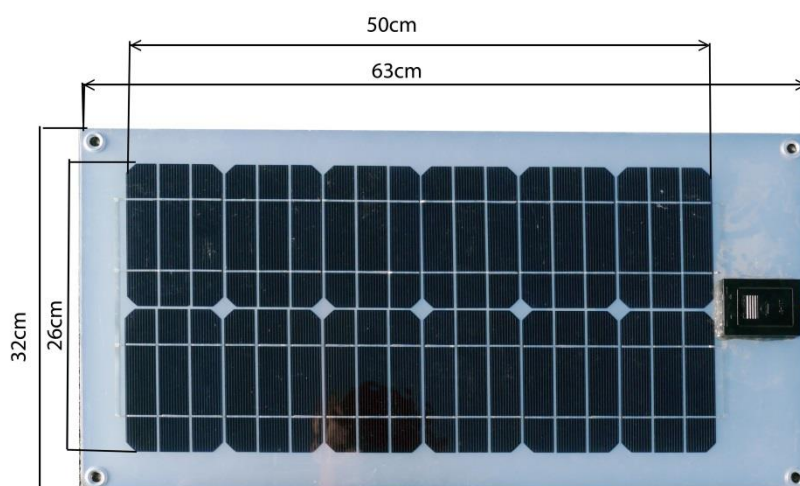
Είναι χρήσιμες στο σημείο που ενώνεται η καρίνα με το πλαίσιο αλουμινίου και στερεώνουν όλο το σκάφος. Χρησιμοποιήθηκαν 16 ροδέλες με παξιμάδια για να το πετύχουμε αυτό όπως φαίνεται στο σχήμα.

Στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν τα απαραίτητα υλικά για την κατεργασία στερεοποίησης και επεξεργασίας του φελιζόλ και τη βελτίωση της επιφάνειας του σκάφους. Τα υλικά αυτά είναι:

- ☞ Κόλλα χαρτιού 1lt για να κολλήσουμε λεπτά φύλλα χαρτιού (αυτή η διαδικασία λέγεται papier mache, δηλαδή δημιουργία μιας ανάγλυφης επιφάνειας με ). Χρειάστηκαν περίπου 300gr χαρτί λεπτό 80gr/m<sup>2</sup>
- ☞ Επίσης 1l αστάρι με βάση νερού (για να μη διαλυθεί το φελιζόλ από τους υδρατμούς των υδρογονανθράκων της μπογιάς που επικαλύπτει το τελευταίο στρώμα).
- ☞ Λαδομπογιά για συνθετικά υλικά 1lt.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα υλικά απαραίτητα για την κατασκευή:

- ☞ Δυο άξονες  $\Phi$  3,5mm, μήκος 500mm.
- ☞ Δυο κινητήρες
- ☞ Δυο μπαταρίες
- ☞ Ένα πάνελ 20W (Εικόνα 5.3)
- ☞ Καλώδια  $\phi$ 1mm, μήκος 2m
- ☞ Δύο προπέλες  
( $\Phi$ 55mm)



Φωτογραφία του πραγματικού πάνελ της κατασκευής με τις διαστάσεις.

Εικόνα 5.3

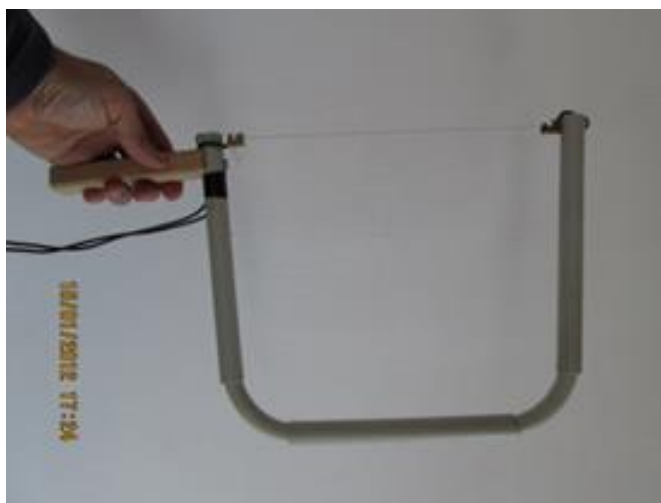


Μια από τις δυο προπέλες με τον άξονα της.

Εικόνα 5.4

### 5.3 - Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι: κόφτης θερμού νήματος, ιδιοκατασκευή από μετασχηματιστή 12V, καλώδιο 100Α τριών μέτρων, μεταλλική κατασκευή σε σχήμα τόξου και τέλος ένα νήμα αγωγού από ένα μέταλλο (νικελοσιδηρούχα κράματα ) με υψηλή αντίσταση και αντοχή στην θερμοκρασία διαμέτρου 0,3-0,7mm που συνδέεται με την τάση των καλωδίων. Όταν στο λεπτό νήμα από έναν αγωγό εφαρμόσουμε την τάση, αυτό αρχίζει να θερμαίνεται και για να έχουμε μια ίσια επιφάνεια κοπής πρέπει να το τεντώσουμε στο σιδερένιο μισοφέγγαρο ώστε να είναι σαν μια θερμή χορδή.



Φωτογραφία του κόφτη με θερμό νήμα .

Εικόνα 5.5

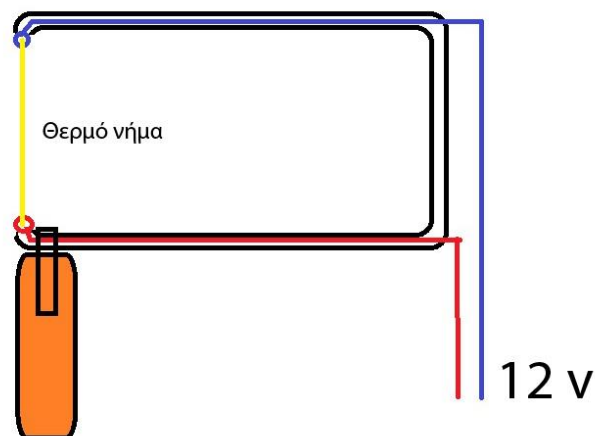


Μετασχηματιστής 12v .

Εικόνα 5.6

Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να πραγματοποιούμε κοπή π.χ. με πρίονι σε κάποια υλικά που λιώνουν ή καίγονται εύκολα όπως φελιζόλ, πλαστικό, ξύλο κ.τ.λ.

Η θερμοκρασία του νήματος εξαρτάται από την τάση, την ειδική αντίσταση του υλικού και το μήκος του αγωγού. Έτσι αν διατηρούμε την τάση σταθερή, απλά μικραίνουμε το μήκος του αγωγού έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία κοπής.



Ηλεκτρολογικό σχέδιο του κόφτη θερμού νήματος.

Εικόνα 5.7

Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα εργαλεία:

Λεπίδα κοπής

Εργαλεία χειρός (πριόνι , πένσα , δρέπανο , κτλ)

Εργαλεία βαφής

Όργανα μέτρησης (μικρόμετρο, πολυμερή , μέτρο, ζυγαριά, χρονοόμετρο)

#### **5.4 - Κατασκευαστικό κομμάτι**

Στο πρώτο στάδιο της κατασκευής έγινε η μέτρηση των υλικών και η προετοιμασία τους πριν την κατεργασία, καθώς και ο σχεδιασμός των καμπύλων στα σημεία κοπής.

εικόνα

Η χάραξη της καμπύλης πάνω στην επιφάνεια κοπής πραγματοποιήθηκε με μέτρηση και σήμανση των σημείων που τέμνει η πορεία της καμπύλης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η κατά προσέγγιση κοπή του υλικού με προσεκτική αφαίρεση της επιφάνειας που περισσεύει μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό σχήμα .



Φωτογραφία της καρίνας.

Εικόνα 5.8



Φωτογραφία της καρίνας με το καπάκι.

Εικόνα 5.9

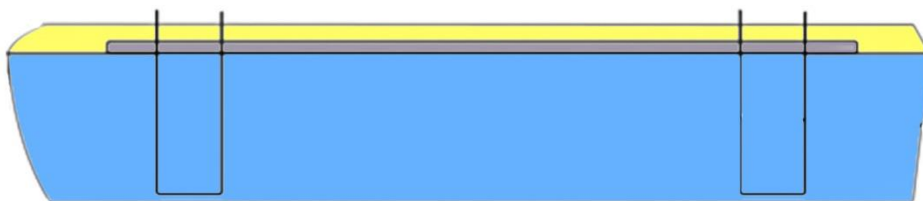
Μετά την επίτευξη του επιθυμητού σχήματος το επικαλύπτουμε με μία στρώση χαρτιού πάχους δύο φύλων με χρήση ακριλικού κολλητικού μέσου.



Φωτογραφία της στρώσης χαρτιού πάνω στο φελιζόλ που πραγματοποιούν την ενίσχυση της επιφάνειας.

Εικόνα 5.10

Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε μεγαλύτερη αντοχή της επιφάνειας ως προς την φθορά και καλύτερη συμπεριφορά της καρίνας ως προς την ολίσθηση στο υδάτινο μέσο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε κατεργασία της επιφάνειας με βαφή για βελτίωση της ποιότητας και αντοχής στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης ενσωματώθηκαν δυο διπλές ντίζες σε κάθε καρίνα σε σχήμα ανάποδο Π για να μπορεί να συγκρατηθεί όλη η κατασκευή.



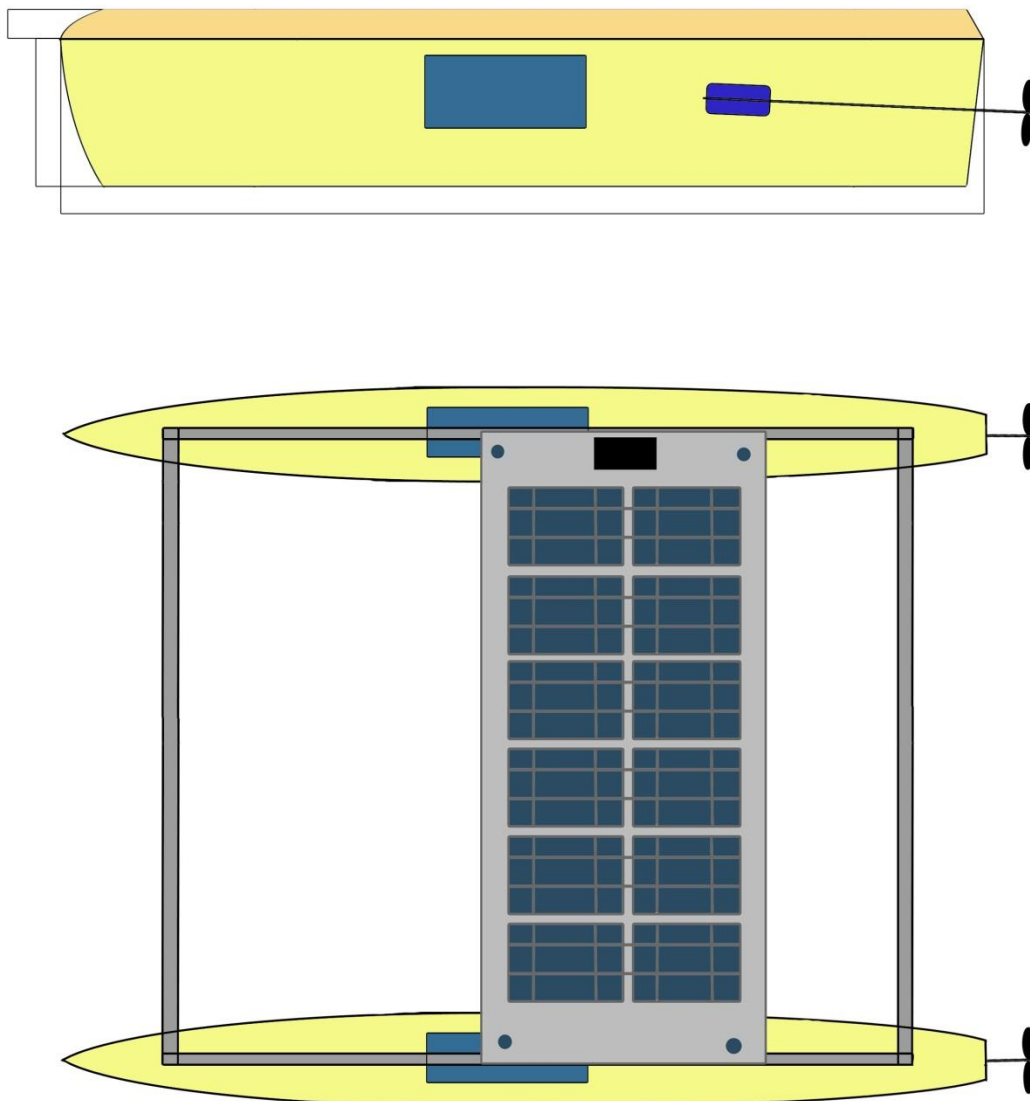
Σχέδιο της καρίνας σε τομή που απεικονίζεται σε γαλάζιο χρώμα με τις αντιριδες.

Σχήμα 5.1

Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε μέγιστη συγκράτηση μεταξύ καρίνας και πλαισίου όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το κάτω μέρος της καρίνας και με κίτρινο το πάνω μέρος και όπως φαίνεται το πλαίσιο αλουμινίου βρίσκεται στην μέση και ενώνεται με δύο ντίζες σε σχήμα ανάποδο Π . Έτσι όλη η κατασκευή αποκτά την μέγιστη στιβαρότητα και αντοχή .

Το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή του πλαισίου από αλουμίνιο που συγκρατεί τις δυο καρίνες και προσφέρει θέση για την τοποθέτηση του πάνελ. Όλα τα σημεία ένωσης συνδέονται με χρήση βιδωτών εξαρτημάτων για γρήγορη συναρμολόγηση και επισκευή.

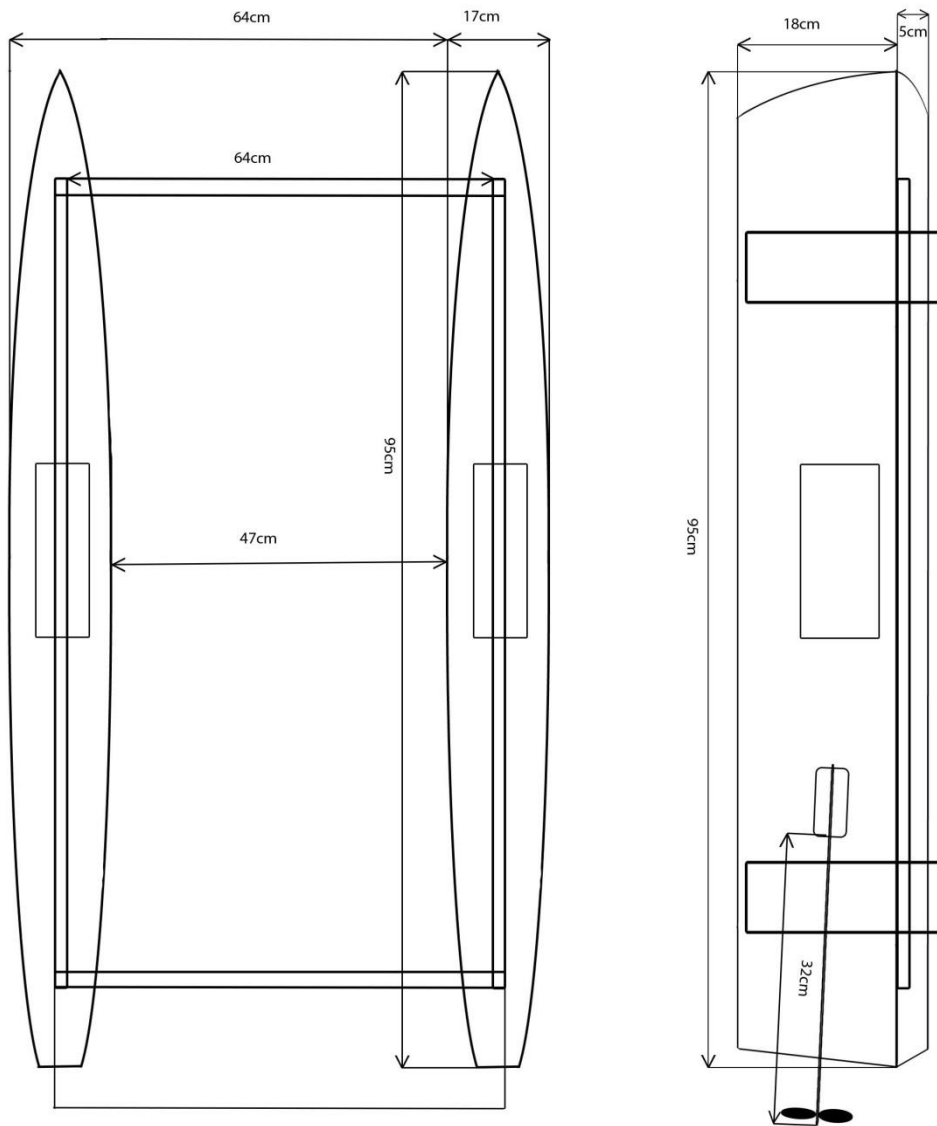




Σχέδιο του πλωτού σε πλάγια και πάνω όψη μαζί με τους κινητήρες και προπέλες.

Σχήμα 5.2

Ακολουθώντας το σχέδιο και τηρώντας όλες τις διαστάσεις το σκάφος έχει την μορφή που φαίνεται στην εικόνα και το αναλυτικό σχέδιο και διαστάσεις φαίνονται στο Σχήμα 5.3



Κατασκευαστικό σχέδιο με όλες τις διαστάσεις.

Σχήμα 5.3

### 5.5 - Ενσωμάτωση των μηχανικών εξαρτημάτων , κινητήρων , φωτοβολταϊκού πάνελ και μπαταριών .

Πρώτα τοποθετήθηκαν μπαταρίες σε κάθε καρίνα στην οποία δημιουργήθηκαν ειδικές θέσεις για να μπορεί να ζυγостаθμιστεί το κέντρο βάρους του σκάφους.



Θέση που θα γίνει αφαίρεση υλικού για την τοποθέτηση μπαταρίας.

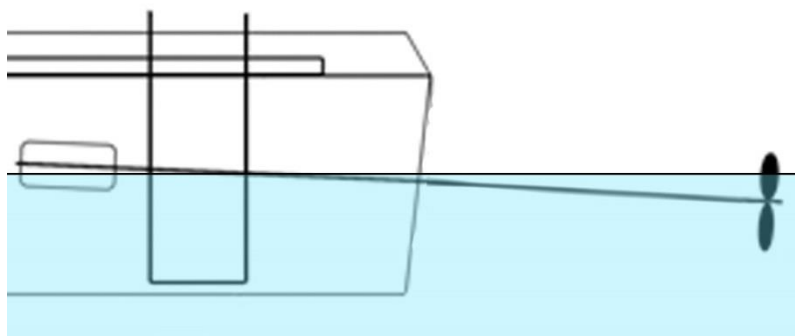
Εικόνα 5.11



Έτοιμες εσοχές για τις μπαταρίες μετά την αφαίρεση του υλικού.

Εικόνα 5.12

Μόλις βρεθεί το κέντρο βάρους του σκάφους πρέπει να βυθιστεί στο νερό ώστε να μετρηθεί το βάθος βύθισης για να μπουν στο σωστό σημείο οι προπέλες με τους άξονες. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο άξονας περιστροφής της προπέλας δεν τοποθετείται οριζόντια ως προς το επίπεδο του νερού αλλά με μια αρνητική κλίση της τάξης  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$  για να υπάρχει καλύτερη αποστράγγιση του νερού και θωράκιση του κινητήρα από τυχόν βραχυκύκλωμα.



Σχέδιο που αναπαριστά τον άξονα με αρνητική κλίση σε σχέση με την στάθμη του νερού.

Σχήμα 5.4

Όπως φαίνεται στο σχήμα η σωστή θέση της προπέλας είναι κάτω από την επιφάνεια του νερού και το μοτέρ ψηλότερα ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή του. Η κλίση επιλέγεται αναλόγως με τις υπάρχουσες απαιτήσεις της κατασκευής και το μέγεθος της προπέλας . (αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως σε μικρά πλωτά και έχει μικρή απώλεια σε ροπή θωρακίζοντας τον κινητήρα από την φθορά). Είναι προτιμότερο η προπέλα να βρίσκεται όσο γίνεται βαθύτερα για να μην έχει μέσα της φυσαλίδες που προέρχονται από την υποπίεση που δημιουργείται στην πορεία της λειτουργίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.11.



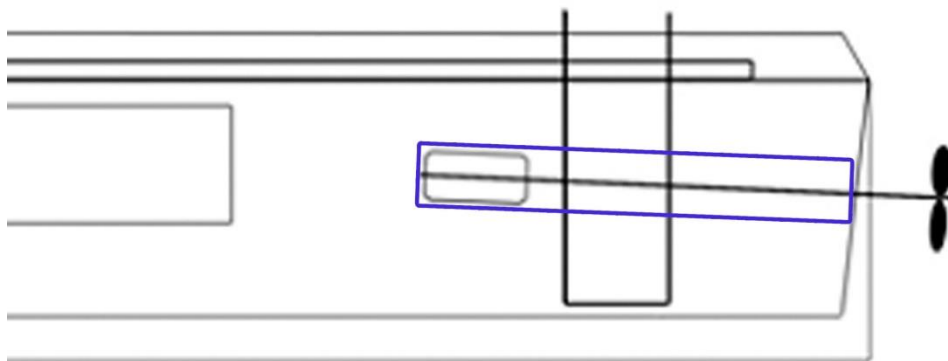
Διαδοχικές λήψεις φωτογραφιών που δείχνουν την προοδευτική βύθιση της προπέλας στο νερό.

Εικόνα 5.13

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα όσο βυθίζεται η προπέλα στο νερό προοδευτικά ελαττώνεται η προσρόφηση του αέρα από την υποπίεση και οι φυσαλίδες εξαλείφονται εντελώς.

Γι' αυτό το λόγο ο άξονας που μεταδίδει την κίνηση από τον κινητήρα στην προπέλα έχει μεγάλο μήκος δημιουργώντας μια απόσταση ασφαλείας μεταξύ θαλάσσιου νερού και κινητήρα .

Για την τοποθέτηση του κινητήρα έγινε ένα κυλινδρικό άνοιγμα στην καρίνα με την κλίση που του άξονα και ίδιας διαμέτρου με τον κινητήρα που είναι  $\Phi 40\text{mm}$  .

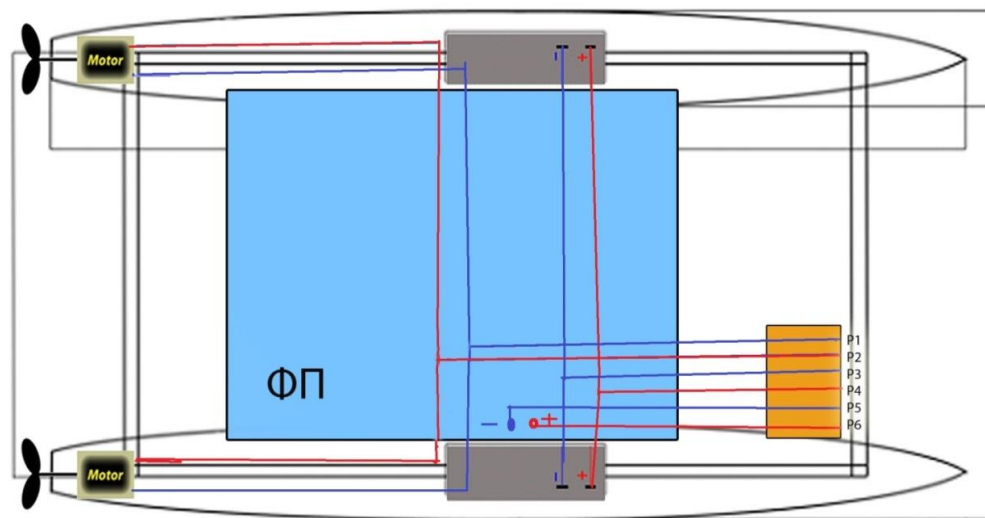


Σχέδιο με τον θάλαμο που τοποθετείται ο κινητήρας.

Σχήμα 5.4

Όσο βαθύτερο άνοιγμα δημιουργηθεί τόσο λιγότερο θα προεξέχει ο άξονας από το σκάφος. Αντίθετα το μήκος του άξονα που προεξέχει δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο για να μην δυσκολεύεται το σκάφος κατά την διάρκεια των ελιγμών και να μην είναι πολύ κοντά στην καρίνα δημιουργώντας έτσι προβλήματα στη υποπίεση της προπέλας. Όταν τοποθετηθεί η προπέλα με τον άξονα και το μοτέρ το κενό μέρος καλύπτεται με δύο κομμάτια φελιζόλ κυλινδρικού σχήματος και γύρο από τον άξονα τοποθετείται ένας προστατευτικός σωλήνας από πλαστικό . Έτσι το μοτέρ είναι εγκλωβισμένο εσωτερικά και προστατεύεται από την φθορά.

Μετά την τοποθέτηση των μηχανικών μερών κατασκευάστηκε η συνδεσμολογία καλωδίωσης δηλαδή ο ελεγκτής φόρτισης με του συσσωρευτές.



Ηλεκτρολογικό σχέδιο του σκάφους και της καλωδίωσης που διαθέτει .

Σχέδιο 5.2



Φωτογραφία του πειραματικού καταμαράν.

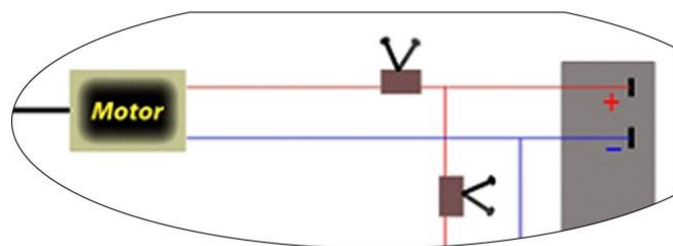
Εικόνα 5.14



Φωτογραφία του ελεγκτη φόρτισης με αναμμένη την ένδειξη πληρότητας και ελέγχου της μπαταρίας.

Εικόνα 5.15

Στο τέλος τοποθετήθηκε το πάνελ και άνοιξε το κύκλωμα για να ελεγχτεί η ορθή λειτουργία των εξαρτημάτων. Μετά τη δοκιμή της διαδικασίας φόρτισης έγινε σύνδεση του χειριστηρίου για να ληφθεί η μέτρηση πλεύσης του σκάφους.



Οι διακόπτες του χειριστηρίου της πλεύσης σε συνδεσμολογία με την τροφοδοσία.

Σχέδιο 5.3

### 5.6 - Κατασκευή του χειριστηρίου

Στην πραγματικότητα είναι μια απλή κατασκευή που αποτελείται από ένα καλάμι μήκους 4mm και καλώδια 7m σε δεσμίδα τεσσάρων αξόνων και πλατφόρμα στερέωσης των δυο διακοπών για τους δύο κινητήρες .



Οι διακόπτες έλεγχου της πλεύσης στο πάνελ έλεγχου.

Εικόνα 5.16

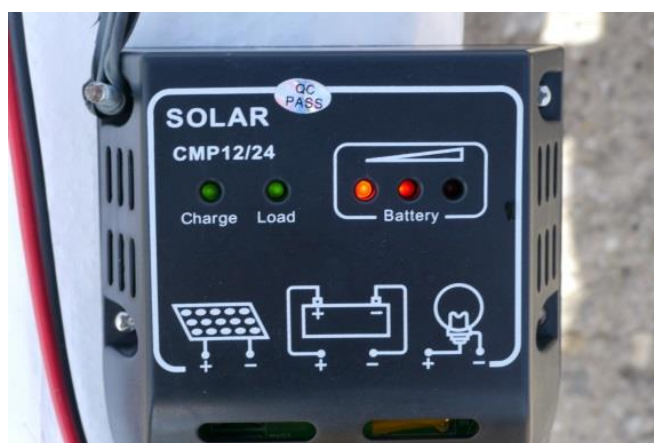
Στη συνδεσμολογία των ηλεκτρικών εξαρτημάτων αναφέρεται στις οδηγίες ως παρατήρηση να συνδεθεί στον ελεγκτή φόρτισης πρώτα ο συσσωρευτής και στη συνέχεια το φωτοβολταϊκό πάνελ με την αντίσταση που της καταναλώνει το ρεύμα. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε προφόρτιση των συσσωρευτών ώστε να είναι η τάση τους επαρκής για να θέσει σε λειτουργία τον ελεγκτή. Στις εικόνες 5.15 και 5.16 φαίνεται πώς ο ελεγκτής έχει τεθεί σε λειτουργία και έπειτα πραγματοποιείται φόρτιση κατά την διάρκεια του πειράματος.





Φωτογραφία του ελεγκτή φόρτισης με αναμμένη ένδειξη πληρότητας και έλεγχου της μπαταρίας που δείχνει ότι οι μπαταρίες είναι φορτισμένες σε αρκετό βαθμό.

Εικόνα 5.17



Φωτογραφία του ελεγκτή φόρτισης με αναμμένη ένδειξη πληρότητας και έλεγχου της μπαταρίας που δείχνει ότι πραγματοποιείται φόρτιση (Charge) και η τροφοδοσία (load) ταυτόχρονα.

Εικόνα 5.18

## Κεφάλαιο 6 - Μετρήσεις και σχολιασμός

### 6.1 Μέτρηση της λειτουργίας των στοιχείων του σκάφους

Η λήψη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 14 / 10 /2013 12:00-13:00μμ κατά το ανώτερο ηλιοστάσιο.

Τα στοιχεία του πάνελ και του σκάφους είχαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Το συνολικό βάρος του σκάφους μετρήθηκε 7,2 κιλά
- Το πάνελ πραγματοποιούσε φόρτιση των μπαταριών με τάση 17V
- Η τάση στις μπαταρίες ήταν 13,8V
- Η τάση του πάνελ σε ανοιχτό κύκλωμα ήταν 20,3V και οι μπαταρίες είχαν τάση 13,3V χωρίς φόρτιση σε ανοιχτό κύκλωμα .

Αυτό μας δείχνει ότι η φόρτιση πραγματοποιούταν κανονικά και το κύκλωμα διαχείρισης της φόρτισης λειτούργησε ικανοποιητικά και είχε το βέλτιστο σημείο στην καμπύλη φορτίου .

### 6.2 Μέτρηση του κινητήρα σε λειτουργία



Σε συνεχόμενη πλεύση χωρίς φόρτιση του πάνελ:

$$V = 12,1V$$

$$I = 1,2A$$

$$E = A * V = 1,2 * 12,1 = 14,51W$$



Σε συνεχόμενη πλεύση με φόρτιση του πάνελ παράλληλα:

$$V = 13,2V$$

$$I = 1,24A$$

$$E = A * V = 1,2 * 12,1 = 16,37W$$



Σε συνεχόμενη πλεύση μονό με πάνελ:

$$V = 7,2V$$

$$I = 0,7A$$

$$E = A * V = 1,2 * 12,1 = 5,02W$$

### **Συμπεράσματα:**

Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι ο ελεγκτής φόρτισης και διαχείρισης κρατούσε την τάση ψηλά στα 12V και είχε καλύτερα αποτελέσματα στην πλεύση . Βεβαίως δεν μπορούσε να κρατήσει την καμπύλη φορτίου χωρίς τις μπαταρίες και δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθούν μετρήσεις μόνο με πάνελ και ελεγκτή για να δούμε την πραγματική διαφορά. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μέτρηση με πάνελ απευθείας συνδεδεμένο στους κινητήρες και σημειώθηκε πτώση τάσης όπως ήταν αναμενόμενο να συμβεί .

Παρόλα αυτά το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό για  $V = 7,2V$  ,  $I = 0,7 A$  και μας δίνει ισχύ 5W. Εάν υποθέσουμε ότι θα λειτουργούσε με το κύκλωμα έλεγχου της καμπύλης φορτίου θα είχαμε πιθανόν 11,5V με 0,6 A που θα έδινε καλύτερα αποτελέσματα . Ήταν όμως αρκετά στοιχεία για να δούμε τη διαφορά και φαίνεται σαφώς ότι η πλεύση σε μεγαλύτερες ταχύτητες πρέπει να γίνει με συνδυασμό των συσσωρευτή και συλλέκτη ταυτόχρονα και συνεπώς ένα τέτοιο όχημα ή πρέπει να κινείται σε μικρές ταχύτητες ή σε μικρές αποστάσεις ανά τακτά διαστήματα πραγματοποιώντας κάποιες εργασίες που έχουν τέτοιες απαιτήσεις.

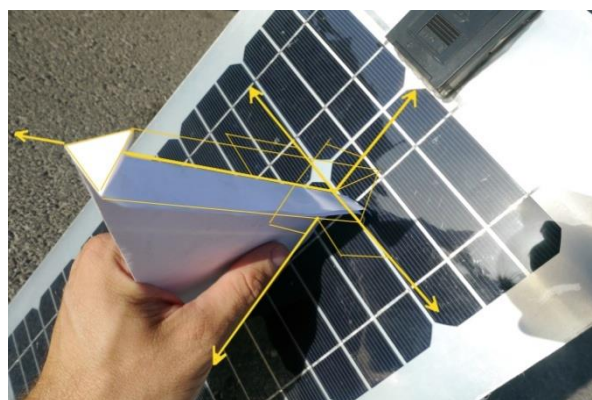
Επίσης πραγματοποιήθηκε μια πλεύση με πάνελ μικρών διαστάσεων που προϋπέθετε ότι μπορούμε να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα με μεγαλύτερο πάνελ και θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 7 με τα συμπεράσματα.

### 6.3 Μέτρηση φωτοβολταϊκού πάνελ

Η μέτρηση του πάνελ πραγματοποιήθηκε με χρήση πολύμετρου, μοιρογνωμονίου (Εικόνα 6.1 A) και μιας χάρτινης κάθετης γωνίας (Εικόνα 6.1 B) για τον έλεγχο της κλίσης του πάνελ ως προς τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας .



Εικόνα 6.1 A

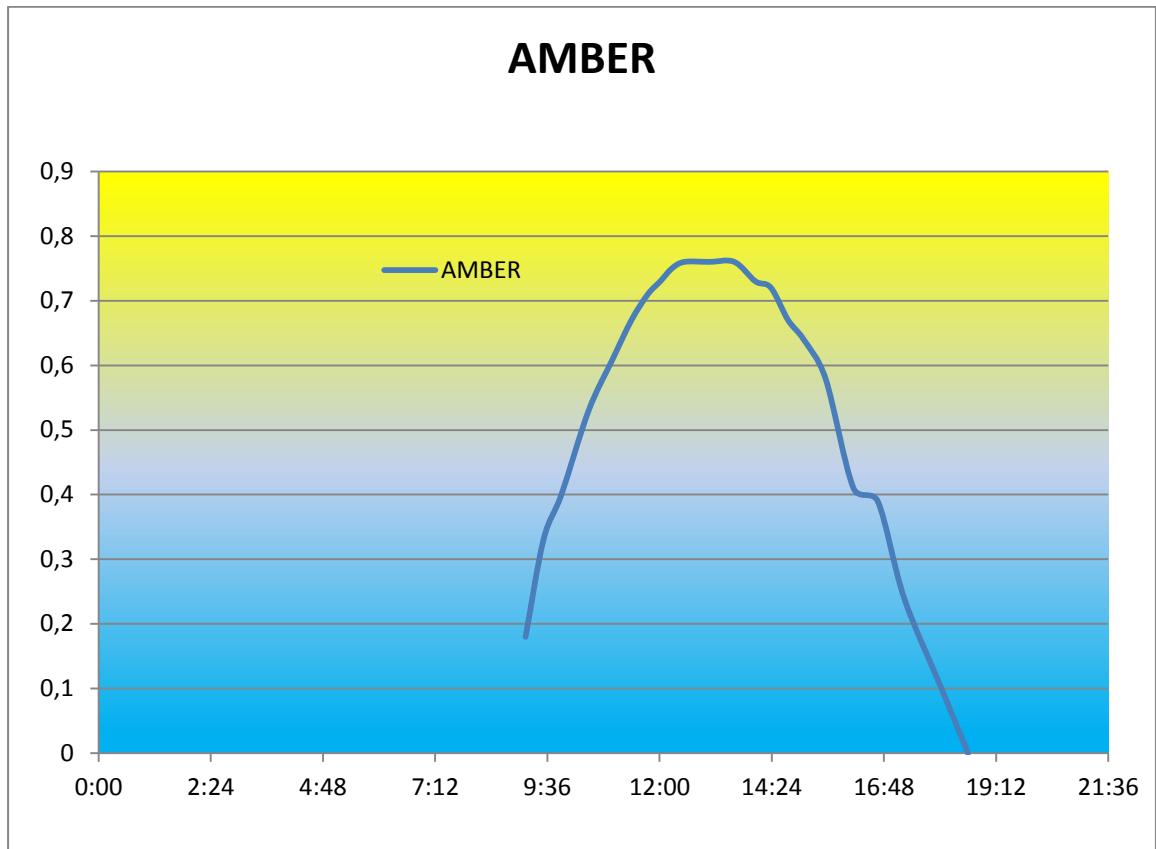


Εικόνα 6.1 B

Η τοποθέτηση μιας κάθετης γωνίας από ένα φύλο χαρτιού μας βοήθησε να βρούμε με εύκολο τρόπο την κάθετη γωνιά του πάνελ ως προς τις ακτίνες του ηλίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την ευθυγράμμιση της σκιάς του μικρού τριγώνου κοντά στην βάση του μεγάλου . Θα μπορούσε να είναι και ένα ξυλαράκι σε μια βάση που έχει τοποθετηθεί κατακόρυφα και να παρακολουθούμε τη σκιά για την ευθυγράμμιση αλλά και με ένα τρίγωνο επιτυγχάνεται το ίδιο αποτέλεσμα . Τα αποτελέσματα της μέτρησης σε οριζόντιο επίπεδο παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1

TIME	I MAX 1	V MAX 1
	A	V
9:08	0,18	20,7
9:31	0,33	20,7
9:54	0,4	20,7
10:29	0,53	20,7
11:00	0,61	20,8
11:24	0,67	20,8
11:45	0,71	20,9
12:01	0,73	20,9
12:16	0,75	20,9
12:32	0,76	20,9
13:04	0,76	20,9
13:36	0,76	20,9
14:03	0,73	20,9
14:23	0,72	20,9
14:45	0,67	20,9
15:05	0,64	20,9
15:33	0,58	20,9
16:09	0,41	20,08
16:40	0,39	20,08
17:14	0,24	20,7
18:02	0,1	18,9
18:36	0	0



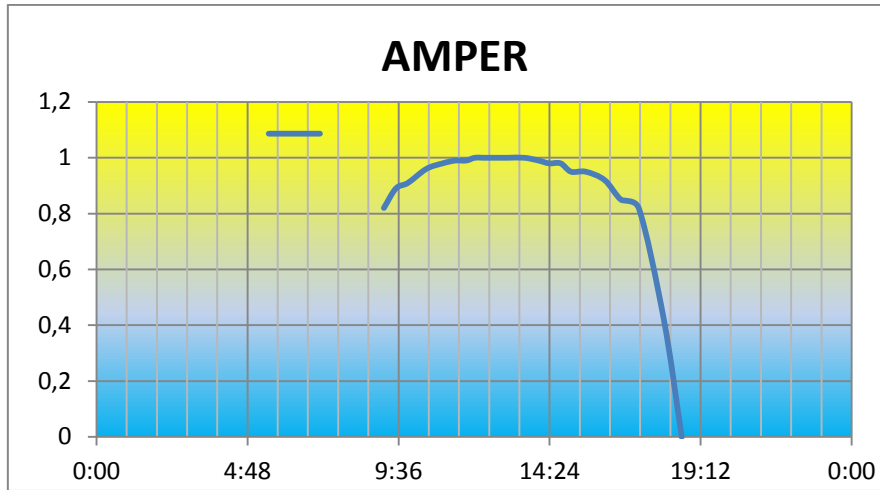
Η ένταση του ρεύματος του ΦΒ σε κλίση  $0^\circ$  σε σχέση με το έδαφος.

Διάγραμμα 6.1

Τα αποτελέσματα της μέτρησης κατά την διάρκεια λειτουργίας με την καλύτερη ωφέλιμη γωνία ως προς τον ήλιο  $0^{\circ}$  κάθετα στις ακτίνες, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

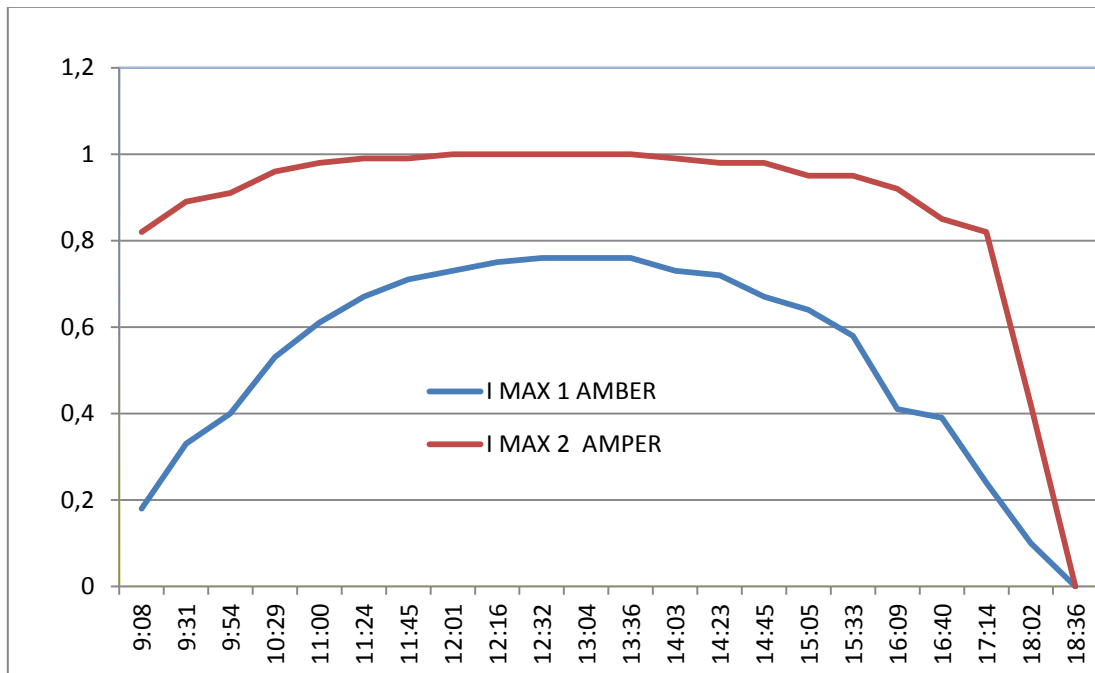
Πίνακας 6.2

TIME	I MAX 2	V MAX 2
	A	V
9:08	0,82	20,9
9:31	0,89	20,9
9:54	0,91	20,9
10:29	0,96	20,9
11:00	0,98	21
11:24	0,99	21
11:45	0,99	21
12:01	1	21
12:16	1	21
12:32	1	21
13:04	1	21
13:36	1	21
14:03	0,99	21
14:23	0,98	21
14:45	0,98	21
15:05	0,95	21
15:33	0,95	21
16:09	0,92	21
16:40	0,85	21
17:14	0,82	21
18:02	0,42	20,8
18:36	0	0



Η ένταση του ρεύματος του ΦΒ σε κλίση 90° σε σχέση με τις ακτίνες του ήλιου .

Διάγραμμα 6.2



Σύγκριση των καμπύλων σε κενό διάγραμμα.

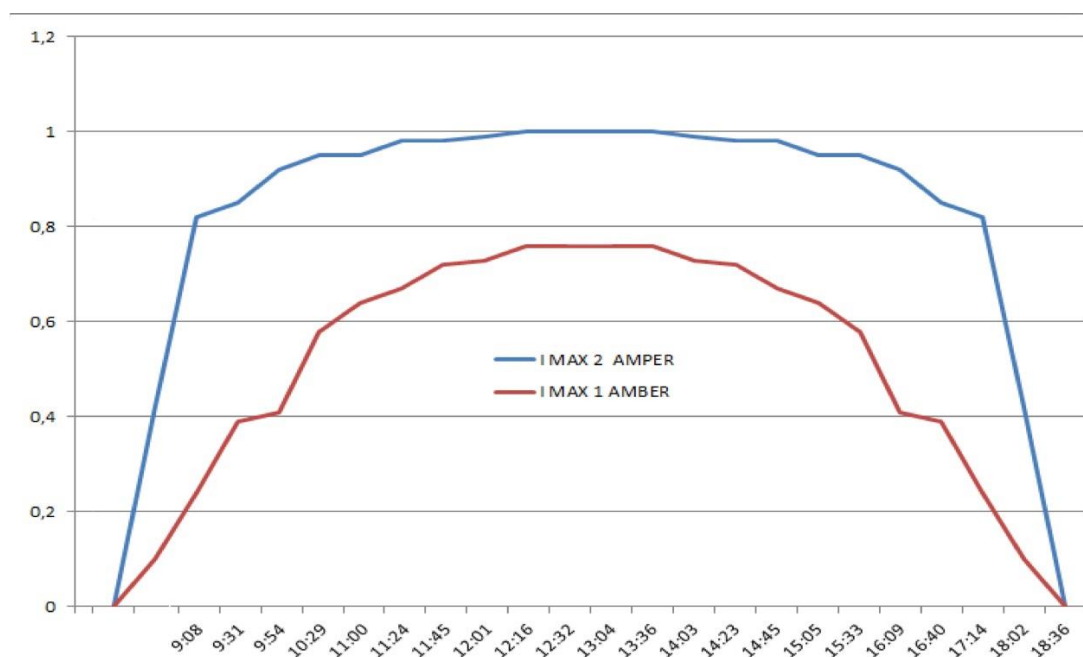
Διάγραμμα 6.3

Όπως παρατηρούμε το εμβαδόν του IMAX2 είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το IMAX1 και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πάνελ βρίσκεται σε οριζόντιο επίπεδο



και στη δεύτερη περίπτωση ακολουθεί τον ήλιο και είναι συνεχώς κάθετο. Πριν τις 9:30πμ δεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί η μέτρηση λόγω σκίασης που προερχόταν από τα κτίρια της περιοχής. Η καμπύλη θα ήταν ίδια με την ώρα της δύσης που όταν το πάνελ βρίσκεται σε οριζόντια θέση πέφτει δραματικά.

Προσεγγιστικά η μορφή της καμπύλης δείχνεται στο Διάγραμμα 6.4:



Σύγκριση των καμπύλων σε κενό διάγραμμα με προέκταση των καμπύλων των ρευμάτων.

Διάγραμμα 6.4

Αν υπολογίσουμε την διαφορά στο εμβαδόν της κάθε καμπύλης θα δούμε ότι έχουμε σχεδόν διπλάσια ενέργεια που μπορεί να μας προσφέρει ένα ΦΒ πάνελ απ' ότι έχουμε σε μια επίπεδη εγκατάσταση. Για καλύτερα αποτελέσματα θα χρειαστεί να μεγαλώσουμε την επιφάνεια του συλλέκτη ή να βελτιώσουμε την απόδοση του συστήματος. Στο τελευταίο κεφάλαιο θα αναλυθεί και η μείωση που έχει η τεχνική σε οριζόντιο επίπεδο και θα αναφερθούμε στις επιπτώσεις που έχει στην πλευση του σκάφους.

#### 6.4 - Υπολογισμός της γωνίας του πάνελ για τις ώρες τις μέρας

Κατά την διάρκεια της ημέρας, όσο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του ΦΒ ο ήλιος άλλαζε θέση συνεχώς. Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει τη μεταβολή της γωνίας του ως προς το επίπεδο της γης για διάφορες ώρες της ημέρας.


Πίνακας 6.3

DEGREES	TIME
°C	
42,5	9:08
45	9:31
46	9:54
48,5	10:29
49	11:00
49,5	11:24
50	11:45
50	12:01
50	12:16
50	12:32
49	13:04
48	13:36
44,5	14:03
44,5	14:23
44	14:45
43	15:05
39	15:33
30	16:09
28	16:40
20	17:14
13	18:02
4	18:36

## 6.5 – Μετρήσεις ταχύτητας κατά την πλεύση

Ο υπολογισμός της ταχύτητας κατά την πλεύση πραγματοποιήθηκε σε τρεις διάφορες συνθήκες τροφοδοσίας . Με τροφοδοσία των συσσωρευτών μόνο , με τροφοδοσία του ΦΒ πάνελ μόνο , με συνδυασμό του ΦΒ πάνελ και των συσσωρευτών . Έτσι πραγματοποιείται πλήρης έλεγχος των δυνατοτήτων της πλεύσης σε ένα ηλιακά κινούμενο σκάφος . Η μετρήσεις έχουν ληφθεί στο λιμάνι κατά το μήκος της προβλήτας σε απόσταση 15 μέτρων , και ώρα 13:00 στις 14 / 10 /2013 .

## 6.6 - Μετρήσεις διανυσμάτων χρόνου κατά την διέλευση απόστασης 15 μέτρων και υπολογισμός ταχύτητας:

 Μέγιστη ταχύτητα με το πάνελ μόνο:


$$T_{\alpha} = 34,2s$$

$$T_{\beta} = 30,8s$$

Mean ( $T_{\alpha}, T_{\beta}$ ):

$$T = 32,5s$$

$$U_1 = 15 / 32,5 = 0,462m/s \quad \text{ή αλλιώς} \quad (0,462 * 3600s) / 1000 = 1,66Km/h$$

 Μέγιστη ταχύτητα με τις μπαταρίες μόνο:


$$T_{\alpha} = 26,6s$$

$$T_{\beta} = 30s$$

Mean ( $T_{\alpha}, T_{\beta}$ ):

$$T = 28,3s$$

$$U_1 = 15 / 28,3 = 0,53m/s \quad \text{ή αλλιώς} \quad (0,53 * 3600s) / 1000 = 1,91Km/h$$

 Μέγιστη ταχύτητα με συνδυασμό πηγών ενέργειας:

$$T_{\alpha} = 22,2s$$

$$T_{\beta} = 24,5s$$

Mean (T<sub>α</sub>, T<sub>β</sub>):

$$T = 23,4s$$

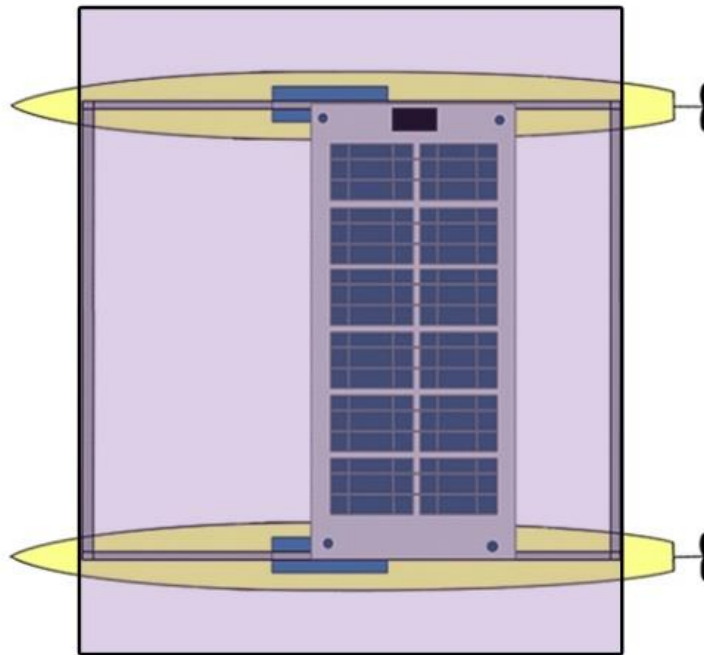
$$U_1 = 15 / 23,4 = 0,652m/s \text{ ή αλλιώς } (0,652 * 3600s) / 1000 = 2,38Km/h$$

Κατά τη μέτρηση της ταχύτητας του σκάφους πραγματοποιούνταν μια ευθύγραμμη πορεία 15 μέτρων εμπρός και πίσω γιατί εξαιτίας της ύπαρξης ρευμάτων στο λιμάνι θα προέκυπταν μεγάλα σφάλματα στους χρόνους. Επίσης οι κινητήρες του σκάφους έχουν κατασκευαστεί για να γυρίζουν αποδοτικότερα όταν στρέφονται στη φορά των δεικτών του ρολογιού . Αυτό προκάλεσε μείωση στη ροπή του αριστερού κινητήρα ως προς την φορά του σκάφους , στρέφοντας το σκάφος συνεχώς ελαφρώς αριστερά. Όμως οι μετρήσεις έχουν παρθεί με την ίδια τεχνική και τα αποτελέσματα έχουν ίδια συστηματικά σφάλματα που μας επιτρέπουν να βγάλουμε συμπεράσματα .

#### **6.7 - Θεωρητική προσέγγιση της δυνατότητας του σκάφους**

Για να υπολογίσουμε τη θεωρητική προσέγγιση της δυνατότητας του σκάφους και τις βέλτιστες δυνατότητες του με τις καλύτερες μπαταρίες και το μέγιστο πάνελ καθώς επίσης και την δυνατότητα της κατασκευής πρέπει να υπολογίσουμε τη μέγιστη επιφάνεια που μπορεί να κατασκευαστεί θεωρητικά και να μελετήσουμε τις δυνατότητες συσσωρευτών άλλων τεχνολογιών .

Θα ξεκινήσουμε με τον υπολογισμό της μέγιστης επιφάνειας του σκάφους που είναι η επιφάνεια της καρίνας συνολικά και η επιφάνεια δεξιά και αριστερά του σκάφους ίση με 15 εκατοστά που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπληρωματικός χώρος για τα πάνελ:



Σχήμα 6.1

Η συνολική επιφάνεια είναι  $71\text{cm} \times 111\text{cm} = 7881\text{cm}^2$  όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1 και το πάνελ που διαθέτουμε είναι  $26\text{cm} \times 50\text{cm} = 1300\text{cm}^2$  που μας κάνει  $0,015385\text{W}$  ανά  $1\text{cm}^2$ . Έτσι η ονομαστική ισχύ του πάνελ που μπορεί να τοποθετηθεί είναι  $121,3\text{W}$  αντί του πάνελ  $20\text{W}$  που διαθέτουμε και είναι  $6,06$  φορές μεγαλύτερο από αυτό που χρησιμοποιήθηκε. Αφού βρήκαμε το μέγεθος του μεγίστου πάνελ  $7881\text{cm}^2$  το βάρος του θα είναι ;

$$M(\text{μείγστο}) = M(\text{πάνελ}) * 6,06 = 0,7 \text{ kgr} * 6,6 = 4,3 \text{ kgr}$$

Το βάρος του πάνελ που διαθέτουμε είναι  $0,7 \text{ kgr}$ , επομένως το βάρος του θεωρητικά μεγίστου που υπολογίζεται από τον τύπο είναι  $4,3 \text{ kgr}$

Έτσι έχει επιβαρυνθεί το σκάφος με επιπλέον  $3,5 \text{ kgr}$  και για να μην αλλάξει η βύθιση του πλωτού πρέπει να μειωθεί το βάρος των συσσωρευτών αλλάζοντας τους με συσσωρευτές τύπου λίθιου για καλύτερη απόδοση.

Στην συνέχεια για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής πρέπει να δούμε τις απαιτήσεις που έχουμε σε ενέργεια συνολικά και να εφαρμόσουμε όσο οικονομικότερες συσκευές γίνεται για να μην επιβαρύνουν την κατανάλωση του σκάφους σε ενέργεια για μεγαλύτερες απαιτήσεις αυτονομίας.

## Υπολογισμοί

Σε αυτή την ενότητα θα υπολογιστούν οι δυνατότητες της κατασκευής όσο αφορά τις αποστάσεις που μπορεί να διανύσει και την ενέργεια που μπορεί να παράγει και να καταναλώσει σε βάθος χρόνου .

Πρώτα πρέπει να δούμε τις δυνατότητες της αυτονομίας των συσσωρευτών και το ποσοστό του βάθους εκφόρτισης για να μπορεί να πραγματοποιηθεί η φόρτιση στην υπάρχουσα έρευνα με το πάνελ που διαθέτουμε . Έτσι έχουμε δυο μπαταρίες 7Ah η κάθε μια στο σύνολο 14Ah . Στο πείραμα μόνο με μπαταρίες είχαμε κατανάλωση 14,5W.

Έχουμε 14,5W

άρα  $14Ah * 12V * 1h = 168W$  (δυνατότητες της μπαταρίας)

διαιρώντας  $168/14,5 = 11,6$  ώρες.

Ξέρουμε όμως πώς οι συμβατικές μπαταρίες μολύβδου οξέος έχουν ασφαλές βάθος εκφόρτισης και είναι 70% - 80% max . Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό ωρών 11,6h επί 0,7, έχουμε 8,11h.

Αν θέλουμε να βρούμε την απόσταση που μπορεί να διανύσει καταναλώνοντας αυτή την ενέργεια είναι 8,11h , πρέπει να πολλαπλασιάσουμε με την ταχύτητα του σκάφους μόνο με μπαταρίες 1,91Km/h και είναι 15,5 χιλιόμετρα . Βρέθηκε όμως αυτονομία μόνο με μπαταρίες άρα πρέπει να υπολογιστεί η δυνατότητα φόρτισης του συσσωρευτή με το πάνελ κατά την διάρκεια της μέρας .

### **6.8 Υπολογισμός τις απόδοσης του συστήματος**

Στις μετρήσεις του πάνελ που πραγματοποιήθηκαν σε οριζόντιο επίπεδο για το IMAX βρήκαμε τις μετρήσεις που παρουσιάσαμε στον Πίνακα 6.1. Για να υπολογίσουμε την ενέργεια κατά τη διάρκεια της μέρας πρέπει να βρούμε τον μέσο όρο των τιμών του IMAX ο οποίος είναι 0,53 A.

Ηλιοφάνεια είχαμε για 9 ώρες και 30 λεπτά σύμφωνα το αν πάρουμε 9 το πρωί με 6:30 το απόγευμα μας βγαίνει με 20V τάση του πάνελ

$$E(W) = (0,53A * 20V) * 9,5h = 100,7W$$

Έτσι έχουμε την ενέργεια που μας διαθέτει το ΦΒ πάνελ σε μια ηλιόλουστη μέρα 14/10/2013 και φορτίζει την μπαταρία στο σημείο που βρίσκουμε με την πράξη  $100,7/168*100 = 60\%$  της πλήρης φόρτισης και για να φορτίσουμε τους υπάρχοντες συσσωρευτές στο 70% χρειαζόμαστε 1,2 μέρες περίπου . Πρέπει να προσθέσουμε και την απώλεια του συσσωρευτή 0,75 και του ελεγκτή φόρτισης 0,92 και έτσι έχουμε  $100,7 * 0,75 * 0,92 = 70W$ . Αυτό σημαίνει ότι για πλήρη φόρτιση χρειαζόμαστε 1,5 μέρες. Έτσι λαμβάνοντας σε υπόψη τα αποτελέσματα το σκάφος θεωρητικά μπορεί να κινηθεί κάθε μέρα για 10 χιλιόμετρα σε τέλειες συνθήκες με προϋπόθεση χωρίς να κάνει άλλη σπάταλη ενέργειας και να ξαναφορτίσει την επομένη τους συσσωρευτές.

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που διαθέτουμε για την ηλιοφάνεια στην περιοχή που πάρθηκαν μετρήσεις μπορούμε να υπολογίσουμε της δυνατότητες του συστήματος για όλη την χρονιά .

## 6.9 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Η προσπίπτουσα ενέργεια για την Ελλάδα στα Χανιά κατά την διάρκεια της χρονιάς παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4

Μήνας	Χανιά 0° κλίση		Λόγος ως προς το Μέγιστο A	Λόγος ως προς το Μέγιστο B	ΦB 20W	Πολλαπλάσιο Γ	Μέγιστο ΦB 121,3W
	KWh/ month	μέρες	συντελεστής A	συντελεστής B	KWh/ month	συντελεστής Γ	KWh/ month
1	53	31	0,235	6,593	1,546	6,06	9,369
2	67	28	0,296	6,593	1,955	6,06	11,847
3	108	31	0,478	6,593	3,151	6,06	19,095
4	144	30	0,637	6,593	4,201	6,06	25,458
5	195	31	0,863	6,593	5,689	6,06	34,475
6	214	30	0,947	6,593	6,243	6,06	37,833
7	226	31	1,000	6,593	6,593	6,06	39,954
8	205	31	0,907	6,593	5,981	6,06	36,245
9	155	30	0,686	6,593	4,522	6,06	27,403
10	107	31	0,473	6,593	3,122	6,06	18,919
11	67	30	0,296	6,593	1,955	6,06	11,847
12	52	31	0,230	6,593	1,517	6,06	9,193
μέσος όρος	133				3,873		23,470
Σύνολο	1594				46,475		281,639

Όπως βλέπουμε η πρώτη στήλη στον πίνακα αναφέρεται για συνολική ποσότητα ενέργειας του κάθε μήνα του έτους που έχει παρθεί από τα ηλιακά δεδομένα του ΤΕΙ Χανίων, ενώ η δεύτερη στήλη είναι η ποσότητα των ημερών του κάθε μήνα. Η στήλη 3 του συντελεστή A είναι το πηλίκο της ενέργειας κάθε μήνα με τη μέγιστη ενέργεια των 226kWh και μας βοηθάει στους υπολογισμούς. Η στήλη 4 του (συντελεστής B) είναι η μέγιστη ενέργεια του έβδομου μήνα για πάνελ 20W που πραγματοποιήθηκαν



οι μετρήσεις . Έτσι επομένως βγήκε η στήλη για όλους τους μήνες για πάνελ 20W και με τον συντελεστή  $\Gamma$  6,06 που είναι η διαφορά των  $\Phi_B$  20W και  $\Phi_B$  121,3W υπολογίστηκε η τελευταία στήλη για το μέγιστο θεωρητικό πάνελ. Πρέπει να τονιστεί ότι στους παραπάνω υπολογισμούς δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της θερμοκρασίας.

Για τον υπολογισμό της ετήσιας ενέργειας που παράγεται , πρέπει να βρούμε την συνολική ενέργεια που λάβαμε κατά την διάρκεια της μέρας και να τη συσχετίσουμε με την υπάρχουσα θεωρητική ηλιακή ενέργεια. Γνωρίζοντας την ωφέλιμη επιφάνεια του πάνελ που είναι  $1300\text{cm}^2$  μπορούμε να βρούμε τον συντελεστή απόδοσης και έτσι βρίσκουμε την ενέργεια για την κάθε περίπτωση .

Όπως αναφέραμε στο θεωρητικό κομμάτι για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχουμε απόδοση 15-18% Για το  $\Phi_B$  της εφαρμογής μας προκύπτει πως για ένα τετραγωνικό μέτρο  $10000\text{cm}^2$  έχουμε πραγματικά  $(10000\text{ cm}^2 /1300\text{ cm}^2)*20\text{W} = 154\text{W}$ . Άρα το ποσοστό ισχύος που έχουμε ως προς τη θεωρητική ισχύ για  $1\text{m}^2$  είναι:

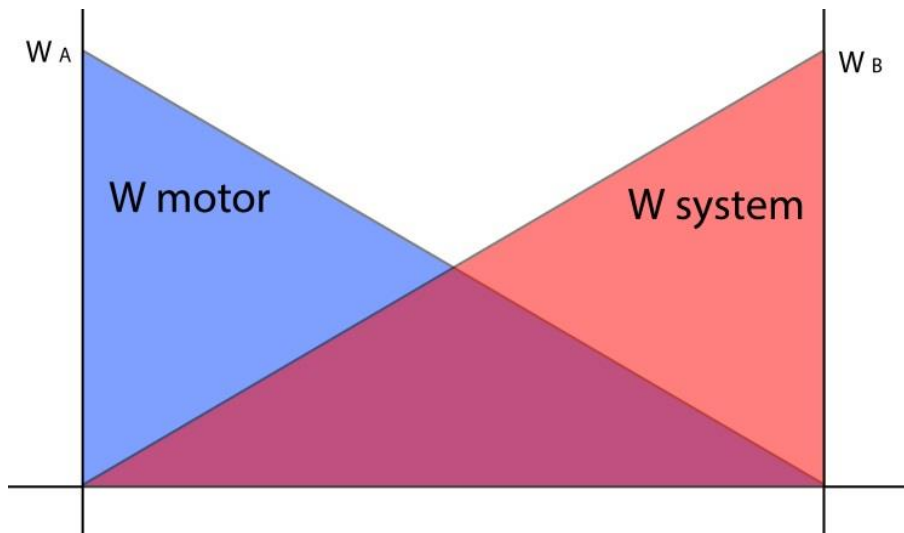
$$1000\text{w}/1\text{m}^2 (154/1000) *100 = 15,4\%$$

όπου είναι και η θεωρητική απόδοση . Επομένως η απόδοση είναι ικανοποιητική για το είδος του πάνελ που διαθέτουμε .

Ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία για όλους τους μήνες βρίσκουμε τη συνολική ετήσια ενέργεια που παράγει το ΦΒ πάνελ (Πίνακας 6.5).

Πίνακας 6.5

	ΦΒ Α 20W	απόσταση	μέγιστο ΦΒ 121,3W	απόσταση
Μήνας	kWh / month	km	kWh / month	km
1	1,546	140,54	9,37	851,67
2	1,955	177,66	11,85	1076,62
3	3,151	286,38	19,10	1735,46
4	4,201	381,84	25,46	2313,95
5	5,689	517,08	34,48	3133,50
6	6,243	567,46	37,83	3438,81
7	6,593	599,28	39,95	3631,64
8	5,981	543,60	36,24	3294,22
9	4,522	411,01	27,40	2490,72
10	3,122	283,73	18,92	1719,40
11	1,955	177,66	11,85	1076,62
12	1,517	137,89	9,19	835,61
μέσος Όρος	3,873	352,01	23,47	2133,18
Σύνολο	46,475	4224,13	281,64	25598,23



Διάγραμμα της μείωσης του έργου σε σχέση με την κατανάλωση των οργάνων που μπορεί να διαθέτει κατά την λειτουργία του σκάφους

Διάγραμμα 6.5

Από το διάγραμμα 6.5 φαίνεται σε απλούστερη μορφή ότι όσο περισσότερη ενέργεια καταναλώνουμε για τα όργανα που διαθέτει το σκάφος τόσο  $W_B$  τόσο μειώνεται η ενέργεια για την προώθηση του πλωτού  $W_A$ . Έτσι μπορούμε να προσαρμόσουμε για της ανάγκες μας τα μεγέθη κατανάλωσης ενέργειας των συστημάτων και του σκάφους μας γενικώς.

## Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο 6 σχολιάστηκαν τα αποτελέσματα που αφορούσαν το σκάφος. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την αυτονομία του. Αποτελούν το πιο σημαντικό κομμάτι της έρευνας εφόσον αφορούν περισσότερο το πλωτό μας μέσο και δεν είναι αντιπροσωπευτικά για τα ηλιακά κινούμενα πλωτά, διότι επηρεάζονται από κάποιες παραμέτρους που μπορούν να αλλάξουν κατά πολύ τα τελικά αποτελέσματα. Το πιο σημαντικό στην κατασκευή του ηλιακά κινούμενου πλωτού δεν είναι το μέγεθος του πάνελ ή οι αποθηκευτικές ιδιότητες των συσσωρευτών, αλλά το μέγεθος του ίδιου του πλωτού. Εάν είναι αναγκαίο να κατασκευαστεί ένα σκάφος που θα μεταφέρει μεγάλα φορτία σε μεγάλες αποστάσεις έχουμε ένα τελείως διαφορετικό ζητούμενο που αλλάζει πολλές μεταβλητές σε σχέση με την πειραματική μας κατασκευή.

Όταν για παράδειγμα έχουμε μια καρίνα με μήκος αρκετών δεκάδων μέτρων αυτομάτως μειώνεται η αντίσταση σε σχέση με το αδιάσπαστο φράγμα και η ταχύτητα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα οι αποστάσεις που μπορεί να διανύσει να είναι κατά πολύ μεγαλύτερες. Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας είναι η αυτονομία που μπορεί να έχει ένα σκάφος στην ανοιχτή θάλασσα σε περιπτώσεις ηλιοσκέδασης λαμβάνοντας υπόψη ότι όταν υπάρχει θαλασσοταραχή δεν πρέπει να ακινητοποιηθεί σε καμία περίπτωση γιατί υπάρχει κίνδυνος ανατροπής ή πρόσκρουσης. Τέτοιου μεγέθους σκάφη θα έχουν πολύ μεγάλο κόστος και θα πρέπει να ικανοποιούν τις προσδοκίες σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες.

Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι η περίπτωση ενός μικρού σκάφους όπως το πειραματικό που διαθέτουμε της τάξης του 1m που είναι πολύ οικονομικό αλλά δεν διαθέτει τα πλεονεκτήματα ενός μεγάλου. Είναι κατάλληλο για μια κλειστή λίμνη ή παρόμοιο χώρο καθότι δεν μπορεί να αντέξει μια σημαντική θαλασσοταραχή, δεν έχει ταχύτητα να υπερνικήσει τους άνεμους και κατάλληλο μήκος ώστε να υπερπηδήσει μεγάλα κύματα. Είναι όμως η καταλληλότερη τεχνολογία για ένα μικρό όχημα που κάνει αυτόματα κάποιες ενέργειες όπως για παράδειγμα μετρήσεις σε μια λίμνη ή καθαρισμό σε μια δεξαμενή.

Γίνεται λοιπόν φανερό ότι για να γίνει επιλογή του κατάλληλου μεγέθους θα πρέπει να είναι γνωστές οι απαιτήσεις της εφαρμογής και οι συνθήκες εργασίας του σκάφους.

Παρόλα αυτά και το μικρό σκάφος πειραματικά είχε αρκετά καλά αποτελέσματα. Για παράδειγμα στον πίνακα 6.5 σε βάθος χρόνου 12 μηνών έχει υπολογιστεί ότι το σκάφος μπορεί να διανύσει απόσταση 4224 χιλιομέτρων με το υπάρχον πάνελ, ενώ με ένα θεωρητικά μέγιστο 125W μπορεί να διανύσει 26000 χιλιόμετρα που είναι ο μισός γύρος της γης . Είναι εντυπωσιακά τα νούμερα αρκεί να εκμεταλλευτούμε όλη την ενέργεια που θα παράγουμε.

Άλλη μία σημαντική μεταβλητή είναι το ποσοστό σκέδασης του ηλίου κατά την διάρκεια της χρονιάς. Στα Χανιά της Κρήτης είναι μικρή και υπολογίζεται κοντά στις 40 μέρες το χρόνο με αποτέλεσμα η απώλεια να είναι σχετικά μικρή . Όμως σε μια χώρα όπως η Σουηδία ή Νορβηγία η τεχνολογία αυτή είναι σχεδόν μη εφαρμόσιμη . Το σύνολο των ημερών ηλιοφάνειας σε αυτές χώρες με δυσκολία ξεπερνά το 1/3 του συνόλου και ο ήλιος έχει τόσο χαμηλή τροχιά που δεν μπορεί να εφαρμοστεί με ευκολία η οριζόντια γωνία λειτουργίας. Επίσης τα σκάφη που κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια τη χρησιμοποιούν για να λειτουργήσουν και έτσι συμβάλουν στην μείωση της παραγόμενης ενέργειας όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.5.

Το συμπέρασμα είναι ότι η τεχνολογία είναι εύκολα εφαρμόσιμη αλλά θα πρέπει να εφαρμοστεί ως υβριδική (σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες) για να καλύψει ένα μεγάλο τμήμα των αναγκών που υπάρχουν . Είναι όμως η καταλληλότερη τεχνολογία για μικρές εφαρμογές σε λίμνες, λιμάνια, ποταμούς που η απαίτηση σε αυτονομία είναι μικρότερη όπως επίσης και σε χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια. Επιπρόσθετα με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας δεν παράγονται ρύποι όπως από τα ορυκτά καύσιμα και δεν μολύνονται τα νερά όπως από τα συμβατικά πλοία. Έτσι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών θα συμβάλει στην θαλασσοπλοΐα πιθανόν πρώτα περνώντας από ιδιωτικά σκάφη και μικρές ιδιωτικές πρωτοβουλίες μέχρι που θα πάρει ένα σημαντικό κομμάτι στις εφαρμογές των σκαφών .

## 7.2 βιβλιογραφία

Σημειώσεις μαθήματος ΤΕΙ Κρήτης (Παράρτημα Χανίων)

Ήπιες Μορφές Ενέργειας II Ηλιακή Ενέργεια, Δ. Κολοκοτσά .

Πτυχιακή εργασία του Χρήστου Πετρόχειλου , ΤΕΙ Χαίων

Ενέργεια από Φωτοβολταϊκά . Εφαρμογή σε μοντέλο σιδηροδρόμου .

Ηλιακά δεδομένα ΤΕΙ Κρήτης (Παράρτημα Χανίων).

Σημειώσεις Πολυτεχνείου Κρήτης . Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας . Π.  
Γεωργιλάκης

Βιβλίο Ιστιοπλοΐα και ναυτοσύνη . Μανώλης Καλαθάκης

Εγχειρίδιον ιστιοπλοΐας (Αρμενίζοντας) . Κ.Κρητικός

[http://e-fotovoltaika.blogspot.gr/2008\\_03\\_03\\_archive.html](http://e-fotovoltaika.blogspot.gr/2008_03_03_archive.html)

<http://www.s-aegeanyachting.com>

<http://el.wikipedia.org> (Ναυπηγικές γραμμές)

<http://el.wikipedia.org>

<http://www.ortsa.gr>

<http://www.real.gr/DefaultArthro.aspx?page=arthro&id=260997&catID=22>