

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ  
ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ*



ΧΑΝΙΑ 2014  
ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΤΣΑΚΑΛΟΥΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Όνοματεπώνυμο: Τσακαλούδης Γεώργιος

*Τίτλος:* Μελέτη και εγκατάσταση αυτονόμου υβριδικού συστήματος

*Title:* Study and installation of an autonomous hybrid power system

Εξεταστική επιτροπή:

Κατσίγιαννης Ιωάννης (επιβλέπων)

Καραπιδάκης Εμμανουήλ

Μαραβελάκης Εμμανουήλ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : Βασικές αρχές της ηλιακής και αιολικής ενέργειας	10
1.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	10
1.2 Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων	12
1.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου	13
1.4 Ανεμογεννήτριες	16
1.5 Τύποι ανεμογεννητριών	16
1.6 Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα	16
1.7 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα	18
1.8 Μέρη ανεμογεννήτριας	18
1.9 Μικρές ανεμογεννήτριες οικιακής χρήσης	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : Ηλιακή γεωμετρία και αιολική ενέργεια	21
2.1 Γεωγραφικές συντεταγμένες	21
2.2 Φυσική του ήλιου	22
2.3 Ύψος και αζιμούθιο ήλιου	24
2.4 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ Φ/Β πλαισίων	25
2.5 Αιολική ενέργεια	26
2.6 Χαρακτηριστικά Ανέμου	27
2.7 Μέση Ταχύτητα Ανέμου	27
2.8 Διεύθυνση Ανέμου	29
2.9 Διακύμανση της Ταχύτητας	30
2.10 Στροβιλισμός ανέμου	30
2.11 Η μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : Διαστασιοδότηση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος	32
3.1 Μελέτη των αναγκών που πρέπει να καλυφθούν και επιλογή κατάλληλων φορτίων	32
3.2 Συλλογή δεδομένων	33
3.3 Υπολογισμός και επιλογή του συστήματος συσσώρευσης	35
3.4 Υπολογισμός της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας	36
3.5 Αριθμός πλαισίων	37
3.6 Αξιολόγηση διαθέσιμης αιολικής ενέργειας	37
3.7 Δημιουργία υπολογιστικού προγράμματος για την διευκόλυνση της μελέτης	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : Υπολογισμός της διατομής των καλωδίων	44
4.1 Υπολογισμός κυκλώματος Φ/Β πεδίου-ρυθμιστή	45
4.2 Υπολογισμός κυκλώματος μετατροπέα-μπαταρίας	46
4.3 Υπολογισμός κυκλώματος μετατροπέα-ρυθμιστή	46
4.4 Υπολογισμός κυκλώματος ρυθμιστή-μπαταρίας	47
4.5 Υπολογισμός κυκλώματος μετατροπέα-φορτίου	47
4.6 Επιλογή ασφαλειών των καλωδιώσεων	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : Συσσωρευτές-Μπαταρίες	50
5.1 Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών	53
5.2 Επιλογή συσσωρευτών	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : Υπολογισμός και επιλογή μετατροπέα (inverter)	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> : Ελεγκτής φόρτισης (Ρυθμιστής)	61
7.1 Υπολογισμός και επιλογή του ρυθμιστή	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 <sup>ο</sup> : Εγκατάσταση αυτόνομου υβριδικού συστήματος	67
8.1 Εγκατάσταση εξωτερικού χώρου	67
8.2 Εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων	68
8.3 Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας	70
8.3.1 Ιστός στήριξης της ανεμογεννήτριας	70
8.5 Εγκατάσταση εσωτερικού χώρου	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 <sup>ο</sup> : Συμπεράσματα	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στους καθηγητές, τεχνικούς, συμφοιτητές και φίλους μου για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου άσκησης καθώς η εγκατάσταση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαδικασία που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα μόνο άτομο.

Για το λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου Δρ. Καραπιδάκη Εμμανουήλ, Δρ. Μαραβελάκη Εμμανουήλ και Δρ. Ιωάννη Κατσίγιαννη για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγησή τους όλους αυτούς τους μήνες, την προσωπική τους συμμετοχή σε οποιοδήποτε πρόβλημα και αν προέκυπτε καθώς και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν. Ευχαριστώ τους φίλους μου και την τεχνική υπηρεσία της σχολής για την βοήθειά τους στην διαδικασία της εγκατάστασης και για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να ξεχάσω τους δικούς μου ανθρώπους που με την αγάπη και την υπομονή τους ήταν στο πλευρό μου όλα αυτά τα χρόνια δίνοντας μου δύναμη και κουράγιο, αν και δεν βοήθησαν πρακτικά στην παρούσα εργασία, ωστόσο με εμπνέωσαν και με παρότρυναν να συνεχίσω όπου η διάθεση και η ψυχολογία μου με εγκατέλειπαν.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή άσκηση πραγματεύεται την μελέτη και εγκατάσταση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την παρατήρηση και συμπεριφορά του συστήματος κάτω από διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες με επαγωγικά και ωμικά φορτία για την διεξαγωγή συμπερασμάτων της ορθής λειτουργίας του συστήματος σε σχέση με την μελέτη.

Συγκεκριμένα, η διαστασιοδότηση πραγματοποιήθηκε για την μερική κάλυψη του φωτισμού εξωτερικού χώρου και η εγκατάσταση υλοποιήθηκε στον χώρο του ΤΕΙ κάτω από αυστηρά μέτρα ασφαλείας. Η μέθοδος της παρούσας μελέτης είναι αυτή του «λιγότερο ευνοϊκού μήνα». Μ' αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η κατανάλωση ενέργειας τον λιγότερο ευνοϊκό μήνα της περιόδου χρήσης του συστήματος. Ως βάση υπολογισμού του συστήματος γίνεται χρήση της κατανάλωσης του λιγότερο ευνοϊκού μήνα, θεωρώντας ως τέτοιο τον μήνα κατά τον οποίο μια μέση μέρα του η ενέργεια σε MJoule που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου θα είναι η μικρότερη. Η ιδέα είναι ότι αν το σύστημα λειτουργήσει αυτόν τον μήνα, θα λειτουργήσει και τους υπόλοιπους.

Τέλος, για τους υπολογισμούς των φωτοβολταϊκών πλαισίων και για την χωρητικότητα των συσσωρευτών σε Ah δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα με τη βοήθεια του προγράμματος Visual Studio 2012 που έχει σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου και την αποφυγή σφαλμάτων κατά την διάρκεια της διαστασιοδότησης.

## ABSTRACT

This thesis deals with the design and installation of an autonomous hybrid system for electricity generation, whose objective is to observe the system behavior under different environmental conditions with inductive and resistive loads, as well as to draw conclusions of the proper operation of the system in comparison to the study results.

More specifically, system sizing was held for partial coverage of outdoor lighting. The installation was carried out in TEI area under strict security measures. The method of this study is that of “less favorable month”. Under this method, the proper operation of the system in the less favorable month of the considered period is ensured. The less favorable month is that where the average incident radiation (in Mjoule) on a horizontal surface of  $1 \text{ m}^2$  is the least. The idea is that if the system operates properly for this month, it will also operate properly for the others.

Finally, for the calculation of photovoltaic panels and battery capacity in Ah, a computer program was created with the help of the Visual Studio 2012 software, in order to save calculation time and avoid sizing errors.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κίνητρο για την εκπόνηση της ακόλουθης πτυχιακής εργασίας είναι το ενδιαφέρον μου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), το φυσικό περιβάλλον και τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται εκείνα τα συστήματα ηλεκτροδότησης που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο (φωτοβολταϊκά) και την αποθηκεύουν σε συσσωρευτές (μπαταρίες), χωρίς συνήθως να συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), παρέχοντας έτσι ενεργειακή αυτονομία. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα ηλεκτροδότησης μπορούν να είναι και υβριδικά αυτόνομα συστήματα στην περίπτωση που συνεργάζονται και με άλλες πηγές ενέργειας όπως ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο, μια ανεμογεννήτρια ή ακόμη και ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Η παρούσα πτυχιακή άσκηση έχει ως θέμα: «Μελέτη & Εγκατάσταση Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος» και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιηθήκαν είναι η ηλιακή (φωτοβολταϊκά) και η αιολική (ανεμογεννήτριες).

Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι ο μερικός φωτισμός του προαυλίου του ΤΕΙ κατά τις νυχτερινές ώρες και κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου με αυτονομία πέντε ημερών χωρίς ηλιοφάνεια. Συγκεκριμένα, ο φωτισμός αυτός περιλαμβάνει το βοηθητικό φωτισμό σε δύο κεντρικά σημεία του ΤΕΙ με στόχο την καλύτερη λειτουργικότητα του προαυλίου και την καλύτερη φύλαξη κατά τις νυχτερινές ώρες (10 ώρες λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι το σύστημα θα λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια του έτους και επομένως η μελέτη έγινε με βάση τον χειρότερο μήνα του έτους). Τα στοιχεία για τη παρούσα μελέτη σχετικά με το ηλιακό και αιολικό δυναμικό της περιοχής αντλήθηκαν από τον μετεωρολογικό ιστό που βρίσκεται στην οροφή του ΤΕΙ.

Για τις ανάγκες του φωτισμού αυτού εγκαταστάθηκαν στην οροφή του ΤΕΙ προβολείς, η επιλογή των οποίων έγινε με κύριο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, έχοντας ως τελικό αποτέλεσμα την όσο το δυνατόν μικρότερη κλίμακα του αυτόνομου συστήματος με συνεπαγόμενα οφέλη την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων.

Η τοποθεσία της εγκατάστασης είναι στο κτίριο του ΤΕΙ Χανίων και αυτό είναι μεγάλο πλεονέκτημα, καθώς η ηλιοφάνεια σε αυτή την περιοχή είναι αρκετά ικανοποιητική με αποτέλεσμα η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων να είναι υψηλή. Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί για το αιολικό δυναμικό της περιοχής δεν είναι πολύ ενθαρρυντικά για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας, παρόλα αυτά, βάσει των δεδομένων, η εγκατάστασή της θα έχει υποστηρικτικό χαρακτήρα για τους χειμερινούς κυρίως μήνες όπου η ηλιοφάνεια μειώνεται ενώ αντιθέτως το αιολικό δυναμικό αυξάνεται.

Για την εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία λογισμικού προγράμματος που πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Visual Studio 2012. Οι υπολογισμοί για την μελέτη της συγκεκριμένης εγκατάστασης θα ήταν ιδιαίτερα χρονοβόροι χωρίς τη χρήση του, καθώς στη μελέτη υπάρχει μεγάλο πλήθος μαθηματικών υπολογισμών για την καλύτερη προσομοίωση των φορτίων σε σχέση με



το ηλιακό και αιολικό δυναμικό της περιοχής, καθώς και τα υπόλοιπα μέρη της εγκατάστασης. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετήθηκαν στην οροφή του κτηρίου πάνω σε μεταλλικές βάσεις με δυνατότητα μεταβολής της κλίσης των πλαισίων. Η ανεμογεννήτρια τοποθετήθηκε πάνω σε ιστό και αυτός σε βάση φτάνοντας τα 5 μέτρα ύψος, αποδίδοντας, σχετικά ικανοποιητικά, ανάλογα με τον άνεμο που πνέει κάθε φορά.

Μετά την ολοκλήρωση της τοποθέτησης των Φ/Β πλαισίων και της Α/Γ στην οροφή του κτιρίου και τη διασφάλιση της βιωσιμότητάς τους με σταθερές βάσεις και αντηρίδες στήριξης, ακολούθησε το ηλεκτρολογικό κομμάτι της εργασίας. Στο εσωτερικό του κτιρίου, εγκαταστάθηκαν οι συσσωρευτές, οι πίνακες (DC και AC), ο ρυθμιστής φόρτισης, ο μετατροπέας και ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (πρίζες, διακόπτες, κτλ). Στους πίνακες (DC και AC) τοποθετήθηκαν ασφάλειες και διακόπτες για την ασφαλή λειτουργία τόσο στο εσωτερικό κομμάτι των στοιχείων του κυκλώματος, όσο και στην έξοδο του συστήματος (230 V AC). Επίσης στον πίνακα AC τοποθετήθηκαν ένας μετρητής ενέργειας (ράγας) και ένας χρονοδιακόπτης (ράγας) για τον καλύτερο έλεγχο των φορτίων και την ορθότερη παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Μετά το στάδιο της συναρμολόγησης και λειτουργίας του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ακολούθησε η διαδικασία για τον έλεγχο και την αξιολόγηση του συστήματος. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της φόρτισης των συσσωρευτών σε συνάρτηση με το ηλιακό και αιολικό δυναμικό και τον έλεγχο της εκφόρτισής τους σε συνάρτηση με τα φορτία. Ο έλεγχος, για να αποφευχθεί η πολυπλοκότητα της εγκατάστασης, πραγματοποιήθηκε με απλή καθημερινή παρατήρηση από δεδομένα που αντληθήκαν από τον ρυθμιστή φόρτισης, το μετρητή ενέργειας και το χρονοδιακόπτη.

Αφού ολοκληρώθηκε και η διαδικασία ελέγχου του συστήματος, η εργασία ολοκληρώθηκε με την παρατήρηση αρκετών ημερών για την διεξαγωγή συμπερασμάτων υπό διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, με σκοπό την όσο την όσο δυνατόν καλύτερη και αντικειμενικότερη αξιολόγηση του υβριδικού συστήματος που εγκαταστάθηκε.

Η δομή της παρούσης εργασίας χωρίζεται σε 9 κεφάλαια και έχει ως εξής: στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η σχετική βιβλιογραφία αναλύοντας την αιολική και φωτοβολταϊκή τεχνολογία, δίνοντας τις βασικές έννοιες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και κατ' επέκταση και των υβριδικών συστημάτων. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρέχονται βασικές έννοιες για την ηλιακή γεωμετρία και την αιολική ενέργεια. Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιλαμβάνει την διαστασιοδότηση της εγκατάστασης όπου και παρουσιάζονται τα βήματα της μελέτης. Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον υπολογισμό των καλωδίων (διατομή αγωγών) και την επιλογή των κατάλληλων ασφαλειών. Στα κεφάλαια 5, 6 και 7 γίνεται αναφορά σε γενικές γνώσεις και στον τρόπο επιλογής των συσσωρευτών, του μετατροπέα και του ρυθμιστή φόρτισης των συσσωρευτών. Στο 8ο κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική παρουσίαση της εγκατάστασης με αρκετό φωτογραφικό υλικό και τέλος, στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο διεξάγονται τα συμπεράσματα από την μελέτη και την εγκατάσταση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

#### 1.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

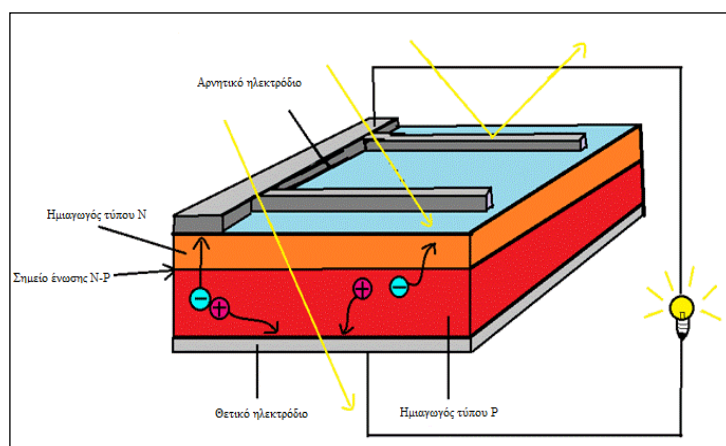
Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο συνίσταται στη μετατροπή της ενέργειας που αποδίδουν τα φωτόνια του φωτός που προσπίπτουν σε ημιαγωγικά υλικά (επεξεργασμένα με κατάλληλο τρόπο) σε ηλεκτρική ενέργεια ικανή να ωθήσει τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται σε ένα κύκλωμα, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ειδική επεξεργασία του αγωγού είναι απαραίτητη, καθώς σε αντίθετη περίπτωση, η ενέργεια που εκχωρούν τα φωτόνια που προσπίπτουν στα ηλεκτρόνια του προαναφερθέντος υλικού θα μετατρέπονταν σε άχρηστη θερμότητα μετά από μερικές συγκρούσεις των ηλεκτρονίων κατά την κίνησή τους μέσα στα άτομα.

Για να ευνοηθεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο εισάγονται στο ημιαγωγικό υλικό χημικά στοιχεία που βοηθούν στην δημιουργία πλεονάσματος ηλεκτρονίων και οπών, διαδικασία που αποκαλείται πρόσμιξη. Τα χημικά στοιχεία που βοηθούν στη πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας ονομάζονται στοιχεία πρόσμιξης.

Ένα καλό στοιχείο πρόσμιξης για το πυρίτιο (σύμβολο Si, με ατομικό αριθμό 14) που είναι ημιαγωγός με 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα είναι το βόριο (σύμβολο B, με ατομικό αριθμό 5), το οποίο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο από ότι το πυρίτιο. Επομένως, κάθε άτομο βορίου που ενώνεται με ένα άτομο πυριτίου, θα αφήσει κάποιο κενό στο σημείο που θα έπρεπε να υπάρχει άλλο ηλεκτρόνιο. Αυτή η δομή αποκαλείται ημιαγωγός τύπου P (θετικός).

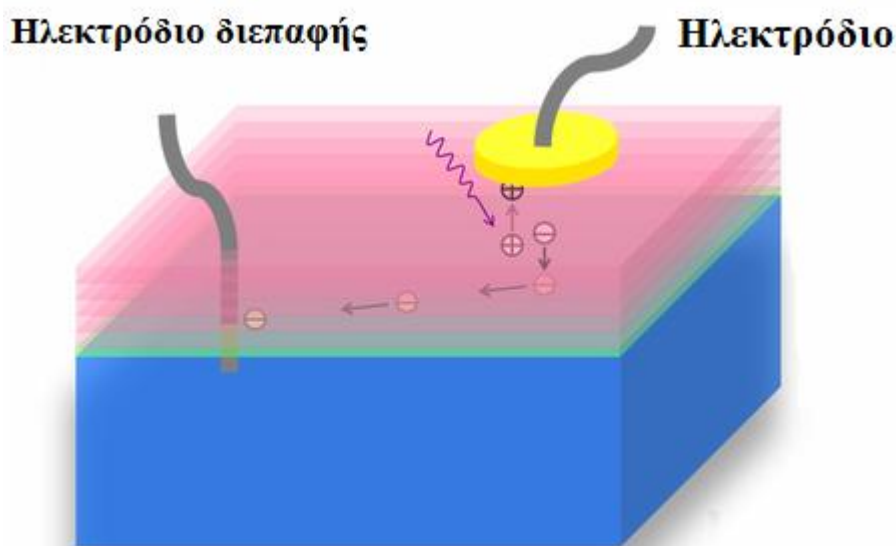
Άλλο στοιχείο πρόσμιξης για το πυρίτιο είναι ο φώσφορος (σύμβολο P, με ατομικό αριθμό 15). Καθώς διαθέτει ένα περισσότερο ηλεκτρόνιο δεσμού από το πυρίτιο, στην αντικατάσταση ενός ατόμου του πυριτίου από άλλο του φωσφόρου στο κρυσταλλικό πλέγμα, το πλεονάζον ηλεκτρόνιο μένει ελεύθερο και ο ημιαγωγός αποκαλείται τύπου N (αρνητικός). Παρόλα αυτά, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο του κρυστάλλου εξακολουθεί να είναι μηδενικό διότι κάθε άτομο έχει τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια εξισορροπούνται τα φορτία του.



(Εικόνα 1.1) Σχήμα μιας ένωσης ημιαγωγού τύπου N με ημιαγωγό τύπου P

Αν ενωθεί ένας ημιαγωγός τύπου P με κάποιον ημιαγωγό τύπου N, στην περιοχή της ένωσης κάποια από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της περιοχής N θα διαχυθούν στη ζώνη P, διασχίζοντας το όριο και τοποθετούμενα στα ελευθερωμένα κενά. Έτσι η πιο κοντινή περιοχή στο όριο θα μείνει με αρνητικό φορτίο στον ημιαγωγό P και θετικό φορτίο στον N. Με αυτή τη διαδικασία, θα σχηματιστεί μια ένωση P-N όπου το ηλεκτρικό πεδίο που θα δημιουργηθεί, χάρη στο πέρασμα των φορτίων, θα δημιουργήσει ένα φράγμα δυναμικού που δεν επιτρέπει να συνεχίζεται επ' αόριστο η διαδικασία της διάχυσης των ηλεκτρονίων.

Στην περίπτωση πρόσπτωσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πάνω στην ημιαγώγιμη ένωση και εάν τα φωτόνια διαβιβάσουν την απαραίτητη ενέργεια στα ηλεκτρόνια ώστε αυτά να απελευθερωθούν, κάποια ηλεκτρόνια θα διασχίσουν το φράγμα δυναμικού και θα προωθηθούν έξω από τον ημιαγωγό. Εάν υπάρχει ένα εξωτερικό κύκλωμα, μέσω του οποίου να μπορούν να κυκλοφορήσουν, θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Τα παραπάνω ηλεκτρόνια, αφού διαπεράσουν το εξωτερικό κύκλωμα, θα μπουν εκ νέου στη ημιαγώγιμη ένωση από την άλλη πλευρά.



(Εικόνα 1.2) Παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρονίων σε μια ημιαγώγιμη ένωση

Δεν είναι όλα τα φωτόνια που προσπίπτουν ικανά να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια και να παράγουν ηλεκτρισμό, εξαιτίας του ότι κάποια μήκη κύματος είναι πιο κατάλληλα από άλλα, ανάλογα με τον τύπο του ημιαγώγιμου υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένη η ένωση.

Η φασματική απόκριση αποτελεί ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας κάποιου συγκεκριμένου ημιαγώγιμου υλικού να μετατρέπει τη φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική, σε καθορισμένο μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για παράδειγμα σε μια κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου, η αποτελεσματικότητα κατά την μετατροπή είναι εξαιρετική για μήκη κύματος από 350 έως 1100 nm.

Επειδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που φτάνει στη Γη σχηματίζεται από φωτόνια διαφορετικού μήκους κύματος εντός μιας ευρείας περιοχής, η απόδοση της μετατροπής είναι η συμβολή της φασματικής απόκρισης για κάθε μήκος κύματος, δίνοντας ένα συνολικό αποτέλεσμα για κάθε υλικό που χρησιμοποιείται.

Η κβαντική φυσική δίνει ως μέγιστη θεωρητική απόδοση στο κύτταρο του πυριτίου το 23% περίπου (τιμή που προσεγγίζει την απόδοση σε συνθήκες εργαστηρίου) παρόλο, που όταν πρόκειται για εμπορικές κυψέλες κατασκευασμένες με βιομηχανικές διαδικασίες, η παραπάνω τιμή δεν ξεπερνά συνήθως το 20%.

## 1.2 Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων

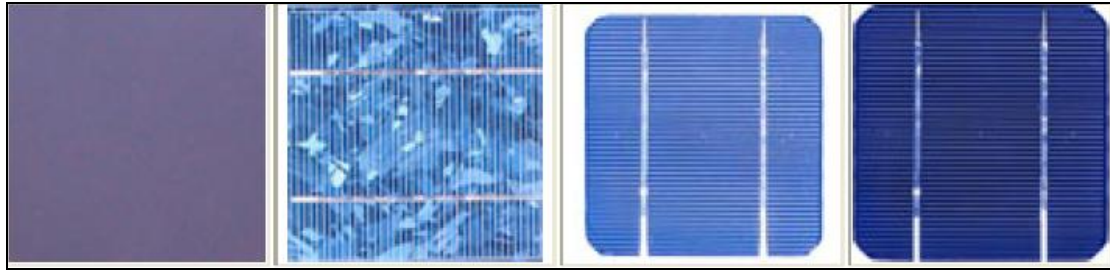
Τα Φ/Β πλαίσια έχουν τετραγωνικό ή ορθογώνιο σχήμα, με περιοχές που κυμαίνονται στα 0,05 m<sup>2</sup> έως 1,6 m<sup>2</sup> περίπου. Το συνολικό τους πάχος, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το προστατευτικό πλαίσιο δεν ξεπερνά συνήθως τα 4 cm. Το βάρος τους κυμαίνεται περίπου στα 14 kg/m<sup>2</sup> και διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

Πάνελ λεπτού υμενίου (thin film): Πρόκειται για μια ευρύτερη κατηγορία, που περιλαμβάνει τα λεγόμενα πάνελ «τρίτης γενιάς» που προέρχονται από πολλές διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και επεξεργασίας (π.χ. άμορφου πυριτίου (a-Si), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS), Τελουριούχου Καδμίου (CdTe), Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs), κλπ). Τα πάνελ άμορφου πυριτίου που είναι και τα πλέον διαδεδομένα αυτής της κατηγορίας (Εικόνα 3α), αποτελούνται από ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως από γυαλί ή αλουμίνιο. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για τα πάνελ αυτής της κατηγορίας είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το βασικό μειονέκτημα τους είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, το οποίο σημαίνει πως για την ίδια ενέργεια χρειάζεται σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ: Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί σε λεπτά τμήματα (Εικόνα 1.3β), από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλοποιημένου πυριτίου (το λιωμένο πυρίτιο χύνεται σε καλούπι και στη συνέχεια τεμαχίζεται σε κυψέλες). Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών για αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη ενώ η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως και 16%.

Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ: Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα μόνο μεγάλο κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Η κατασκευή τους είναι πιο πολύπλοκη, με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος παραγωγής (Εικόνα 1.3γ). Χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή “ενεργειακής πυκνότητας”. Από την άλλη πλευρά, το κόστος κατασκευής τους είναι υψηλό σε σχέση με αυτό των πολυκρυσταλλικών.

Υβριδικά πάνελ: Είναι τα πάνελ που συνδυάζουν περισσότερες από μία από τις γνωστές τεχνολογίες (π.χ. συνδυασμός άμορφου και μονοκρυσταλλικού πυριτίου, βλ. Εικόνα 1.3δ). Στην αγορά, τα πιο διαδεδομένα πάνελ αυτής της κατηγορίας είναι κατασκευασμένα από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου γύρω από μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



(Εικόνα 1.3) Από αριστερά προς τα δεξιά παρουσίαση δειγμάτων κυψελών. α) δείγμα λεπτού υμενίου. β) δείγμα πολυκρυσταλλικής κυψέλης. γ) δείγμα μονοκρυσταλλικής κυψέλης. δ) δείγμα υβριδικής κυψέλης.

(Πίνακας 1.1) Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

<b>ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ</b>				
<b>Τύπος</b>	<b>Λεπτού υμενίου (Thin Film)</b>	<b>Πολυκρυσταλλικά</b>	<b>Μονοκρυσταλλικά</b>	<b>Υβριδικά</b>
<b>Απόδοση</b>	Άμορφα: 5-7% CIS: 7-10% CdTe: 8-10%	11-14%	13-16%	16-18%
<b>Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kW<sub>p</sub></b>	10-20m <sup>2</sup>	8-10m <sup>2</sup>	7-8m <sup>2</sup>	6-7m <sup>2</sup>
<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kW<sub>p</sub>)</b>	1300-1400	1300	1300	1350
<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m<sup>2</sup>)</b>	65-140	130-160	160-185	190-225
<b>Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO<sub>2</sub> ανά kW<sub>p</sub>)</b>	1380-1485	1380	1380	1435

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται ορισμένα συγκριτικά στοιχεία σε σχέση με τις επιδόσεις των παραπάνω τύπων ΦΒ. Είναι σκόπιμο να σημειωθεί ότι η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kW<sub>p</sub>) και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m<sup>2</sup>), που αναφέρονται στο παραπάνω πίνακα είναι ενδεικτικά και ισχύουν για μια μέση τιμή στην Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση.

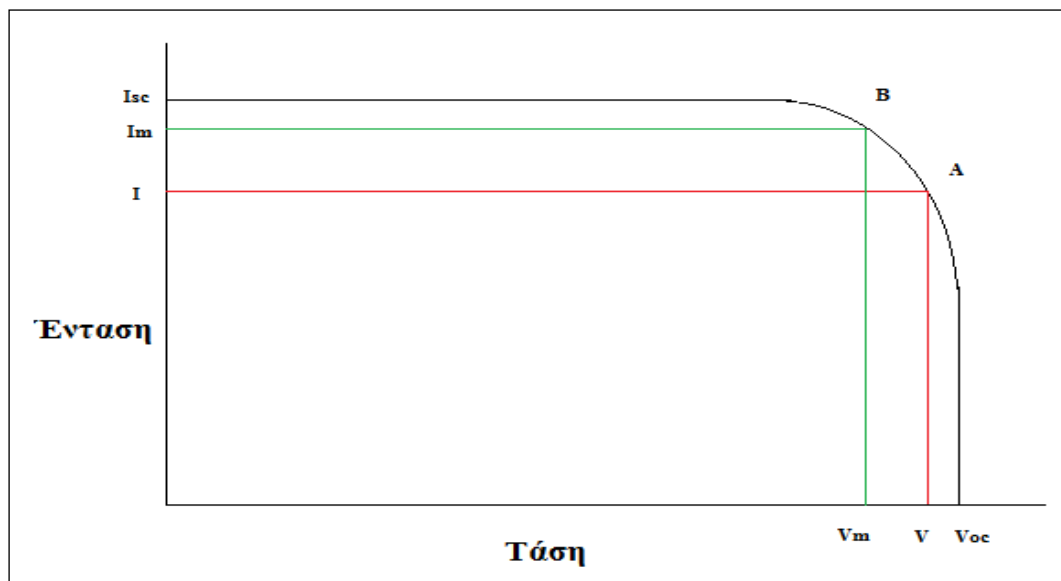
### 1.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου

Η συμπεριφορά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία καθορίζεται από τις κυψέλες που το απαρτίζουν και περιγράφεται με κάποια σειρά από χαρακτηριστικές παραμέτρους, όπως:

- Ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ). Είναι η μεγαλύτερη ένταση που μπορεί να ανακτηθεί από ένα Φ/Β πλαίσιο σε συγκεκριμένες. Θεωρητικά είναι το ρεύμα που προκύπτει στους πόλους ενός Φ/Β πλαισίου, μετρημένο με ένα αμπερόμετρο, αν προκαλούνταν βραχυκύκλωμα. Προφανώς, αν δεν υπάρχει αντίσταση κατά το πέρασμα του ρεύματος, η πτώση της τάσης θα είναι μηδενική.
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ). Είναι η μέγιστη τάση που θα μπορούσε να μετρηθεί με ένα βολτόμετρο, χωρίς να επιτρέπει να περάσει ρεύμα μεταξύ των πόλων ενός Φ/Β πλαισίου, σε ανοιχτό κύκλωμα δηλαδή. Σ' αυτή την περίπτωση η αντίσταση μεταξύ των άκρων είναι άπειρη.

- Ρεύμα ( $I$ ) μιας συγκεκριμένης τάσης ( $V$ ). Είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που κυκλοφορεί δια μέσου ενός εξωτερικού κυκλώματος που ενώνει τους πόλους του πλαισίου όταν η διαφορά της τάσης μεταξύ τους είναι  $V$ .
- Μέγιστη ισχύς ( $P_{max}$ ). Επειδή η ισχύς είναι το γινόμενο της τάσης και της έντασης, θα είναι μέγιστη μόνο για ένα συνδυασμό των τιμών  $I$  και  $V$ . Ένα Φ/Β στοιχείο παρέχει την μέγιστη ισχύ όταν η αντίσταση του εξωτερικού κυκλώματος είναι τέτοια που να ορίζει τιμές  $I_{mp}$  και  $V_{mp}$  έτσι ώστε το γινόμενο τους να είναι το μέγιστο.
- Συνολική απόδοση του Φ/Β πλαισίου. Είναι ο λόγος της παραχθείσας ηλεκτρικής ισχύος προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο πλαίσιο.
- Παράγοντας πλήρωσης ( $FF$ ). Είναι μια θεωρητική έννοια που εξυπηρετεί στη μέτρηση του σχήματος της καμπύλης που ορίζουν οι μεταβλητές  $I$  και  $V$  και ορίζεται ως εξής:

$FF = \frac{P_{\max}}{(I_{sc}V_{oc})} = \frac{I_{\max}V_{\max}}{(I_{sc}V_{oc})}$	1.1
--	-----



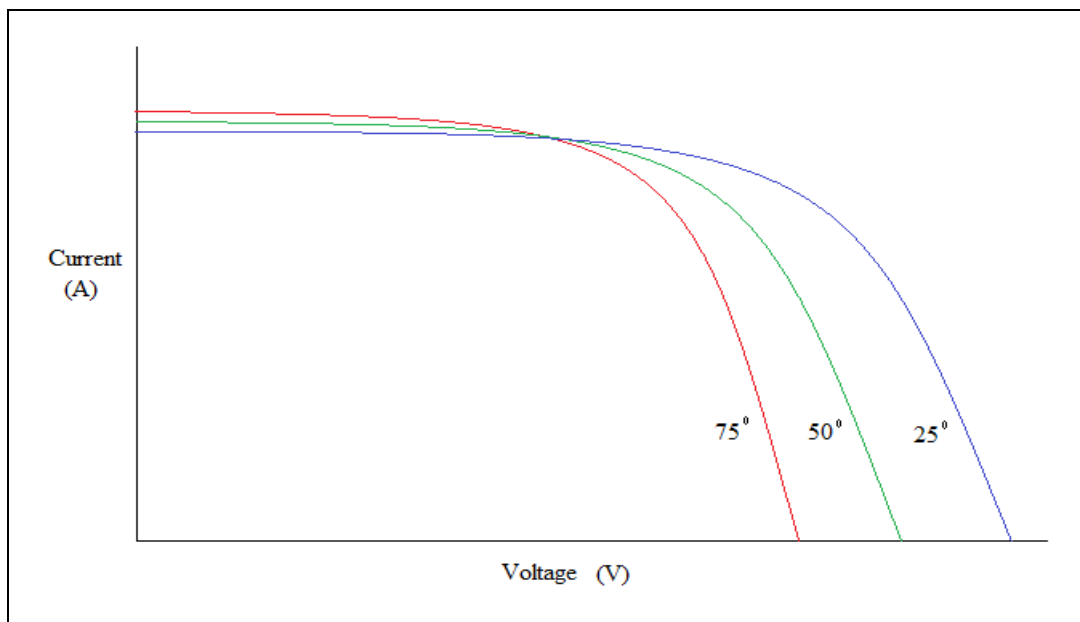
(Εικόνα 1.4) Τυπική καμπύλη I-V ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το σημείο A είναι ένα οποιοδήποτε σημείο της καμπύλης που αναπαριστά τη λειτουργία του πλαισίου που παρέχει μια ένταση  $I$  με διαφορά δυναμικού  $V$  στα άκρα του. Η παρεχόμενη από το πλαίσιο ισχύς θα είναι  $I \cdot V$ , που γραφικά συμπίπτει με το εμβαδό του ορθογωνίου του οποίου η ανώτατη δεξιά κορυφή είναι το σημείο A.

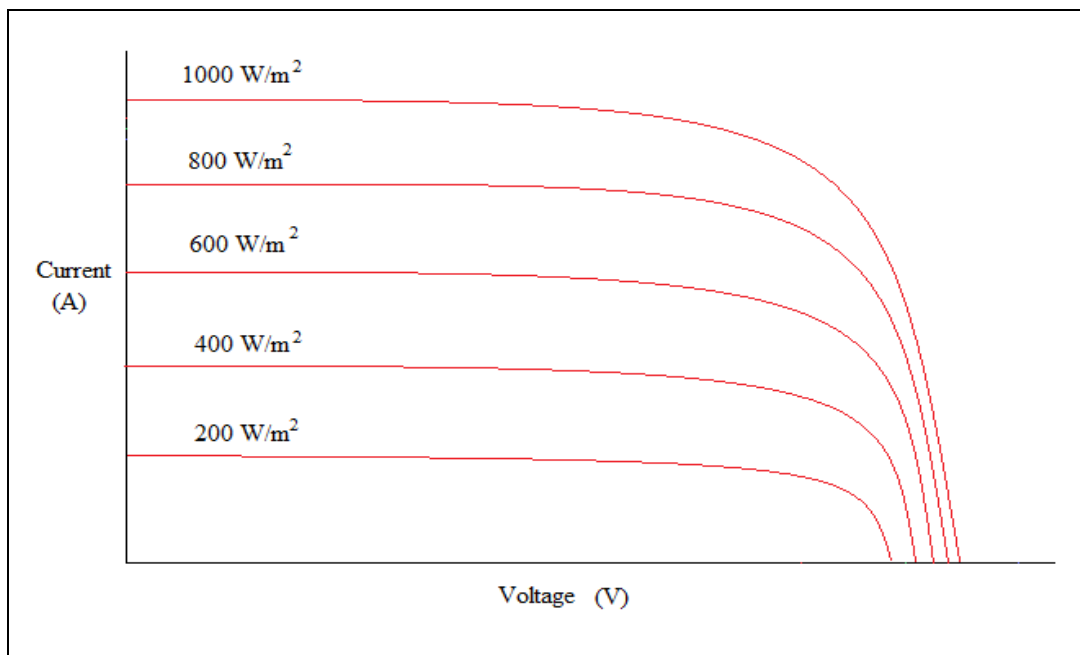
Καθώς μετατοπίζεται το σημείο A προς τα δεξιά, φαίνεται πως το εμβαδό του ορθογωνίου, κατά τη απότομη μείωση του  $I$ , γίνεται κάθε φορά και πιο μικρό. Μια

παρόμοια κατάσταση θα προκύψει αν το παραπάνω σημείο μετακινηθεί προς τα αριστερά, καθώς, σ' αυτή την περίπτωση, αυτό που ελαττώνεται είναι η τιμή του  $V$ . Θα υπάρξει επομένως ένα ενδιάμεσο σημείο B στο οποίο το εμβαδό του ορθογωνίου θα είναι το μέγιστο δυνατό. Αυτό το σημείο είναι το σημείο της μέγιστης ισχύος. Ο παράγοντας πλήρωσης είναι ο λόγος του εμβαδού του ορθογωνίου που ορίζεται από το σημείο B προς το εμβαδό που ορίζεται από το εξωτερικό της καμπύλης των πλευρών  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$ .

Τα παρακάτω διαγράμματα, περιγράφουν τη λειτουργία των πάνελ σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας:



(Εικόνα 1.5) Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V σε διάφορες θερμοκρασίες



(Εικόνα 1.6) Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V για διάφορες τιμές ακτινοβολίας

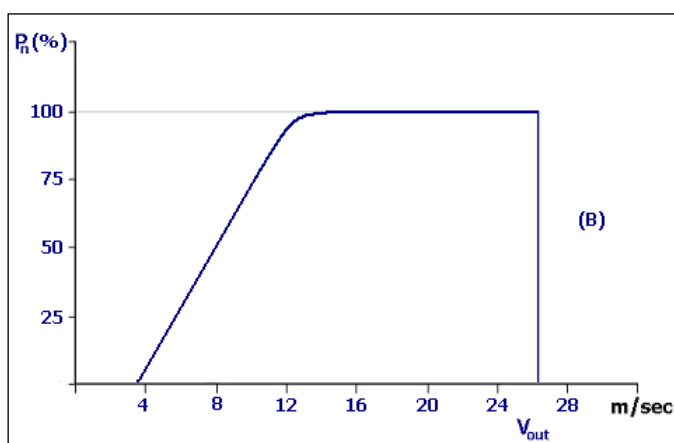
## 1.4 Ανεμογεννήτριες

Η αιολική ενέργεια, σύμφωνα με τις υφιστάμενες τεχνολογίες, αποτελεί την προσφορότερη για χρήση ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Ειδικότερα, η χρήση αιολικών ηλεκτρικών μηχανών δίνει την δυνατότητα άμεσης μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ισχύ προς κατανάλωση.

Η παραγόμενη από τον άνεμο ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτόνομα «μικρά συστήματα», όπως ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων κατοικιών ή οικισμών. Στην περίπτωση αυτή προκύπτει η ανάγκη είτε αποθήκευσης, η οποία γίνεται δυσκολότερη όσο μεγαλύτερη είναι η προς αποθήκευση ηλεκτρική ισχύς, είτε συνεργασίας με συμβατικές πηγές ενέργειας. Συνηθέστερα όμως η παραγόμενη από τον άνεμο ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται απ' ευθείας στο υφιστάμενο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ), δεδομένου ότι στις ανεπτυγμένες τουλάχιστον χώρες, τα αντίστοιχα ΣΗΕ καλύπτουν με το δίκτυο τους το σύνολο των γεωγραφικών περιοχών.

## 1.5 Τύποι ανεμογεννητριών

Υπάρχουν δύο τύποι ανεμογεννητριών, οριζόντιου και κάθετου άξονα, με αυτές του οριζόντιου άξονα να είναι οι πιο διαδεδομένες αυτή τη στιγμή στον κόσμο. Η ονομαστική ισχύς μίας ανεμογεννήτριας έχει εύρος από μερικές δεκάδες Watt μέχρι 15 MW σήμερα, ανάλογα με το μέγεθος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε συσκευής. Κάθε ανεμογεννήτρια έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας-ισχύος (Εικόνα 1,7) που φανερώνει τη σχέση μεταξύ της παραγόμενης ενέργειας και της ταχύτητας του ανέμου για κάθε τύπο ανεμογεννήτριας. Η καμπύλη αυτή εξαρτάται από διάφορες ιδιότητες της ανεμογεννήτριας όπως η επιφάνεια σάρωσης της φτερωτής, η αεροδυναμική και οι αποδόσεις των κιβωτίων ταχυτήτων και της μηχανής.



(Εικόνα 1.7) Χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας-ισχύος A/Γ

## 1.6 Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα

Λόγω της συμμετρίας περιστροφής του δρομέα, αυτός ο τύπος μηχανών δεν χρειάζεται σύστημα προσανατολισμού, πράγμα που επιτρέπει την πρόσληψη ανέμων από όλες τις κατευθύνσεις. Επιπλέον η γεννήτρια είναι τοποθετημένη στο έδαφος, κάτι που επιφέρει λιγότερες δυσκολίες όποτε χρειάζεται να γίνουν εργασίες



συντήρησης της μηχανής. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, όπως οι τύπου Darrieus, Savonius και H-rotor.

Η ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus, όπως αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1.8), είναι ο πιο αποδοτικός τύπος ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα και επιτρέπει την εκμετάλλευση υψηλών ταχυτήτων ανέμου από μια μεγάλη ποικιλία, χωρίς τη βοήθεια μηχανισμών ρύθμισης και ελέγχου, καθώς κάθε τμήμα της μηχανής διαθέτει ένα όριο ισχύος, που εξαρτάται από τις απώλειες που εμφανίζονται στα πτερύγια.



(Εικόνα 1.8) Α/Γ καθέτου άξονα τύπου DARRIEUS

Αυτός ο τύπος μηχανών παρουσιάζει μια σειρά μειονεκτημάτων σε σχέση με τις αντίστοιχες οριζοντίου άξονα, ανάμεσα στα οποία μπορούν να παρατεθούν τα ακόλουθα:

- Χρειάζεται ένα σύστημα εκκίνησης, καθώς η αεροδυναμική και η συμμετρία των πτερυγίων του, δεν επιτρέπει τη χρήση μηχανισμού αυτόματης εκκίνησης.
- Για θέσεις εγκατάστασης των οποίων το δυναμικό κυμαίνεται από 1800 έως 2500 kWh/kW τον χρόνο, έχει αποδειχθεί ότι σε αντίστοιχη εγκατεστημένη ισχύ, ανάμεσα στο μοντέλο καθέτου άξονα και σε αυτό του οριζοντίου, ο πρώτος παράγει τη μίση ηλεκτρική ενέργεια, για αυτό και ο συγκεκριμένος τύπος μηχανών δεν έχει μεγάλη εφαρμογή.

Ωστόσο, παρουσιάζουν μεγαλύτερο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον, ενώ είναι πιθανό να είναι πιο αποτελεσματικές στο αστικό περιβάλλον, καθώς έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται ανέμους διαφορετικών κατευθύνσεων.

## 1.7 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Ονομάζονται έτσι γιατί ο δρομέας τους παραμένει σε οριζόντια θέση σε σχέση με το έδαφος και είναι δυνατή η διάκριση δυο τύπων ανεμογεννητριών, σύμφωνα με την ταχύτητα περιστροφής των δρομέων τους: οι αργές μηχανές και οι γρήγορες, οι τελευταίες είναι εκείνες που συνδέονται στο δίκτυο. Επίσης η ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες.

- Σύγχρονες: Αυτές οι γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής ενώ η διέγερσή τους τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα.
- Ασύγχρονες: Οι γεννήτριες αυτές παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα του οποίου η συχνότητα είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής και η διέγερση τους τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα.



(Εικόνα 1.9) Α/Γ καθέτου και οριζοντίου άξονα

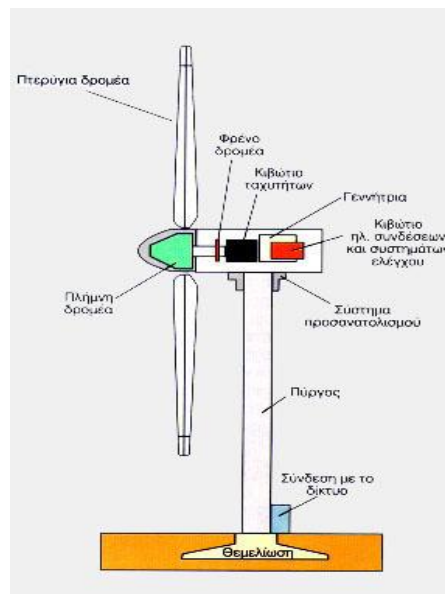
## 1.8 Μέρη ανεμογεννήτριας

Μια ανεμογεννήτρια αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω μέρη:

- Ανεμόμετρο: Μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταβιβάζει τα ανεμολογικά δεδομένα σε έναν ελεγκτή.
- Πτερύγια: Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Ο άνεμος πάνω στα πτερύγια δημιουργεί άνωση που έχει σαν αποτέλεσμα μια ροπή γύρω από τον άξονα περιστροφής και αναγκάζει τα πτερύγια να περιστρέφονται.
- Φρένο: Είναι συνήθως ένα δισκόφρενο το οποίο μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά για να σταματήσει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης.

- Ελεγκτής: Ο ελεγκτής ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 13-26 χιλιόμετρα την ώρα και κλείνει τη μηχανή περίπου στα 105 χιλιόμετρα την ώρα. Οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 105 χιλιόμετρα την ώρα γιατί οι γεννήτριές τους μπορούν να υπερθερμανθούν ή και τα πτερύγια τους να σπάσουν.
- Κιβώτιο ταχυτήτων: Οι ταχύτητες συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από τις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές ανά λεπτό. Η ταχύτητα περιστροφής απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Γεννήτρια: Συνήθως παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 50 Hz.
- Άξονας υψηλής ταχύτητας: Είναι ο άξονας που οδηγεί τη γεννήτρια.
- Άξονας χαμηλής ταχύτητας: Ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας περίπου στις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό.
- Ρότορας: Αποτελείται από συνήθως 2 ή 3 πτερύγια που έχουν σχεδιαστεί να δεσμεύουν το μέγιστο της ενέργειας του ανέμου. Όταν τα πτερύγια γυρίζουν από τον άνεμο, κινούν ένα άξονα συνδεδεμένο με μια γεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι μικρές ανεμογεννήτριες αποτελούνται συνήθως από λίγα κινούμενα μέρη και έχουν στιβαρό σχεδιασμό ώστε να χρησιμοποιούνται και σε μέρη όπου η συντήρηση είναι δύσκολη και ακριβή.
- Κέλυφος: Ο ρότορας συνδέεται με το κέλυφος, το οποίο βρίσκεται πάνω απ' τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη εντός του κελύφους. Μερικά κελύφη είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ένας τεχνικός να κάθεται όρθιος μέσα σε αυτό ενώ δουλεύει.
- Πύργος: Ο πύργος στηρίζει όλη την κατασκευή. Οι πύργοι είναι συνήθως μεταλλικές (χαλύβδινες) σωληνωτές κατασκευές ή δικτυώματα (όπως οι πυλώνες της ΔΕΗ). Μερικοί πύργοι αποτελούνται από σκυρόδεμα. Για μικρά οικιακά συστήματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικροί πύργοι ύψους 4-6 μέτρων ώστε να είναι εύκολη η συντήρηση και η μεταφορά. Για μεγαλύτερη ισχύος συστήματα, όπως για σχολεία σε αγροτικές περιοχές, το ελάχιστο ύψος του πύργου θα πρέπει να είναι γύρω στα 18 μέτρα.
- Ελεγκτής φορτίου: Ελέγχει τη φόρτιση της μπαταρίας από την ανεμογεννήτρια. Πρόσθετα στον πύργο και την ανεμογεννήτρια, είναι απαραίτητο να υπάρχει θεμέλιο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επιπλέον, πρέπει να εγκατασταθούν καλώδια για τη μεταφορά του ηλεκτρισμού από τη γεννήτρια στα ηλεκτρονικά, καθώς και ένας διακόπτης ασφαλείας ο οποίος θα εξασφαλίζει ότι η ηλεκτρική έξοδος είναι απομονωμένη από τα ηλεκτρονικά. Από τη στιγμή που το σύστημα δεν παρέχει σταθερή ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μπαταρία για την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας που παράγεται σε περιόδους αιχμής. Αυτή η ενέργεια μπορεί να

χρησιμοποιηθεί σε περιόδους με χαμηλή ένταση ανέμου. Οι περισσότερες οικιακές συσκευές χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα, γι' αυτό συνήθως προστίθενται στο σύστημα μετατροπείς συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα.



(Εικόνα 1.10) Μέρη Α/Γ καθέτου άξονα

## 1.9 Μικρές ανεμογεννήτριες οικιακής χρήσης

Οι ανεμογεννήτριες για οικιακή χρήση τυπικά κυμαίνονται από 300 W μέχρι 10 kW. Γενικά, υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων μικρών ανεμογεννητριών: οι αυτόνομες μονάδες και οι διασυνδεδεμένες με το δίκτυο.

Αυτόνομα συστήματα: Οι μικρές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για να παράγουν ηλεκτρισμό για τη φόρτιση μπαταριών οι οποίες τροφοδοτούν μικρές ηλεκτρικές εφαρμογές. Τέτοιες ανάγκες υπάρχουν για παράδειγμα σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν είναι τεχνικά ή οικονομικά λογική η σύνδεση με το δίκτυο, όπως σε αγροκτήματα. Οι ηλεκτρικοί φράχτες, μικρές αντλίες, φωτισμός, συστήματα ασφαλείας είναι τυπικές εφαρμογές.

Διασυνδεδεμένα συστήματα: Η έξοδος μιας μικρής ανεμογεννήτριας μπορεί να συνδεθεί με το υπάρχον δίκτυο. Αυτό μπορεί να συμβεί και σε μία μόνη ανεμογεννήτρια και σε ένα αιολικό πάρκο. Η ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια του οικιακού παραγωγού μπορεί να μειώσει την ανάγκη του για αγορά ηλεκτρισμού από το τοπικό δίκτυο. Η αξία της ηλεκτρικής ενέργειας της οποίας αποφεύγεται η αγορά είναι συνήθως αρκετά μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να αποκτηθεί από τη πώληση ενέργειας στο δίκτυο. Η διασύνδεση με το δίκτυο διανομής πρέπει να πληροί υψηλές τεχνικές προδιαγραφές και γι' αυτό το κόστος ενσωμάτωσης του απαιτούμενου εξοπλισμού μέτρησης και ασφάλειας είναι υψηλό. Για μικρές ανεμογεννήτριες, το κόστος της σύνδεσης με το δίκτυο μπορεί να αποτελεί σεβαστό ποσοστό του συνολικού προϋπολογισμού.

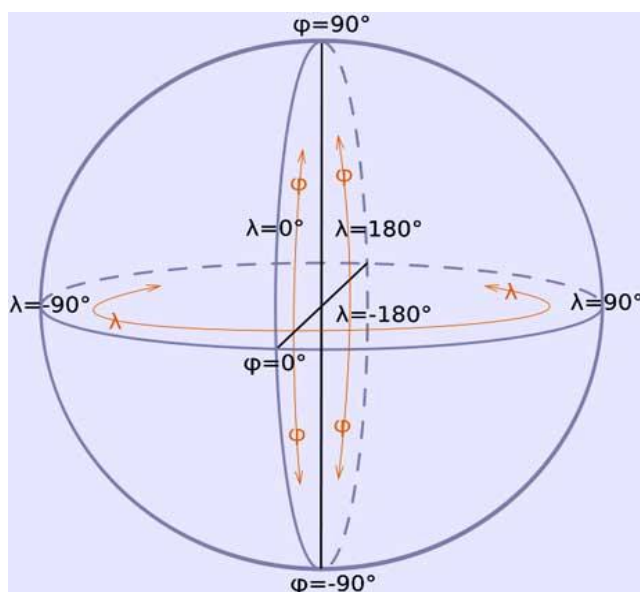
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια είναι ο πλέον βασικός παράγοντας κάθε μορφής ζωής στον πλανήτη γη. Η ενέργεια της ακτινοβολίας του ηλίου, η οποία προσπίπτει στην γη ισοδυναμεί κατά μέσο όρο με  $1,5 \cdot 10^{18}$  kWh ετησίως. Από αυτή την ενέργεια το 30% περίπου ανακλάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης, ενώ το 47% περίπου φθάνει μέχρι την επιφάνεια της γης. Το 23% περίπου συμβάλλει στη δημιουργία των ανέμων, των κυμάτων και γενικά ρυθμίζει το κλίμα της γης. Οι ωκεανοί απορροφούν το 33% της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης και η στεριά απορροφά το 14%. Το 0,2% της ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιείται από τα ρεύματα των ανέμων και των θαλασσών. Το 0,1% της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από τα φυτά.

#### 2.1 Γεωγραφικές συντεταγμένες

Γεωγραφικές συντεταγμένες είναι δύο μεγέθη με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων. Ως βάση των γεωγραφικών συντεταγμένων λαμβάνεται ο ισημερινός και ο πρώτος μεσημβρινός. Τις γεωγραφικές συντεταγμένες αποτελούν το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος.



(Εικόνα 2.1) Σχηματική παράσταση γεωγραφικών συντεταγμένων

Γεωγραφικό πλάτος ( $\phi$ ) ενός τόπου στην επιφάνεια της γης ονομάζεται το τόξο του μεσημβρινού που περικλείεται μεταξύ του ισημερινού και του παράλληλου του ίδιου του τόπου, ενώ Γεωγραφικό μήκος ( $\lambda$ ) ενός τόπου στην επιφάνεια της γης ονομάζεται το τόξο του ισημερινού που περικλείεται μεταξύ του πρώτου μεσημβρινού και του μεσημβρινού του ίδιου του τόπου.

## 2.2 Φυσική του ήλιου

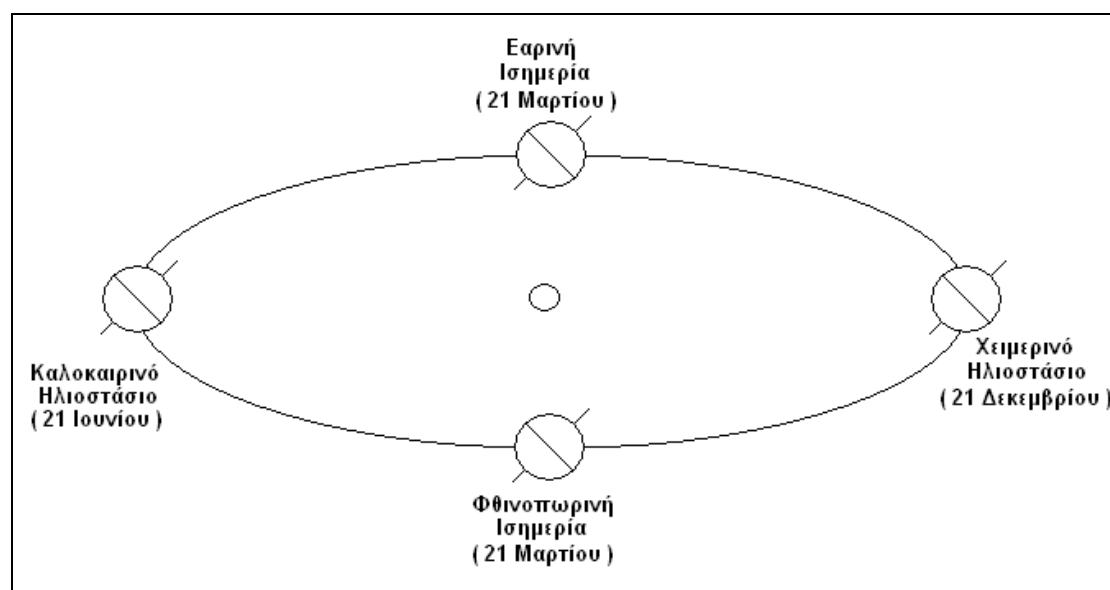
Είναι γνωστό ότι η γη περιστρέφεται ακολουθώντας ελλειπτική τροχιά γύρω από τον ήλιο, η οποία έχει διάρκεια 365,25 ημέρες. Η απόσταση της γης από τον ήλιο στην διάρκεια της τροχιάς της δίνεται σε χιλιόμετρα (km) από την ακόλουθη μαθηματική σχέση (2.1), όπου  $n$  είναι ο αριθμός της ημέρας μεταξύ των 365 συνολικά ( $n=1$  για την 1η Ιανουαρίου και  $n=365$  για την 31η Δεκεμβρίου).

$d = 1,5 \cdot 10^8 \cdot \left\{ 1 + 0,017 \left[ \frac{360 \cdot (n - 93)}{365} \right] \right\}$	2.1
---	-----

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο σχηματίζοντας ένα επίπεδο, ενώ ο άξονας περιστροφής της σχηματίζει γωνία  $23,45^\circ$  ως προς το συγκεκριμένο επίπεδο. Εν συνεχεία, λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της, μπορούν να θεωρηθούν τέσσερα (4) σημεία της τροχιάς, τα οποία αποτελούν τις ισημερίες και τα ηλιοστάσια, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2.2 και περιγράφεται στον ακόλουθο πίνακα (2.1).

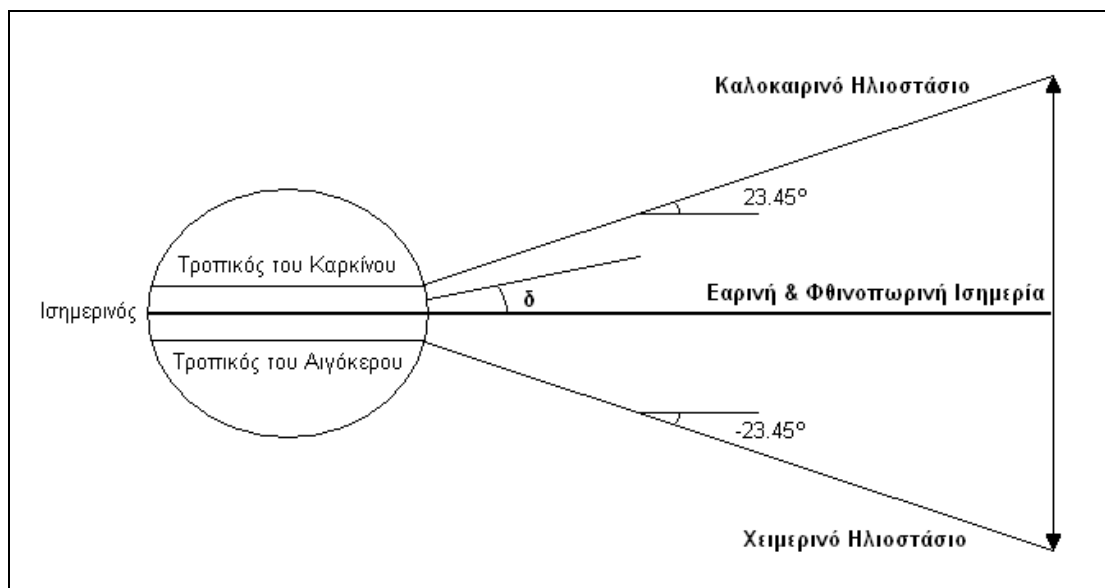
(Πίνακας 2.1) Ισημερίες και ηλιοστάσια

Ημέρα	Αριθμός Ημέρας	Περιγραφή
21 Μαρτίου	$n=80$	Εαρινή Ισημερία
21 Ιουνίου	$n=172$	Καλοκαιρινό ηλιοστάσιο
21 Σεπτεμβρίου	$n=264$	Φθινοπωρινή Ισημερία
21 Δεκεμβρίου	$n=355$	Χειμερινό ηλιοστάσιο



(Εικόνα 2.2) Περιστροφή της Γης ως προς τον Ήλιο

Ο ήλιος «ξεκινάει» την ημερήσια πορεία του από την ανατολή, φθάνει στο υψηλότερο σημείο το μεσημέρι και καταλήγει στη δύση. Το μέγιστο σημείο της ημερήσιας πορείας του ηλίου διαφοροποιείται από μέρα σε μέρα με μία ετήσια περιοδικότητα. Στην επόμενη εικόνα (2.2) παρουσιάζεται μία εναλλακτική απεικόνιση της τροχιάς της γης για την καλύτερη περιγραφή των αντίστοιχων γωνιών ύψους του ήλιου. Στο συγκεκριμένο σχήμα η γη θεωρείται σταθερή, ενώ ο ήλιος ακολουθεί μία εγκάρσια μετακίνηση διάρκειας ενός έτους.



(Εικόνα 2.3) Γωνίες Ύψους του Ήλιου το Ηλιακό Μεσημέρι

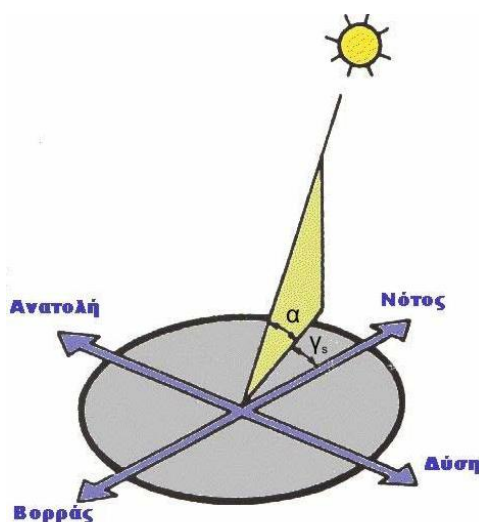
Ειδικότερα, στις 21 Ιουνίου (καλοκαιρινό ηλιοστάσιο) ο ήλιος φθάνει στο υψηλότερο σημείο του, σχηματίζοντας γωνία ίση με  $23,45^\circ$ . Στην συγκεκριμένη ημέρα, ο ήλιος βρίσκεται πάνω από τον τροπικό του Καρκίνου (γεωγραφικό πλάτος  $23,45^\circ$  Βόρειο). Αντίστοιχα, στις 21 Δεκεμβρίου, ο ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο του, σχηματίζοντας γωνία ίση με  $-23,45^\circ$  από τον ισημερινό, ενώ βρίσκεται πάνω από τον τροπικό του Αιγόκερου (γεωγραφικό πλάτος  $23,45^\circ$  Νότιο). Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ισημερινού και της ευθείας γραμμής που ενώνει το κέντρο του ήλιου με το κέντρο της γης, ονομάζεται ηλιακή απόκλιση  $\delta$ . Η ηλιακή απόκλιση μεταβάλλεται από  $-23,45^\circ$  έως  $23,45^\circ$  και περιγράφεται μαθηματικά με σχετικά ικανοποιητική ακρίβεια από μία απλή ημιτονοειδή συνάρτηση:

$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ \frac{360 \cdot (n - 81)}{365} \right]$	2.2
---	-----

### 2.3 Ύψος και αζιμούθιο ήλιου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό (Εικόνα 2.4) ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες: το ύψος του ήλιου  $\alpha$  και το αζιμούθιο του ήλιου  $\gamma_s$ . Το ύψος του ήλιου  $\alpha$  είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα. Αζιμούθιο  $\gamma_s$  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 τον 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.



(Εικόνα 2.4) Η θέση του ηλίου στον ουράνιο θόλο

Το ύψος  $\alpha$  του ήλιου, το οποίο ορίζεται ως η γωνία της ευθείας που ενώνει το σημείο παρατήρησης με τον ήλιο με το οριζόντιο επίπεδο, με τιμές από  $0^\circ$  έως  $\beta_N^\circ$  (ηλιακό μεσημέρι). Το ύψος  $\alpha$  του ήλιου για κάθε χρονική στιγμή υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\sin(\alpha) = \sin(L) \cdot \sin(\delta) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(H)$$

2.3

Όπου:

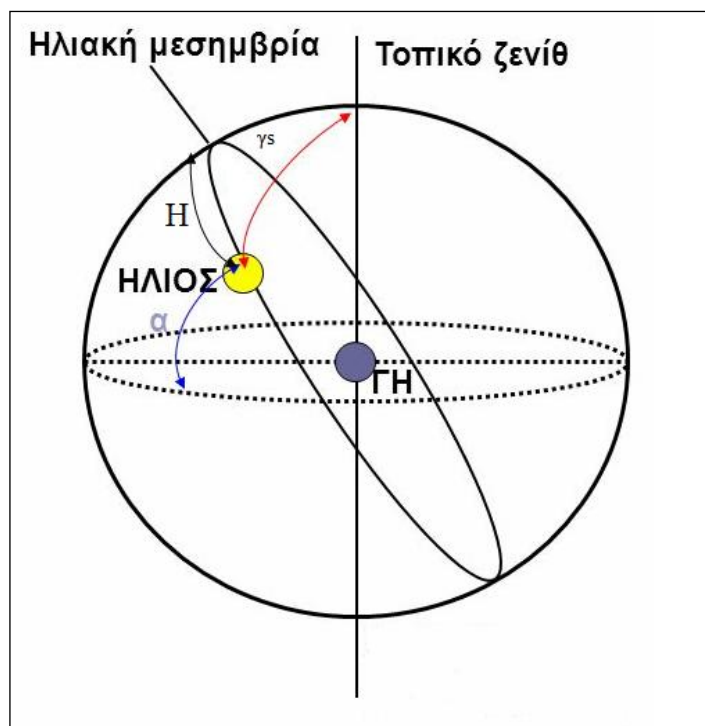
$L$ : είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής

$\delta$ : είναι η απόκλιση του ήλιου

$H$ : είναι η ωριαία γωνία του ήλιου την δεδομένη στιγμή

Ορίζεται ως ωριαία γωνία  $H$  του ηλίου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία η γωνία  $H$  είναι ίση με  $0^\circ$  ενώ κάθε ώρα η  $H$  μεταβάλλεται κατά  $15^\circ$ . Της πρωινές ώρες η  $H$  είναι αρνητική και κατά τις απογευματινές γίνεται θετική.





(Εικόνα 2.5) Σχήμα ωριαίας γωνίας του ηλίου

Το αζιμούθιο  $\gamma_s$  υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση και παίρνει τιμές από  $90^\circ$  (ανατολή) έως  $-90^\circ$  (δύση):

$\sin(\gamma_s) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(H)}{\cos(\alpha)}$	2.4
--	-----

Όπου:

$\alpha$ : ηλιακό ύψος

$\delta$ : είναι η απόκλιση του ήλιου

$H$ : είναι η ωριαία γωνία του ήλιου την δεδομένη στιγμή

Όπως περιγράφεται προηγούμενα, τόσο το ύψος  $\alpha$  όσο και το αζιμούθιο  $\gamma_s$ , εξαρτώνται άμεσα από το γεωγραφικό πλάτος, την ημέρα του έτους και την ώρα της ημέρας.

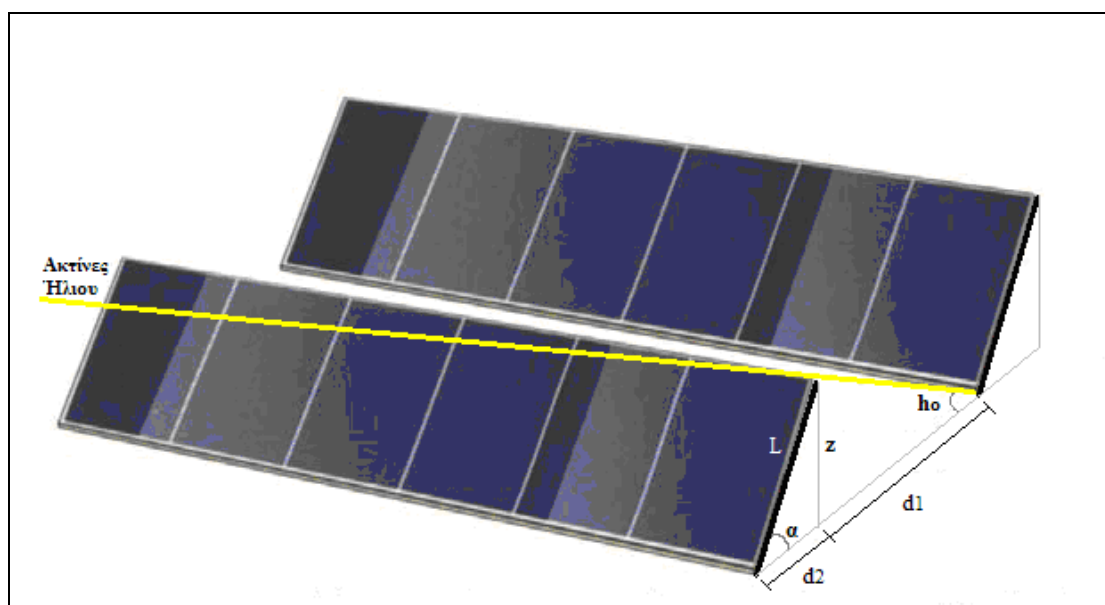
#### 2.4 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ Φ/Β πλαισίων

Η απόσταση μεταξύ δύο σειρών Φ/Β πλαισίων υπολογίζεται έτσι ώστε τις πιο δυσμενείς ημέρες (ελάχιστο ηλιακό ύψος) λειτουργίας τους, η μέγιστη προβολή της υψηλότερης άκρης της μιας σειράς, να φθάνει μέχρι την κάτω άκρη της επόμενης.

Για όλα τα συστήματα που χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, η πιο δυσμενής ημέρα είναι η 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου (Βόρειο ημισφαίριο). Τότε, το ηλιακό ύψος είναι το ελάχιστο δυνατό και έχει την παρακάτω τιμή κατά την ηλιακή μεσημβρία.

$h_0 = (90^\circ - \text{γεωγραφικό πλάτος περιοχής}) - 23,5^\circ$	2.5
---	-----

Το παρακάτω σχήμα (Εικόνα 2.6), δείχνει την ελάχιστη απόσταση  $d$ , μεταξύ δύο σειρών.



(Εικόνα 2.6) Ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο Φ/Β σειρών

$d = d_1 + d_2 = \frac{z}{\tan(h_o)} + \frac{z}{\tan(\alpha)} = L \frac{\sin(\alpha)}{\tan(h_o)} + L \frac{\sin(\alpha)}{\tan(\alpha)}$	2.6
---	-----

Επομένως, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των σειρών, είναι:

$d = L \left( \frac{\sin(\alpha)}{\tan(h_o)} + \cos(\alpha) \right)$	2.7
--	-----

Μεταξύ του Δεκεμβρίου και του πρώτου μισού του Ιανουαρίου, είναι συνηθισμένη η εμφάνιση σκιών από σειρές συλλεκτών πάνω σε άλλες σειρές (κυρίως τις πρωινές και απογευματινές ώρες), ακόμα και αν είναι τοποθετημένες σε απόσταση ασφαλείας, γεγονός όμως που δεν είναι και τόσο σημαντικό αφού η ηλιακή ακτινοβολία εκείνη την εποχή και εκείνες τις ώρες, δεν είναι μεγάλη. Παρόλα αυτά, εφόσον υπάρχει χώρος, συνίσταται η αύξηση της απόστασης μεταξύ δυο σειρών κατά 25%.

## 2.5 Αιολική ενέργεια

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ως ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις καθαρές πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου.

Η ταχύτητα του ανέμου σε ορισμένη θέση στο χώρο δεν παραμένει σταθερή με το χρόνο. Μεταβάλλεται και κατά μέγεθος και κατά διεύθυνση. Η μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου έχει ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργική απόδοση των αιολικών μηχανών αλλά και τον υπολογισμό της αντοχής των λόγω των εναλλασσόμενων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής.

Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το χρόνο για μια μεγάλη χρονική περίοδο περιέχει μεταβολές που οφείλονται σε εποχιακές διακυμάνσεις ταχύτητας, σε μεταβολές ταχύτητας που οφείλονται σε παροδικά κλιματολογικά συστήματα και σε μεταβολές ταχύτητας που οφείλονται στην ασταθή φύση της ροής. Η τελευταία έχει χαρακτηριστικές κλίμακες χρονικών μεταβολών μέχρι λίγων ωρών, ενώ οι μεταβολές ταχύτητας λόγω κλιματολογικών συστημάτων έχουν χρονική κλίμακα ημερών.

Κατά την μελέτη της καταλληλότητας μια περιοχής για την κατασκευή σε αυτή ενός αιολικού πάρκου, λαμβάνεται υπόψη κάθε παράμετρος που μπορεί να κάνει όσο το δυνατόν πιο σαφή την εικόνα του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Για το λόγο αυτό, με την λήψη μετρήσεων ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου, μπορεί να προσδιοριστεί η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου χρονικά και τοπικά, καθώς επίσης την τύρβη του ανέμου, την ενέργεια του αλλά και την κατανομή των ταχυτήτων του.

## 2.6 Χαρακτηριστικά Ανέμου

Οι παράμετροι που περιγράφουν ποιοτικά και ποσοτικά τον άνεμο και είναι αναγκαίες για τις μελέτες εκτίμησης της αποδιδόμενης ενέργειας, είναι:

- Η ταχύτητα
- Η διεύθυνση
- Η διακύμανση
- Ο στροβιλισμός
- Η μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος

Στην συνέχεια αναλύονται περαιτέρω οι προηγούμενες παράμετροι, προκειμένου να γίνει κατανοητή η επίδραση τους στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανέμου και στην τελική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ.

Η ταχύτητα του ανέμου ποικίλει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με την μορφολογία, εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία σε κάθε στιγμή της ημέρας, καθώς επίσης και από ατμοσφαιρικούς και φυσικούς παράγοντες. Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα έντονα μεταβλητό μέγεθος. Συνεπώς, είναι αναγκαίος ο ορισμός μίας μέσης τιμής, σύμφωνα με την απαιτούμενη κατά περίπτωση ακρίβεια.

## 2.7 Μέση Ταχύτητα Ανέμου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα έντονα μεταβαλλόμενο μέγεθος (στοχαστικό), το οποίο παρουσιάζει διακυμάνσεις σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Συνεπώς προκύπτει η ανάγκη περιγραφής της από την αντίστοιχη μέση τιμή για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Η μέση ταχύτητα του ανέμου για μία χρονική περίοδο  $T$ , δίνεται από:

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U'(t) dt$$

2.8

όπου  $U'(t)$  η στιγμιαία (μετρούμενη) τιμή της ταχύτητας του ανέμου κατά τη χρονική στιγμή  $t$ .



(Εικόνα 2.7) Ανεμόμετρο τύπου κυπέλου

Η μέτρηση της ταχύτητας πραγματοποιείται με την βοήθεια σύγχρονων ανεμόμετρων τύπου «κυπέλλου» ή «έλικας», όπου η ταχύτητα περιστροφής τους μετατρέπεται σε ανάλογη ηλεκτρική τάση στα άκρα μικρής κλίμακας γεννήτριας. Τα ανεμόμετρα υπολογίζουν την μέση ταχύτητα μέσω στατιστικής επεξεργασίας μεγάλου αριθμού καταγεγραμμένων στιγμιαίων τιμών για δεδομένα χρονικά διαστήματα (5-10min). Συνεπώς, στην περίπτωση κατά την οποία οι μετρήσεις της ταχύτητας πραγματοποιούνται ανά τακτικά (διακριτά) μικρά χρονικά διαστήματα η προηγούμενη σχέση (2.8) μετατρέπεται σε άθροισμα:

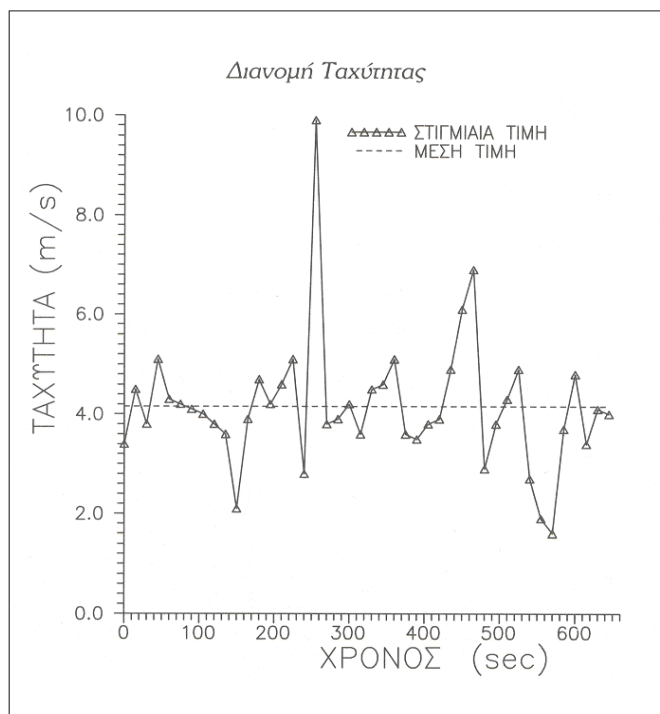
$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i)}{n}$$

2.9

όπου  $n$  ο αριθμός των διακριτών χρονικών διαστημάτων.

Τέλος, ως προς την ταχύτητα του ανέμου εισάγεται ο όρος της ριπής, η οποία ορίζει την απότομη και μικρής διάρκειας, μικρότερη του ενός λεπτού (< 20 sec), αύξηση της

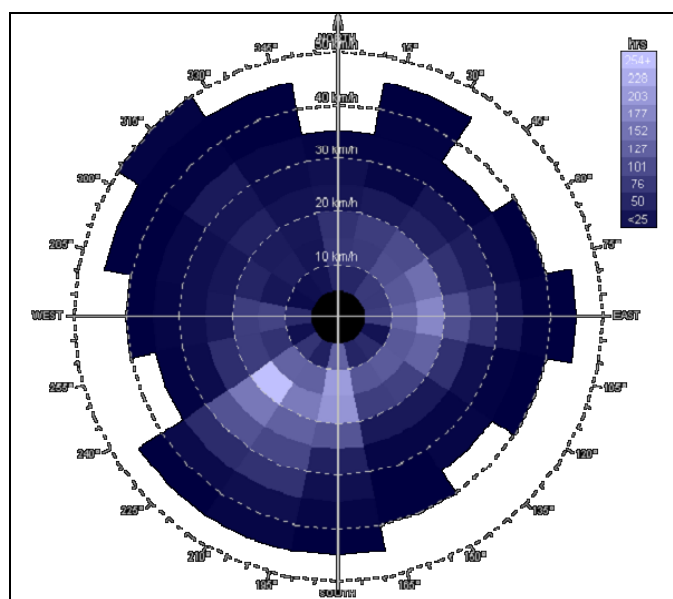
ταχύτητας πάνω από 9.3m/sec και με τουλάχιστον 4.6m/sec διαφορά από τα προηγούμενα επίπεδα ταχύτητας.



(Εικόνα 2.8) Διανομή ταχύτητας ανέμου

## 2.8 Διεύθυνση Ανέμου

Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζεται με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει και μεταβάλλεται διαρκώς γύρω από μία γεωγραφική θέση. Γενικά, η διεύθυνση του ανέμου εμφανίζει μικρότερη διακύμανση σε σχέση με το μέτρο της ταχύτητας του. Η καταγραφή των ποσοστιαίων συχνοτήτων των διευθύνσεων του ανέμου σε πολικό διάγραμμα συντεταγμένων ονομάζεται «Ροδόγραμμα» (Εικόνα 2.9), δίνοντας σημαντικές πληροφορίες για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανέμου.



(Εικόνα 2.9) Διάγραμμα διευθύνσεων ανέμου «Ροδόγραμμα»

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι, ως κύρια διεύθυνση ανέμου ορίζεται η διεύθυνση εκείνη, η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον το 10% της συνολικής διαθέσιμης αιολικής ενέργειας μίας περιοχής. Η κύρια διεύθυνση του ανέμου αλλάζει συχνά με τις διάφορες τοποθεσίες. Παράλληλα, ως επικρατούσα διεύθυνση ανέμου ορίζεται η διεύθυνση εκείνη, η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στην δεδομένη περιοχή. Αντίστοιχα, η επικρατούσα διεύθυνση αλλάζει συχνά με την εποχή.

Η περιοχή που είναι προσανατολισμένη προς το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει συχνότερα ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση ανέμου) χαρακτηρίζεται ως προσήνεμη, ενώ αντίθετα η περιοχή που είναι προστατευμένη από τον άνεμο χαρακτηρίζεται ως υπήνεμη.

## 2.9 Διακύμανση της Ταχύτητας

Η συνεχής μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου καθώς και η αντίστοιχη μεταβολή του ενεργειακού της περιεχομένου είναι δυνατό να περιγραφούν από την τύρβη, η οποία ορίζεται ως η απόκλιση της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου από τη μέση τιμή της για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα  $t$  και δίνεται από την σχέση:

$u(t) = U(t) - \bar{U}$	2.10
-------------------------	------

## 2.10 Στροβιλισμός ανέμου

Η ανατάραξη του ανέμου είναι αποτέλεσμα των τυχαίων στροβιλισμών που υπάρχουν σε κάθε τυρβώδες πεδίο ροής και ενισχύονται από την ύπαρξη διάφορων χαρακτηριστικών και την αντίστοιχη τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους. Η παρουσία εμποδίων κάτω από ορισμένες ανεμολογικές συνθήκες είναι δυνατόν να δημιουργήσουν οργανωμένους στροβίλους, οι οποίοι αλλοιώνουν συνολικά το πεδίο ταχύτητας του ανέμου. Ο στροβιλισμός των οργανωμένων στροβίλων επηρεάζει τόσο το περιεχόμενο της αιολικής ισχύος, όσο και την δυναμική της συμπεριφορά.

## 2.11 Η μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κίνηση και συνεπώς και την ταχύτητα του ανέμου είναι τα εμπόδια που βρίσκει στην κίνησή του. Καθώς η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε σχετική κίνηση με τη Γη στο κατώτερο τμήμα της λόγω του ιξώδους του αέρα δημιουργείται ένα στρώμα αέρα, το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα μέσα στο οποίο η σχετική ταχύτητα μεταβάλλεται από μηδέν πάνω στην επιφάνεια της Γης μέχρι τις μεγαλύτερες τιμές. Το ύψος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος δεν είναι σταθερό ούτε χρονικά ούτε τοπικά. Οι κυριότεροι παράγοντες που το επηρεάζουν είναι η μορφή της επιφάνειας της Γης (τραχύτητα εδάφους) και η ευστάθεια της ατμόσφαιρας.

Ανάλογα με το ύψος των εμποδίων που συναντά ο αέρας στην επιφάνεια, το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα μεταβάλλεται καθ' ύψος. Στην περίπτωση μια ήρεμης θαλάσσιας επιφάνειας η αντίσταση που συναντά ο αέρας είναι πολύ μικρή σε αντίθεση με μια δενδρόφυτη περιοχή ή με μια αστική περιοχή με ψηλά κτήρια όπου συναντά πολύ μεγάλη αντίσταση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την όλο και μεγαλύτερη

καθ' ύψος μετακίνηση του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος αποδίδεται με τον εκθετικό (2.11) και τον λογαριθμικό (2.12) νόμο.

$\frac{U_1}{U_2} = \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^a$	2.11
--	------

$\frac{U_1}{u} = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{z}{z_o} \right)$	2.12
--	------

Στις παραπάνω σχέσεις,  $U_1$  και  $U_2$  είναι οι οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου στα ύψη  $z_1$  και  $z_2$  αντίστοιχα,  $u$  είναι η ταχύτητα τριβής που αντιστοιχεί σε ύψος  $z$ ,  $a$  ο εκθέτης του εκθετικού νόμου,  $k$  είναι σταθερά ( $=0,4$ ) και  $z_o$  το μήκος τραχύτητας, το οποίο απεικονίζει το μέσο ύψος των ανωμαλιών του εδάφους.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι μεταξύ της παραμέτρου  $z_o$  και  $a$  ισχύει η σχέση 2.13, με τυπικές τιμές όπως παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα 2.2.

$z_o = 15,25 \cdot e^{-\frac{1}{a}}$	2.13
--------------------------------------	------

(Πίνακας 2.2) Ενδεικτικές τιμές για  $z_o$  και  $a$

<b>Είδος Εδάφους</b>	<b><math>z_o</math> (m)</b>	<b><math>a</math></b>
Θάλασσα	0,001	0,1
Χαμηλό χόρτο	0,01	0,13
Υψηλό χόρτο	0,1	0,19
Δάσος	1	0,24
Προάστια Πόλης	2	0,32

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σκοπός της διαστασιοδότησης ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος που αποτελείται από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά είναι ο υπολογισμός των στοιχείων που το απαρτίζουν (ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων και της ανεμογεννήτριας, χωρητικότητα της μπαταρίας, ισχύς του ρυθμιστή φόρτισης και του μετατροπέα – εφόσον γίνεται κατανάλωση AC, και εύρεση διατομών καλωδίων), έχοντας ως στόχο την εγγύηση αξιόπιστης παροχής ρεύματος και ελάχιστου κόστους με σκοπό την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών.

Γενικά η διαδικασία διαστασιοδότησης διαιρείται σε τέσσερα θεμελιώδη βήματα:

- Εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης ή αναγκών που πρέπει να καλυφθούν.
- Αξιολόγηση διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας.
- Αξιολόγηση διαθέσιμης αιολικής ενέργειας.
- Υπολογισμός και επιλογή των στοιχείων του συστήματος.

#### **3.1 Μελέτη των αναγκών που πρέπει να καλυφθούν και επιλογή κατάλληλων φορτίων.**

Το πρώτο βήμα για την διαστασιοδότηση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος είναι ο ακριβής προσδιορισμός των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να καλυφθούν. Γι' αυτό, είναι απαραίτητο να συλλεχθούν και να σημειωθούν όλα τα στοιχεία σχετικά με τις προβλεπόμενες χρήσεις, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μία πρώτη αξιολόγηση αυτών.

Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι ο μερικός φωτισμός του προαυλίου του ΤΕΙ κατά τις νυχτερινές ώρες και κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου με αυτονομία πέντε ημερών χωρίς ηλιοφάνεια. Πρόκειται για το βοηθητικό φωτισμό σε δύο κεντρικά σημεία του ΤΕΙ με στόχο την καλύτερη λειτουργικότητα του προαυλίου και την καλύτερη φύλαξη κατά τις νυχτερινές ώρες (10 ώρες λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι το σύστημα θα λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια του έτους και επομένως η μελέτη έγινε με βάση τον χειρότερο μήνα του έτους).

Η επιλογή των προβολέων που θα εγκατασταθούν στη ταράτσα του ΤΕΙ έγινε με κύριο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας έχοντας ως τελικό αποτέλεσμα την όσο το δυνατόν μικρότερης κλίμακας του αυτόνομου συστήματος με κέρδος την εξοικονόμηση χρημάτων.

Το πρώτο βασικό στοιχείο που εκτιμήθηκε για την επιλογή των προβολέων είναι η «φωτεινότητα» που μετριέται σε lumen (lm) και δείχνει πόσο φως παράγει ο λαμπτήρας στο χώρο που κινούμαστε σε σχέση με τα Watt που καταναλώνει. Για παράδειγμα μια λάμπα πυρακτώσεως αποδίδει λιγότερα από 10 lm/W ενώ μια λάμπα τεχνολογίας LED αποδίδει από 75 lm/W και πάνω. Συμπερασματικά, ένας προβολέας εξωτερικού χώρου με λάμπα πυρακτώσεως και με ισχύ 200 W αποδίδει περίπου



1500 lm, ενώ ένας προβολέας με λάμπα τεχνολογίας LED ισχύς 20 W αποδίδει φωτεινότητα 1600 – 1800 lm.

Βάσει των παραπάνω δεδομένων επιλέχθηκαν δύο προβολείς τεχνολογίας LED με ισχύ 20 W έκαστος και με τάση λειτουργίας 180 – 245 V AC (εναλλασσόμενου ρεύματος, βλ. Σχήμα 3.1). Τα χαρακτηριστικά του κάθε προβολέα παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.



(Σχήμα 3.1) Προβολέας 20W LED 180-245V REFLECTOR V-TAC

(Πίνακας 3.1) Χαρακτηριστικά προβολέα

Τάση λειτουργίας	180-245V AC 50Hz
Ισχύς	20w
Χρόνος ζωής	20.000 ώρες
Στεγανότητα	IP 65
Θερμοκρασία χρώματος	ψυχρό 5500-6500K
Γωνία φωτισμού	120 μοίρες
Φωτεινότητα	80-90 Lm/W
Διαστάσεις	180 × 105 × 140 mm
Βάρος	1400gr

### 3.2 Συλλογή δεδομένων

Αρχικά διεξάγεται η μελέτη πρωτίστως για τα φωτοβολταϊκά και δευτερευόντως για την ανεμογεννήτρια, διότι ο ρόλος της τελευταίας για την συγκεκριμένη εγκατάσταση θα είναι υποστηρικτικός και συμπληρωματικός για τις ημέρες που δεν θα υπάρχει ηλιοφάνεια.

Κατά τον υπολογισμό και την επιλογή των εξαρτημάτων ενός Φ/Β συστήματος, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι διαστασιοδότησης. Η μέθοδος της συγκεκριμένης μελέτης είναι αυτή του «λιγότερο ευνοϊκού μήνα». Μ' αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η κατανάλωση ενέργειας τον λιγότερο ευνοϊκό μήνα της περιόδου χρήσης του συστήματος. Ως βάση υπολογισμού του συστήματος γίνεται χρήση της κατανάλωσης του λιγότερο ευνοϊκού μήνα, θεωρώντας ως τέτοιο, τον μήνα όπου η ενέργεια σε

MJoule που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου, μια μέση ημέρα αυτού του μήνα θα είναι η μικρότερη. Η ιδέα είναι ότι αν το σύστημα λειτουργήσει αυτόν τον μήνα, θα λειτουργήσει και τους υπόλοιπους. Για αυτήν τη μέθοδο, είναι απαραίτητες οι μέσες ημερήσιες τιμές ακτινοβολίας και κατανάλωσης ενός μήνα.

Στον παρακάτω πίνακα είναι συγκεντρωμένες οι μέσες ημερήσιες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και κατανάλωσης ενός μήνα καθώς και όλα τα στοιχεία και τιμές που θα χρειαστούν για την μελέτη.

(Πίνακας 3.2) Πίνακας συλλογής δεδομένων

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΟΥ	ΤΙΜΕΣ
$E_t$	Θεωρητική συνολική ενέργεια που απαιτείται κατά μέσο όρο την ημέρα για κατανάλωση. (2x20 W x 10 h)	400 Wh
$N$	Είναι ο καθορισμός του μέγιστου αριθμού ημερών αυτονομίας που προβλέφθηκαν για αυτό. Θεωρητικά, αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει τον αριθμό συνεχόμενων ημερών κακοκαιρίας που δύνανται να προκύψουν (μουντές ή συννεφιασμένες) και κατά τις οποίες τα Φ/Β πλαίσια δεν παράγουν σχεδόν καθόλου ενέργεια, με αποτέλεσμα να καταναλώνεται η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στον συσσωρευτή, γεγονός που ελαττώνει γρήγορα την κατάσταση φόρτισής του.	5 ημέρες
$PD$	Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (PD max) μιας μπαταρίας. Κατά την διαστασιοδότηση αυτόνομων Φ/Β συστημάτων, οι τιμές βάθους εκφόρτισης που συνήθως επιλέγεται είναι 40% ή 50%.	0,5
$V$	Τάση λειτουργίας της εγκατάστασης. Η ονομαστική τάση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των μπαταριών είναι αυτά που καθορίζουν την τάση λειτουργίας του συστήματος.	24 volt
$P$	Ονομαστική ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου.	100 W
$H$	Ενέργεια σε MJ που προσπίπτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας, μια μέση ημέρα του λιγότερου ευνοϊκού μήνα της εκάστοτε περιοχής (βρίσκεται από πίνακες) που γίνεται η μελέτη (για την Κρήτη είναι 5,68 MJ). Επειδή όμως η ατμόσφαιρα στην περιοχή που θα γίνει η εγκατάσταση είναι καθαρή λόγω μειωμένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αιωρούμενων σωματιδίων, το (H) θα πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή 1,05.	5,96 MJ
$k$	Διορθωτικός παράγοντας για κεκλιμένες επιφάνειες. Αναπαριστά το ηθικό της ενέργειας που προσπίπτει κατά τη διάρκεια μιας ημέρας επάνω σε μία επιφάνεια προσανατολισμένη προς τον Ισημερινό και με μια συγκεκριμένη κλίση προς τον ορίζοντα. (Το στοιχείο αυτό βρίσκεται από πίνακες)	1,33
$k_a$	Συντελεστής αυτοεκφόρτισης. Είναι ο λόγος του μέρους της ενέργειας της μπαταρίας που χάνεται λόγω αυτοεκφόρτισης κάθε μέρα. Πολλές φορές, ο κατασκευαστής αναφέρει αυτό το στοιχείο στο φύλλο χαρακτηριστικών για μια θερμοκρασία 20 ή 25°C, συνήθως για μια περίοδο ενός, τριών ή έξι μηνών. Ελλείπει στοιχείων η τιμή του συντελεστή είναι 0,001.	0,001
$k_b$	Συντελεστής απωλειών λόγω απόδοσης συσσωρευτή. Είναι ο λόγος του μέρους της ενέργειας που δεν επιστρέφει η μπαταρία προς την ενέργεια που απορροφάται από αυτή και προέρχεται από το Φ/Β πεδίο. Ελλείπει στοιχείων, η τιμή του συντελεστή ισούται με 0,05.	0,05
$k_c$	Συντελεστής απώλειας στον μετατροπέα. Ο κατασκευαστής οφείλει να αναγράφει την απόδοση του μετατροπέα πάνω σε αυτόν. Ελλείπει στοιχείων, η τιμή αυτού του συντελεστή ισούται με 0,03 για κάποιον ποιοτικό μετατροπέα, ενώ για κάποιον μη ποιοτικό είναι 0,05.	0,05

$k_v$	Συντελεστής άλλων απωλειών (απώλειες σε ηλεκτρικές συσκευές, καλώδια και συνδέσεις, κτλ). Η μέση λογική τιμή που λαμβάνεται συνήθως για αυτόν το συντελεστή είναι 0,15.	0,15
$k_t$	Ο $k_t$ είναι ένας συντελεστής διόρθωσης που χρησιμοποιείται μόνο όταν η μέση ετήσια θερμοκρασία του χώρου όπου βρίσκεται η μπαταρία είναι κατώτερη των 20° και η τιμή του είναι $k_t = 1 - \Delta T / 160$ ( $\Delta T$ είναι ο αριθμός βαθμών Κελσίου κάτω από τους 20°C στους οποίους, κατά μέσο όρο, υπολογίζεται ότι θα λειτουργεί η μπαταρία).	1

### 3.3 Υπολογισμός και επιλογή του συστήματος συσσώρευσης

Η ενέργεια  $E$  θα είναι η ενέργεια που απαιτείται καθημερινά, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες απώλειες του συστήματος. Η τιμή αυτής είναι:

$E = \frac{E_t}{R}$	3.1
---------------------	-----

όπου  $R$  είναι ένας σφαιρικός παράγοντας απόδοσης του συστήματος και η τιμή αυτού είναι:

$R = 1 - \left[ (-k_b - k_c - k_v) \frac{N}{PD} \right] - k_b - k_c - k_v$	3.2
--	-----

Αφού υπολογιστεί η τιμή  $R$  και  $E$ , θα πρέπει να υπολογιστεί η ωφέλιμη χωρητικότητα  $C_{\omega\phi}$  που πρέπει να έχει η μπαταρία, η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

$C_{\omega\phi} = E \cdot N$	3.3
------------------------------	-----

Εφόσον οι κατασκευαστές μπαταριών εκφράζουν τη χωρητικότητα μιας μπαταρίας σε Ah και δεδομένου του ότι στον παραπάνω τύπο θα αποκτήσουμε την  $C_{\omega\phi}$  σε Wh, χρειάζεται να διαιρεθεί η  $C_{\omega\phi}$  με την ονομαστική τάση της μπαταρίας (γενικά 12 ή 24 V) για να γίνει η μετατροπή από Wh σε Ah.

Η ονομαστική χωρητικότητα  $C$  που αποδίδεται από τον κατασκευαστή βρίσκεται από των παρακάτω τύπο, διαιρώντας την  $C_{\omega\phi}$  με το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης  $PD$ .

$C = \frac{C_{\omega\phi}}{PD}$	3.4
---------------------------------	-----

Τέλος, από τον κατάλογο του κατασκευαστή που επιλέχθηκε, επιλέγεται η μπαταρία της οποίας η ονομαστική χωρητικότητα πλησιάζει πιο πολύ την τιμή  $C$  που υπολογίστηκε.

Οι χωρητικότητες που δίνουν οι κατασκευαστές αντιστοιχούν σε ιδανικές συνθήκες, δηλαδή σε θερμοκρασίες των 20 ή 25°C, συνεπώς, Θα πρέπει να πραγματοποιείται διόρθωση ανάλογα με τη θερμοκρασία, αν χρειάζεται. Γι' αυτό, Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η χαρακτηριστική καμπύλη κάθε τύπου μπαταρίας που προσφέρει

ο εκάστοτε κατασκευαστής. Ελλείπει αυτών των στοιχείων και εφόσον πρόκειται για μικρά αυτόνομα συστήματα ο συντελεστής  $kt$  λαμβάνεται ίσος με 1.

$C' = \frac{C}{k_t}$	3.5
----------------------	-----

### 3.4 Υπολογισμός της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας.

Η τιμή  $E$  που βρέθηκε παραπάνω είναι η ενέργεια που φτάνει στους ακροδέκτες της μπαταρίας και που προέρχεται από την Φ/Β γεννήτρια. Ωστόσο, μεταξύ των πλαισίων και της μπαταρίας υπάρχει ένας ρυθμιστής που απάγει μέρος της ενέργειας που φτάνει στην μπαταρία σε μορφή θερμότητας ή κάποιες φορές κόβει την παροχή για κάποια χρονικά διαστήματα. Γι' αυτό, η ημερήσια ποσότητα ενέργειας  $E$  που πρέπει να παράγουν τα πλαίσια θα είναι πάντα μεγαλύτερη της  $E$ .

Γενικά, είναι δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια αυτές τις απώλειες ενέργειας στον ρυθμιστή, επειδή εξαρτώνται κυρίως από την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, η οποία, από τη μεριά της, εξαρτάται από την μορφή της ημερήσιας κατανάλωσης. Ελλείπει αυτών των στοιχείων, θα θεωρηθεί, ότι ένα 10% της ενέργειας που παράγουν τα πλαίσια θα χαθεί στον ρυθμιστή και επομένως δεν θα μετατραπεί σε ωφέλιμη ενέργεια, δηλαδή, δεν θα φτάσει στους ακροδέκτες της μπαταρίας. Για τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα, είναι αποδεκτή μια απόδοση 90% στον ρυθμιστή.

Έτσι λοιπόν είναι:

$E_p = \frac{E}{0,9}$	3.6
-----------------------	-----

Για την εκτίμηση της ενέργειας που μπορεί να παράγει καθημερινά ένα Φ/Β πλαίσιο στο τόπο που βρίσκεται τοποθετημένο, λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός ωρών μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας (H.S.P.) στην εν λόγω περιοχή, ο οποίος είναι η τιμή της συνολικής ενέργειας  $k$  πολλαπλασιασμένη επί  $H$ , που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου ( $m^2$ ). Η τιμή αυτή εκφράζεται σε kWh, αντί για MJ (1 kWh = 3,6 MJ).

$H.S.P = \frac{1}{3,6} kH(MJ) = 0,2778 \cdot k \cdot H$	3.7
---	-----

Η έννοια των «ωρών μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας», ή «ωρών ηλιοφάνειας με ένταση  $1.000 \text{ W/m}^2$ » είναι η ακόλουθη: Από την ανατολή μέχρι τη δύση του ηλίου, η ένταση που δέχεται ένα Φ/Β πλαίσιο ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε μία συνηθισμένη ηλιόλουστη ημέρα, η ένταση αυξάνεται το πρωί, φτάνει στο ζενίθ το μεσημέρι και ελαττώνεται το απόγευμα. Αθροίζοντας όλη την ενέργεια που δέχεται ένα Φ/Β πλαίσιο με συγκεκριμένη κλίση προς την οριζόντια επιφάνεια, βρίσκεται η τιμή της ( $H$ ).

Για τους σκοπούς των ενεργειακών υπολογισμών, λαμβάνεται υπόψη ότι το Φ/Β πλαίσιο για μια διάρκεια ίση με τον αριθμό ωρών μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας δέχεται μια σταθερή ένταση  $1.000 \text{ W/m}^2$  καθώς ο αριθμός H.S.P. συμπίπτει με τον

αριθμό kWh προσπίπτουσας ενέργειας κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας, φτάνοντας και στις δύο περιπτώσεις στην τιμή kWh.

Οι απώλειες ακτινοβολίας που προκαλούνται όταν η θέση ή η κλίση του πεδίου δεν είναι οι βέλτιστες, ή όταν υπάρχει σκιά, κατά την περίοδο σχεδιασμού, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που επισημαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

(Πίνακας 3.3). Απώλειες ακτινοβολίας στο πεδίο (μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές)

Απώλειες ακτινοβολίας της Φ/Β γεννήτριας	Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή (%)
Κλίση και θέση	20
Σκίαση	10
Συνδυασμός των δύο	20

### 3.5 Αριθμός πλαισίων

Ο αριθμός πλαισίων που πρέπει να τοποθετηθούν δίνεται από τον λόγο μεταξύ της  $E_p$  και της πραγματικής ενέργειας (σχέση 3.8) που μπορεί να παράγει κάθε πλαίσιο, κατά τη διάρκεια της ημέρας.

$\text{Αριθμός πλαισίων} = \frac{E_p}{0,9 \cdot P \cdot (H.S.P)}$	3.8
---	-----

Ο παράγοντας διόρθωσης 0,9 χρησιμοποιείται γιατί οι κατασκευαστές Φ/Β πλαισίων μας διασφαλίζουν μια κατώτατη ισχύ σε τυπικές συνθήκες μέτρησης ενός 10% κάτω από την ονομαστική ισχύ και για να ληφθούν υπόψη και πρόσθετες απώλειες όπως αυτές που οφείλονται σε πιθανή κακή συντήρηση κτλ.

Συνήθως, ο αριθμός πλαισίων που προκύπτει όταν εφαρμόζεται ο παραπάνω τύπος είναι ένας δεκαδικός αριθμός, και γι αυτόν τον λόγο πρέπει να γίνει στρογγυλοποίηση του αριθμού προς τα πάνω, εκτός αν το αποτέλεσμα πλησιάζει αρκετά κάποιον κατώτερο αριθμό.

### 3.6 Αξιολόγηση διαθέσιμης αιολικής ενέργειας

Στην οροφή του ΤΕΙ υπάρχει μετεωρολογικός ιστός που καταγράφει σε ετήσια βάση το αιολικό δυναμικό και συγκεκριμένα καταγράφει σε δύο διαφορετικά υψόμετρα, (στα 5 μέτρα και στα 10 μέτρα) την ταχύτητα του ανέμου, την διεύθυνση, την υγρασία, θερμοκρασία, και την ατμοσφαιρική πίεση ανά λεπτό και κάθε μία ώρα στέλνει την μέση τιμή στο data logger που υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής. Επίσης καταγράφονται η ώρα της μέτρησης, η ημέρα και το έτος. Με βάση τα δεδομένα της χρονιάς 2009 προκύπτουν γραφήματα και στατιστικά δεδομένα που θα βοηθήσουν πολύ στο να ληφθούν συμπεράσματα για το ενεργειακό κέρδος που θα προκύψει από την τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας με ονομαστική ισχύς 400 W.

(Πίνακας 3.4) Βασικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας

Μοντέλο	V-400
Ονομαστική ισχύς	400W
Μέγιστη ισχύς	500W
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου	11 m/s
Ταχύτητα ανέμου εκκίνησης	2.5m/s
Διάμετρο ρότορα	1.33m
Αριθμός πτερυγίων	3
Στροφές ρότορα ανα λεπτό	500-1000 rpm
Ονομαστική τάση	12V DC or 24V DC
Γεννήτρια	Μόνιμοι μαγνήτες, 3φασική με ανορθωτή
Φρένα	Ηλεκτρομαγνητικά φρένα
Ρυθμιστής	Υψηλής λειτουργίας ρυθμιστής φόρτισης
Βάρος	7,8 kg

Η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου (m/sec) σε ύψος 5m από την οροφή του ΤΕΙ για το έτος 2009, όπως επίσης και η μέγιστη τιμή, η ελάχιστη τιμή και η συχνότερη επαναλαμβανόμενη τιμή κατά την διάρκεια του έτους φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

(Πίνακας 3.5) Στατιστικά δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου για το έτος 2009

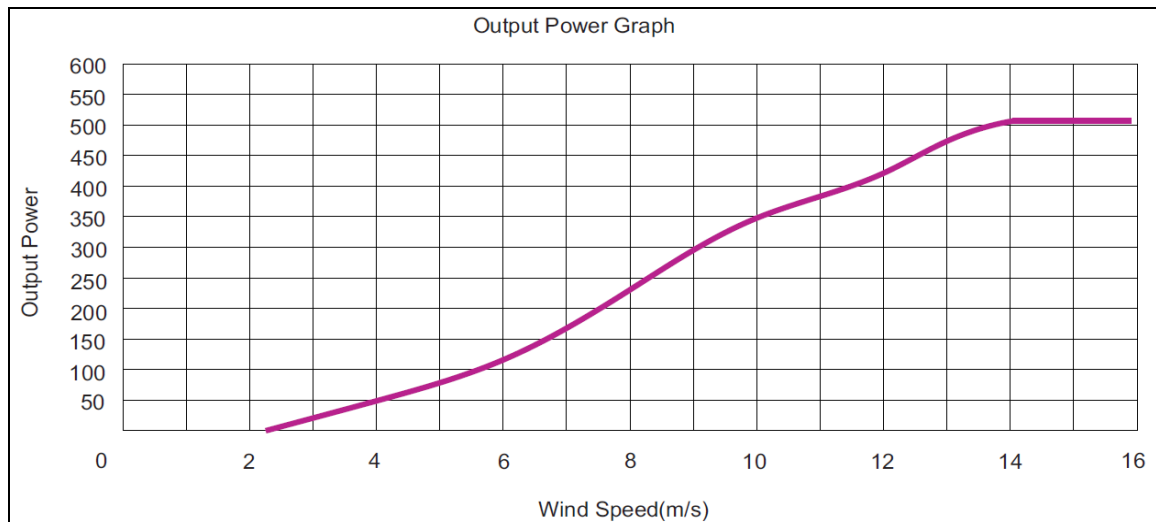
<b>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΤΟΥΣ 2009</b>	
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου (m/sec)	2,17
Μέγιστη τιμή ταχύτητας ανέμου (m/sec)	16,18
Ελάχιστη τιμή ταχύτητας ανέμου (m/sec)	0,00
Συχνότερη επαναλαμβανόμενη τιμή ταχύτητας ανέμου (m/sec)	1,04

Η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου (m/sec) για όλους τους μήνες ξεχωριστά του έτους 2009, όπως επίσης, η μέγιστη τιμή, η ελάχιστη τιμή και η συχνότερη επαναλαμβανόμενη τιμή φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

(Πίνακας 3.6) Στατιστικά δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου για όλους τους μήνες του έτους 2009

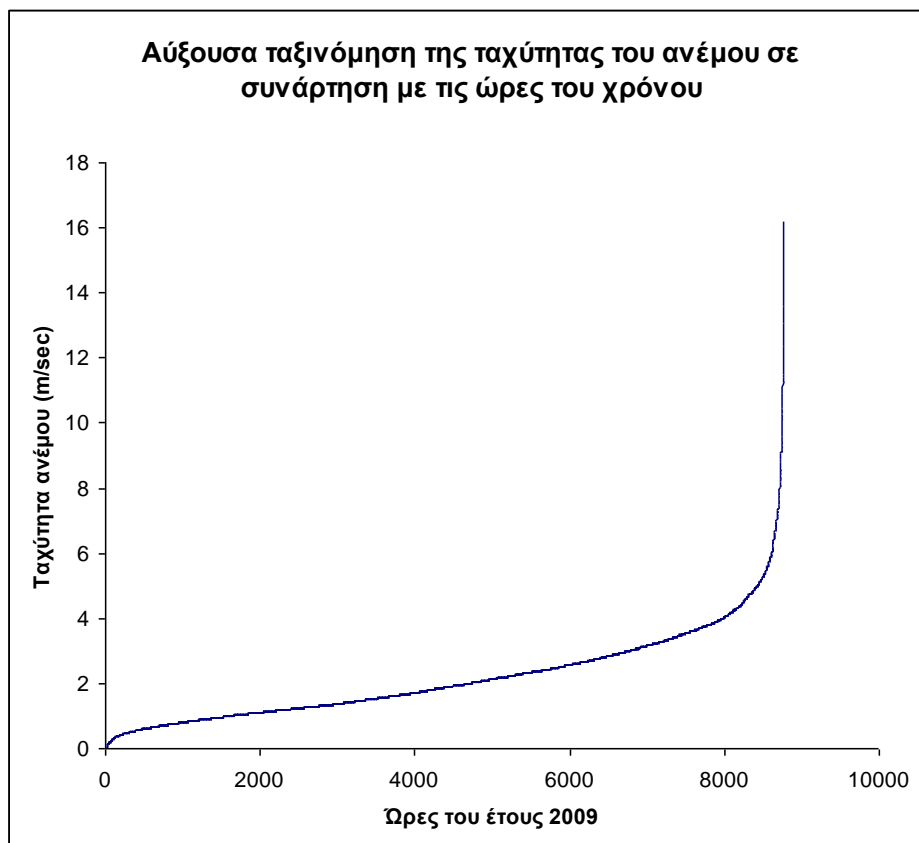
Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΝ	ΙΟΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση τιμή	2,49	3,03	2,62	2,16	1,69	1,96	1,96	1,81	1,93	2,01	2,17	2,33
Μέγιστη τιμή	16,2	11,5	10,4	6,8	6,2	5,8	5,6	5,1	6,3	8,3	8,5	10,4
Ελάχιστη τιμή	0,00	0,41	0,20	0,15	0,00	0,17	0,00	0,01	0,13	0,17	0,34	0,35
Συχνότερη επαναλαμβανόμενη τιμή	1,51	2,09	0,89	1,26	1,17	0,50	1,30	1,15	2,06	1,04	3,58	2,36

Παρακάτω φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας όπως δίνεται από τον κατασκευαστή.



(Εικόνα 3.2) Χαρακτηριστική καμπύλη ανεμογεννήτριας

Από το παραπάνω γράφημα φαίνεται πως η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει ενέργεια από ταχύτητα ανέμου 2,4 m/s και πάνω ενώ η ονομαστική ισχύς δίνεται σε ταχύτητα ανέμου 11,5 m/s και το μέγιστο δίνεται από ταχύτητες 14 m/s και πάνω. Για να υπάρξει μια γενική εικόνα για το πόσες μέρες θα παράγει ενέργεια η ανεμογεννήτρια, ασχέτως από το πόση ενέργεια, δηλαδή για να υπολογιστεί το εύρος ταχύτητας του ανέμου από 2,4 m/s έως 16 m/s, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός γραφήματος που η τιμές της ταχύτητας του ανέμου καθ' όλη την διάρκεια του έτους θα ταξινομηθούν σε αύξουσα ταξινόμηση από την μικρότερη ταχύτητα ανέμου προς τη μεγαλύτερη.



(Εικόνα 3.3) Γράφημα αύξουσας ταξινόμησης της ταχύτητας του ανέμου

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται, πως οι ώρες που παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από την ανεμογεννήτρια στο σύνολο των ωρών του έτους, προκύπτουν από την αφαίρεση των συνολικών ωρών του έτους από τις ώρες που η ταχύτητα του ανέμου είναι ανεπαρκείς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή: 8760h-5640h = 3120 ώρες το χρόνο, άρα μόνο 130 ημέρες το χρόνο η ανεμογεννήτρια θα βρίσκεται μέσα στο εύρος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.7) φαίνεται η συνολική ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί κατά την διάρκεια του έτους, ενώ από τον πίνακα 6 φαίνεται πως η ενέργεια αυτή θα παράγεται κατά τους χειμερινούς μήνες, πράγμα που είναι θετικό διότι οι χειμερινοί μήνες έχουν τη μικρότερη ηλιακή ενέργεια.

(Πίνακας 3.7) Στατιστικά δεδομένα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους

<i>Ταχύτητα ανέμου σε (m/sec)</i>	<i>Συχνότητα εμφάνισης της ταχύτητας σε ώρες</i>	<i>Μέσος όρος ηλεκτρικής ισχύς σε (W)</i>	<i>Σύνολο σε (kWh)/έτος</i>
[2,4-3)	1118	24	26,8
[3-4)	1210	37	44,8
[4-5)	454	62	28,1
[5-6)	185	97,5	18,0
[6-7)	64	145,5	9,3
[7-8)	41	200,5	8,2
[8-9)	18	265	4,7
[9-10)	11	325	3,6
[10-11)	11	365	4,0
[11-12)	4	410	1,6
[12-13)	1	441	0,4
[13-14)	2	487	0,975
[14-15)	0	0	0
[15-16,2]	1	500	0,5
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3120</b>		<b>151</b>

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής: Η ανεμογεννήτρια θα παράγει 151 kWh καθ' όλοι τη διάρκεια του έτους με το περισσότερο μέρος να παράγεται το χειμώνα, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη αυτονομία κατά τους χειμερινούς μήνες, επίσης κατά τη διάρκεια της νύχτας που δεν θα υπάρχει ηλιοφάνεια η ανεμογεννήτρια θα μπορεί να συντηρεί σε κάποιο σχετικά χαμηλό βαθμό την ενέργεια των συσσωρευτών.

### 3.7 Δημιουργία υπολογιστικού προγράμματος για την διευκόλυνση της μελέτης

Για τους υπολογισμούς των φωτοβολταϊκών πλαισίων και για την χωρητικότητα των συσσωρευτών σε Ah κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί ένα υπολογιστικό πρόγραμμα με τη βοήθεια του προγράμματος Visual Studio 2012 που θα έχει σκοπό:

- Να αποφεύγονται τα λάθη κατά την διάρκεια των υπολογισμών.



- Για να γίνονται πιο γρήγορα οι υπολογισμοί καθώς για την εύρεση των Φ/Β πλαισίων και της χωρητικότητας των συσσωρευτών οι μαθηματικοί τύποι είναι αρκετοί.
- Για να γίνονται εύκολα προσομοιώσεις και αλλαγές δεδομένων όταν μια μελέτη το απαιτεί.

Στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.4) φαίνεται η φόρμα του λογισμικού.

The screenshot shows a software window titled "T.C.S. :: by Tsakaloudis LTD". The interface is divided into several sections:

- Μετρήσεις (Measurements):** A group box containing input fields for:
  - Et: [ ]
  - N: [ ]
  - PD: [ ]
  - Volt: [ -- ▾ ]
  - P: [ ]
  - H: [ ]
  - k: [ ]
  - ka: [ ]
  - kb: [ ]
  - kc: [ ]
  - kn: [ ]
- Αποτελέσματα (Results):** A group box containing output fields for:
  - Ah: [ ]
  - Panel: [ ]
- Buttons:** Two large buttons are present on the right side: "Υπολογισμός" (Calculate) and "Έξοδος" (Exit).

(Εικόνα 3.4) Διεπαφή λογισμικού για την υποστήριξη της μελέτης και του υπολογισμού της χωρητικότητας των μπαταριών σε (Ah) και των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Παρακάτω (Βλ. εικόνα 3.6) η φόρμα συμπληρώθηκε με τα στοιχεία που συλλέχτηκαν από τον πίνακα συλλογής δεδομένων (Πίνακας 3.2). Τέλος, πατώντας το πλήκτρο "Υπολογισμός" λαμβάνονται τα αποτελέσματα για την χωρητικότητα των συσσωρευτών (Ah) και φωτοβολταϊκά πλαίσια (Panel) που θα χρειαστούν για την εγκατάσταση.

Η τιμή για την χωρητικότητα που προκύπτει είναι 224 Ah. Με την τιμή αυτή επιλέχθηκαν δύο συσσωρευτές τύπου ML220C της εταιρίας MEGALIGHT, με βάση Ονομαστική χωρητικότητα  $C_{100}$ .

(Πίνακας 3.8) Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή

Τύπος Μπαταρίας	Ονομαστική τάση [V]	Ονομαστική χωρητικότητα [Ah]	Ρεύμα εκφόρτισης [A]	Διαστάσεις Μ/Π/Υ [mm]	Βάρος [kg]
ML220C	12	250	2.50	518 / 276 / 242	65.0

Τέλος τα πλαίσια (Panel) που επιλέχθηκαν είναι 6 της εταιρίας Shell-Solar το μοντέλο SM-100 ισχύος 100 W για έκαστη μονάδα. Ο αριθμός τους επιλέχθηκε να είναι 6 και όχι 3 όπως είχε υπολογιστεί από την μελέτη, λόγω του ότι τα συγκεκριμένα πλαίσια ήταν μεταχειρισμένα και σε κακή κατάσταση με αποτέλεσμα να αποδίδουν τη μισή ισχύ από την προβλεπόμενη.



(Εικόνα 3.5) Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο Shell-Solar μοντέλο SM-100 ισχύος 100 Watt

T.C.S. :: by Tsakaloudis LTD

Αρχείο Βοήθεια

Μετρήσεις

Ei:	<input type="text" value="400"/>	k:	<input type="text" value="1,33"/>
N:	<input type="text" value="5"/>	ka:	<input type="text" value="0,001"/>
PD:	<input type="text" value="0,5"/>	kb:	<input type="text" value="0,05"/>
Volt:	<input type="text" value="24"/>	kc:	<input type="text" value="0,05"/>
P:	<input type="text" value="100"/>	kv:	<input type="text" value="0,15"/>
H:	<input type="text" value="5,93"/>		

Υπολογισμός

Αποτελέσματα

Ah:	<input type="text" value="224"/>	Panel:	<input type="text" value="3"/>
-----	----------------------------------	--------	--------------------------------

Έξοδος

(Πίνακας 3.6) Τελικό αποτέλεσμα της χωρητικότητας και των φωτοβολταϊκών πλαισίων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Ο εντοπισμός και η αναγνώριση των ιδιοτήτων των διαφορετικών ηλεκτρικών κυκλωμάτων που απαρτίζουν ένα Φ/Β σύστημα είναι πολύ σημαντικός για την ανάλυση και τη σωστή λειτουργία ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Ο υπολογισμός των σωστών διατομών των καλωδίων έχει μεγάλη βαρύτητα καθώς η επιλογή μικρότερων διατομών από τις προβλεπόμενες ενέχει τον κίνδυνο πυρκαγιάς λόγω υπερθέρμανσης των αγωγών ή στην καλύτερη περίπτωση ύπαρξη πτώσης τάσης μεγαλύτερης από την επιτρεπόμενη, με αποτέλεσμα τη φθορά των συσκευών και των ηλεκτρονικών διατάξεων της εγκατάστασης. Τα κύρια ηλεκτρικά κυκλώματα που βρίσκονται συνήθως σε ένα σύστημα αυτού του είδους περιγράφονται στον πίνακα 4.1.

(Πίνακας 4.1) Κύρια ηλεκτρικά κυκλώματα ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος

<b>ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</b>	Ανεμογεννήτρια-ρυθμιστής
	Πλαίσια-ρυθμιστής
	Ρυθμιστής-μπαταρία
	Μπαταρία-μετατροπέας
	Κατανάλωση σε DC (Δεν υπάρχει στη συγκεκριμένη μελέτη)
	Κατανάλωση σε AC

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που βρίσκονται στο συγκεκριμένο αυτόνομο υβριδικό συστήματα, καθώς και ο τρόπος που έγινε η καλωδίωση περιγράφονται στον πίνακα 4.2

(Πίνακας 4.2) Τύπος καλωδίου και τάσεις των ηλεκτρικών κυκλωμάτων

	<b>Α/Γ-ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ</b>	<b>Φ/Β-ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ</b>	<b>ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ-ΜΠΑΤΑΡΙΑ</b>	<b>ΜΠΑΤΑΡΙΑ-ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ</b>	<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ-ΣΕ AC</b>
<b>ΡΕΥΜΑ</b>	Εναλλασσόμενο	Συνεχές	Συνεχές	Συνεχές	Εναλλασσόμενο
<b>ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ</b>	Τρία μονοπολικά καλώδια σε σπирάλ σωλήνα εξωτερικό	Διπολικό καλώδιο σε σπирάλ σωλήνα εξωτερικό	Δύο εξωτερικά μονοπολικά καλώδια σε κανάλι	Δύο εξωτερικά μονοπολικά καλώδια σε κανάλι	Τριπολικό καλώδιο σε κανάλι
<b>ΤΑΣΗ</b>	24 V	24 V	24 V	24 V	230 V

Σχετικά με τη διατομή των καλωδίων της ανεμογεννήτριας, δίνεται πίνακας από τον κατασκευαστή ο οποίος περιέχει την διατομή των αγωγών σε συνάρτηση με το μήκος του αγωγού, με αποτέλεσμα να μην χρειάζονται περαιτέρω υπολογισμοί. Το μήκος του καλωδίου από την ανεμογεννήτρια μέχρι το ρυθμιστή φόρτισης είναι 21 m. Από τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3), επιλέγεται διατομή των 6 mm<sup>2</sup>.

(Πίνακας 4.3) Διατομή αγωγών ανεμογεννήτριας σε συνάρτηση με το μήκος

<b>Απόσταση ανεμογεννήτριας-μπαταρίας</b>	Έως 10.6 m	10.7-17.6 m	17.7-28.2 m	28.3-42.4 m	42.5-70,6 m	70.7-112.9 m
<b>Ελάχιστη συνιστώμενη διατομή καλωδίου</b>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>

Στη συνέχεια γίνονται οι υπολογισμοί και για την υπόλοιπη εγκατάσταση σχετικά με την σωστή διαστασιολόγηση των αγωγών λαμβάνοντας υπόψη τις επιτρεπόμενες πτώσεις τάσεις για το υπόλοιπο σύστημα. (Οι τιμές αναφέρονται στην ονομαστική τάση του συστήματος)

(Πίνακας 4.4) Μέγιστες επιτρεπόμενες πτώσεις τάσης

Μέγιστη πτώση τάσης μεταξύ της Φ/Β γεννήτριας και του ρυθμιστή	3%
Μέγιστη πτώση τάσης μεταξύ του μετατροπέα και της μπαταρίας	1%
Μέγιστη πτώση τάσης μεταξύ του ρυθμιστή και του μετατροπέα	1%
Μέγιστη πτώση τάσης μεταξύ του ρυθμιστή και της μπαταρίας	1%
Μέγιστη πτώση τάσης μεταξύ του μετατροπέα/ρυθμιστή και των φορτίων	1%

Οι θετικοί και αρνητικοί πόλοι του μέρους του συνεχούς ρεύματος της εγκατάστασης είναι ξεχωριστοί και προστατευμένοι και φέρουν ενδείξεις (κωδικούς χρώματος).

(Πίνακας 4.5) Κωδικοί χρωμάτων

ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ	ΧΡΩΜΑ
Θετική (+)	Κόκκινο
Αρνητική (-)	Μαύρο

Για τους χάλκινους αγωγούς, ή διατομή των καλωδίων για συνεχές ρεύμα και για μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα, υπολογίζεται από των παρακάτω τύπο ως εξής:

$S = \frac{2LI}{56\Delta V}$	4.1
------------------------------	-----

όπου:

- $S$ : Διατομή αγωγού ( $\text{mm}^2$ )
- $L$ : Μήκος αγωγού (m)
- $I$ : Ένταση ρεύματος (A)
- 56: Αγωγιμότητα του χαλκού (Siemens/m)
- $\Delta V$ : Μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης (V)

#### 4.1 Υπολογισμός κυκλώματος Φ/Β πεδίου-ρυθμιστή

Το μήκος αυτού του κυκλώματος είναι  $L = 5\text{m}$ , ενώ η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι σύμφωνα με τον Πίνακα 7 είναι 3%. Εφόσον η ονομαστική τάση του συστήματος είναι 24 V, η πτώση τάσης  $\Delta V$  θα είναι:

$\Delta V = \frac{3}{100} \times 24 = 0.72\text{V}$	4.2
---	-----

Για τον υπολογισμό της κατάλληλης διατομής του αγωγού, η ένταση  $I$  του τμήματος πεδίου-ρυθμιστή, θεωρείται ίση με 1,25 φορές την ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης του πεδίου. Η ένταση βραχυκύκλωσης του πεδίου είναι το γινόμενο του αριθμού των παράλληλων συστοιχιών επί την ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης ενός πλαισίου,  $I_{sc\_γεννητριας} = N \cdot I_{sc\_πλαίσιο}$  όπου  $N$  ο αριθμός των παράλληλων συστοιχιών.

Στην περίπτωση μας, το Φ/Β πεδίο αποτελείται από 6 πλαίσια της Siemens Solar (μοντέλο SM-100) συνδεδεμένα παράλληλα. Η ένταση του ρεύματος του μοντέλου αυτού είναι  $I_{sc} = 3,25$  A. Εφόσον όλα τα Φ/Β είναι παράλληλα συνδεδεμένα, λαμβάνουμε  $N=6$ , οπότε και το ρεύμα βραχυκύκλωσης του πεδίου θα είναι  $6 \times 3.25 = 19.5$  A.

Η απαραίτητη διατομή του αγωγού για το κύκλωμα αυτό θα είναι:

$S = \frac{2LI}{56\Delta V} = \frac{2 \times 5 \times 1.25 \times 19.5}{56 \times 0,72} = 6mm^2$	4.3
--	-----

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης εγκατάστασης επιλέχθηκε διατομή 6 mm<sup>2</sup>. Η διατομή αυτή υπερκαλύπτει την συγκεκριμένη καλωδίωση καθώς στον τύπο υπάρχει ο συντελεστής 1.25 ως παράγοντας ασφαλείας.

#### 4.2 Υπολογισμός κυκλώματος μετατροπέα-μπαταρίας

Το μήκος αυτού του κυκλώματος είναι  $L = 2$  m, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης σύμφωνα με τον πίνακα 4.4 είναι 1%. Επομένως η  $\Delta V$  θα είναι:

$\Delta V = \frac{1}{100} \times 24 = 0.24V$	4.4
--	-----

Εφόσον η ονομαστική τάση του συστήματος είναι 24 V και η μέγιστη ισχύς του μετατροπέα 900 W, η ένταση που θα υπάρχει σε αυτό το κύκλωμα σύμφωνα με το τύπο  $P = I \times V$ , θα είναι 37,5 A.

Η απαραίτητη διατομή του αγωγού για το κύκλωμα αυτό θα είναι:

$S = \frac{2LI}{56\Delta V} = \frac{2 \times 2 \times 1.25 \times 37.5}{56 \times 0.24} = 13.95mm^2$	4.5
--	-----

Επιλέγουμε λοιπόν την αμέσως μεγαλύτερη διατομή που διατίθεται στο εμπόριο, δηλαδή 16 mm<sup>2</sup>. Στη προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε αγωγός διατομής 6mm<sup>2</sup> καθώς το φορτίο των καταναλωτών δεν θα ξεπερνά τα 400 W.

#### 4.3 Υπολογισμός κυκλώματος μετατροπέα-ρυθμιστή

Το κύκλωμα μετατροπέα-ρυθμιστή δεν υπάρχει διότι στη συγκεκριμένη εγκατάσταση ο μετατροπέας τροφοδοτείται απ' ευθείας από τις μπαταρίες.

#### 4.4 Υπολογισμός κυκλώματος ρυθμιστή-μπαταρίας

Το μήκος αυτού του κυκλώματος είναι  $L = 2\text{m}$ , ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι 1%. Εφόσον η ονομαστική τάση του συστήματος μας είναι 24 V, θα έχουμε:

$\Delta V = \frac{1}{100} \times 24 = 0.24\text{V}$	4.6
---	-----

Ως ένταση  $I$  που μπορεί να κυκλοφορήσει διαμέσου του κυκλώματος του ρυθμιστή μπαταρίας θα επιλεγεί η μεγαλύτερη δυνατή ανάμεσα σε αυτήν που προέρχεται από το πεδίο και εκείνη που απαιτούν οι καταναλώσεις που λειτουργούν ταυτοχρόνως. Στην περίπτωση μας, εφαρμόζοντας τον παράγοντα ασφαλείας, η ένταση του πεδίου είναι  $19.5\text{A} \times 1.25 = 24.37\text{A}$  και εκείνη του κυκλώματος κατανάλωσης λαμβάνοντας υπόψη ως μέγιστο φορτίο κατανάλωσης τα 400 W θα είναι 12.5 A. Συνεπώς, θα διαλέξουμε τα 24.37 A ως τιμή έντασης που δύναται να κυκλοφορήσει διαμέσου αυτού του κυκλώματος.

Με αυτά τα στοιχεία, η διατομή του αγωγού θα είναι:

$S = \frac{2LI}{56\Delta V} = \frac{2 \times 2 \times 24.37}{56 \times 0.24} = 7.25\text{mm}^2$	4.7
---	-----

Σε αυτή τη περίπτωση επιλέχθηκε η διατομή που διατίθεται στο εμπόριο και που είναι αμέσως μεγαλύτερη από την τιμή που υπολογίσαμε, δηλαδή  $10\text{mm}^2$ .

#### 4.5 Υπολογισμός κυκλώματος μετατροπέα-φορτίου

Το μήκος του κυκλώματος αυτού είναι  $L = 0.5\text{m}$ , ενώ η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι 1%. Εφόσον η ονομαστική τάση του συστήματος είναι 24 V, θα έχουμε:

$\Delta V = \frac{1}{100} \times 24 = 0.24\text{V}$	4.8
---	-----

Η ένταση  $I$  του παραπάνω κυκλώματος θα είναι η ένταση που καταναλώνουν τα φορτία που λειτουργούν ταυτοχρόνως. Στη περίπτωση μας, το μέγιστο ρεύμα θα είναι 4 A αν ληφθεί υπόψη ότι ο μετατροπέας είναι 900 W.

Η διατομή του αγωγού για το κύκλωμα αυτό θα είναι:

$S = \frac{2LI}{56\Delta V} = \frac{2 \times 0.5 \times 4}{56 \times 2.3} = 0.03\text{mm}^2$	4.9
--	-----

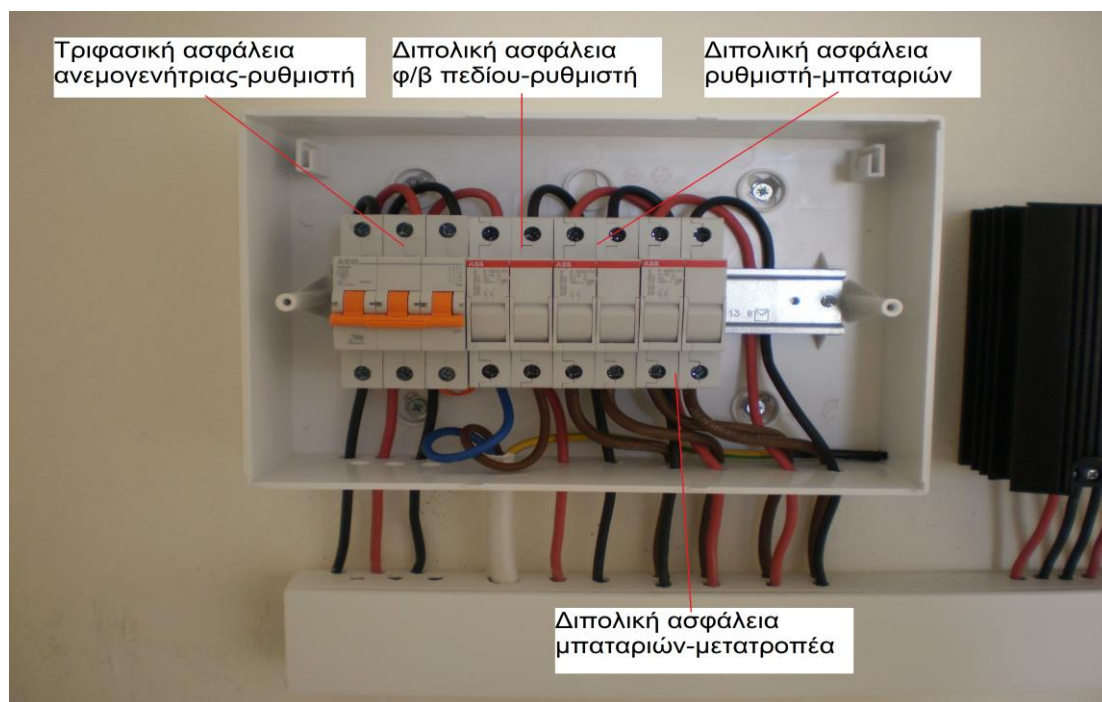
Η επιλογή της διατομή του αγωγού για αυτό το κύκλωμα είναι  $1\text{mm}^2$  και δίνεται στην έξοδο του μετατροπέα από τον κατασκευαστή.

#### 4.6 Επιλογή ασφαλειών των καλωδιώσεων

Η ασφάλειες που τοποθετήθηκαν στο πίνακα των ρευμάτων DC επιλέχθηκαν εμπειρικά σύμφωνα με τον Πίνακα 9. Για το κύκλωμα ανεμογεννήτριας-ρυθμιστή τοποθετήθηκε μία τριφασική 25 A της AEG. Για το κύκλωμα πεδίου-ρυθμιστή, ρυθμιστή-μπαταριών και ρυθμιστή-μετατροπέα τοποθετήθηκαν διπολικοί ασφαλειοαποξεύκτες της ABB 32A, VDC 1000, με φυσίγγια DC 25A.

(Πίνακας 4.6) Διατομή των αγωγών μίας ΕΗΕ (Εσωτερικής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης) σύμφωνα με την μέθοδο ασφαλούς λειτουργίας υπολογίζεται από τον πίνακα του άρθρου 126 του κανονισμού των ΕΗΕ.

Διατομή αγωγών (mm <sup>2</sup> )	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος (A)	Αυτόματη ασφάλεια (A)
0.75	-	-
1	11	6
1.5	14	10
2.5	20	16
4	25	20
6	33	25
10	43	35
16	60	50
25	83	63
35	100	80
50	127	100
70	147	125
95	181	160
120	208	200



(Εικόνα 4.1) Οι ασφάλειες και οι συνδέσεις του πίνακα DC.



Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4.1) παρουσιάζονται οι θέσεις των ασφαλειών στον πίνακα DC. Η πρώτη ασφάλεια είναι η τριφασική ασφάλεια που μεσολαβεί σε σειρά στο κύκλωμα ανεμογεννήτριας-ρυθμιστή, η δεύτερη ασφάλεια είναι ο διπολικός ασφαλειοαποζεύκτης που μεσολαβεί σε σειρά μεταξύ Φ/Β πεδίου-ρυθμιστή, η τρίτη ασφάλεια είναι ο διπολικός ασφαλειοαποζεύκτης που μεσολαβεί σε σειρά μεταξύ ρυθμιστή-μπαταριών και η τελευταία διπολική ασφάλεια είναι αυτή που μεσολαβεί σε σειρά μεταξύ μπαταριών-μετατροπέα (inverter).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ (ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ)

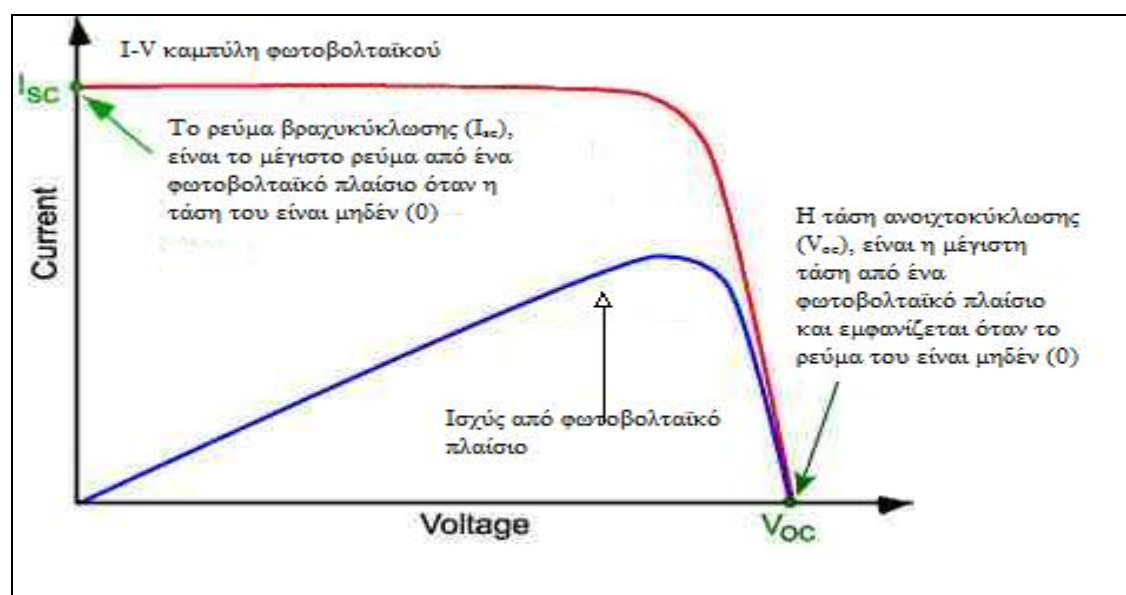
Οι συσσωρευτές ή μπαταρίες είναι ηλεκτροχημικές κυψέλες στις οποίες οι δράσεις στα ηλεκτρόδια είναι αμφίδρομες και έτσι μπορούν να χρησιμοποιούνται για να συσσωρεύουν την ηλιακή και αιολική ενέργεια, καθώς και οποιαδήποτε άλλη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, και στη συνέχεια να την ελευθερώσουν, όταν συνδεθούν σε ένα κύκλωμα εξωτερικής φόρτισης. Οι συσσωρευτές διακρίνονται σε δυο τύπους: κλειστού και ανοιχτού τύπου.

- **Συσσωρευτές ανοικτού τύπου.** Χαρακτηριστικό των μπαταριών αυτών είναι ότι υπάρχουν πόματα που ξεβιδώνουν για να προστίθεται αποσταγμένο νερό. Οι τάπες έχουν μια μικρή τρύπα για την έξοδο των αέριων που δημιουργούνται. Αυτές οι μπαταρίες απαιτούν συχνότερη παρακολούθηση.
- **Συσσωρευτές κλειστού τύπου.** Στις μπαταρίες αυτές ο ηλεκτρολύτης είναι σε μορφή Τζελ και το κιβώτιο είναι τελείως στεγανό. Διαθέτουν μια βαλβίδα ασφαλείας για την περίπτωση που θα δημιουργηθούν πολλά αέρια. Αυτές οι μπαταρίες δεν ανοίγονται ποτέ, δεν αντέχουν μεγάλες υπερφορτίσεις γιατί οι φυσαλίδες που δημιουργούνται παραμένουν μέσα και εμποδίζουν την επαφή του ηλεκτρολύτη με τις πλάκες με συνέπεια την μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας.

Η βασική λειτουργία ενός συσσωρευτή σε μία αυτόνομη υβριδική εγκατάσταση είναι η παροχή της απαιτούμενης ενέργειας, ανεξάρτητα από την ηλεκτρική παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων και της ανεμογεννήτριας στη συγκεκριμένη στιγμή, δηλαδή:

- Παρέχει ενέργεια σε περιόδους μηδενικής ή χαμηλής αιολικής και ηλιακής ενέργειας που μπορεί να είναι ώρες ή μέρες. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και η ανεμογεννήτρια παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μόνο τη στιγμή που προσπίπτει πάνω τους η ηλιακή και αιολική ενέργεια, ωστόσο συχνά η παραπάνω ενέργεια απαιτείται ακριβώς τις στιγμές που δεν υπάρχει πρόσπτωση φωτός ή όταν υπάρχει άπνοια.
- Παρέχει μια στιγμιαία ισχύ, ή κατά τη διάρκεια περιορισμένου χρόνου, μεγαλύτερη από αυτή που θα μπορούσε να παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και η ανεμογεννήτρια ακόμα και στις πιο ευνοϊκές στιγμές. Τέτοια, π.χ., είναι η περίπτωση της εκκίνησης των κινητήρων που για λίγα δευτερόλεπτα απαιτούν ισχύ κάποιες φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής σε κανονική λειτουργία.
- Διατηρεί μαζί με τον ρυθμιστή ένα σταθερό επίπεδο της τάσης λειτουργίας της εγκατάστασης. Η τάση εξόδου ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και μίας ανεμογεννήτριας μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και του αιολικού δυναμικού αντίστοιχα, κάτι το οποίο δεν ενδείκνυται για τη λειτουργία των φορτίων (συνδεδεμένες συσκευές που καταναλώνουν ενέργεια). Ο συσσωρευτής αναλαμβάνει την παροχή σταθερής και συνεχούς τάσης, σε κάποια συγκεκριμένα πλαίσια, ανεξαρτήτως από τις συνθήκες ακτινοβολίας.

Σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, η τάση της μπαταρίας, που είναι σχεδόν σταθερή, είναι αυτή που καθορίζει την τάση λειτουργίας των πλαισίων. Στη χαρακτηριστική, δηλαδή, καμπύλη I-V ενός πλαισίου (Εικόνα 5.1), η τάση θα είναι αυτή που θα ορίζεται από τη μπαταρία και ποτέ το αντίστροφο. Ακόμα, δηλαδή, και εάν ένα Φ/Β πλαίσιο μπορεί να παρέχει θεωρητικά μια τάση 22V για παράδειγμα, δεν σημαίνει πως κατά τη σύνδεσή του με μια μπαταρία 12V θα ισχύει στα άκρα της η τιμή των 22V, καθώς η ένταση που παρέχει το πλαίσιο θα προσαρμοστεί αυτόματα σε τέτοια τιμή που στην καμπύλη του I-V η τάση θα είναι ακριβώς 12V.



(Εικόνα 5.1) Καμπύλη φωτοβολταϊκού I-V

Η τάση μιας μπαταρίας ονομαστικής τάσης 12V μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την κατάσταση φόρτισής της ή από άλλους παράγοντες. Μπορεί να είναι από 1 έως 2V πάνω ή κάτω από την ονομαστική της τιμή, η οποία ορίζει την ζώνη λειτουργίας του πλαισίου, που κυμαίνεται κανονικά μεταξύ 11 και 15V. Εκτός από κάποιες περιπτώσεις, όπως η άντληση νερού ή οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, οι μπαταρίες είναι απαραίτητες στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις για την καλή λειτουργία και διάρκειά τους. Οι συσσωρευτές αποτελούνται κυρίως από κυψέλες, πλάκες, ενεργό υλικό, πλέγματα, διαχωριστήρες και τον ηλεκτρολύτη. Η κυψέλη είναι το βασικό ηλεκτροχημικό συστατικό της μπαταρίας. Αποτελείται από έναν συνδυασμό θετικών και αρνητικών πλακών που διαχωρίζονται από μονωτές, βυθισμένες σε διάλυμα ηλεκτρολύτη, όλα μέσα σε ένα κιβώτιο. Στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος (Pb-a), κάθε κυψέλη έχει ονομαστική τάση γύρω στα 2V. Αρκετές κυψέλες μπορούν να συνδεθούν σε σειρά για να δώσουν τάση 6V (3 στοιχεία σε σειρά) ή 12V (6 στοιχεία σε σειρά). Οι πλάκες απαρτίζονται από μερικά πλέγματα με ενεργό υλικό, που λέγεται ηλεκτρόδιο. Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας αριθμός πλακών συνδεδεμένων παράλληλα σε μία αρτηρία που είναι τοποθετημένη στο ανώτερο μέρος των πλακών, τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών. Αποτελούνται από το πλέγμα και το ενεργό υλικό. Το πάχος των πλακών ορίζει το βάθος των κύκλων μιας μπαταρίας. Οι παχιές πλάκες επιτρέπουν βαθιές εκφορτίσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Το πλέγμα κατανέμει το ρεύμα σε όλη την πλάκα και λειτουργεί ως βάση του ενεργού υλικού. Στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, που αποτελούν τον πιο συνηθισμένο τύπο συσσωρευτών σε αυτόνομα συστήματα, το ενεργό υλικό αποτελείται από ένα κράμα μολύβδου. Για την ενίσχυση του πλέγματος χρησιμοποιούνται συνήθως ως στοιχεία κράματος το αντιμόνιο και το ασβέστιο. Ανάλογα με το σχήμα του πλέγματος, οι μπαταρίες χωρίζονται σε κυλινδρικές και επίπεδες. Τα ενεργά υλικά είναι τα υλικά που αποτελούν τις θετικές και αρνητικές πλάκες και συμμετέχουν στις αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης. Στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, τα ενεργά υλικά είναι το PbO (οξείδιο του μολύβδου) στη θετική πλάκα και ο Pb (μόλυβδος) στην αρνητική. Η ποσότητα του ενεργού υλικού καθορίζει τη χωρητικότητα (σε Ah) της μπαταρίας. Τα τοιχεία διαχωρισμού παρεμβάλλονται μεταξύ των θετικών και αρνητικών πλακών για την αποφυγή της άμεσης ηλεκτρικής επαφής τους. Συνήθως κατασκευάζονται από κάποιο πλαστικό μικροπορώδες υλικό που δε μεταβάλλεται με τη δράση των οξέων. Η ιδιότητα του υλικού αυτού ως πορώδους επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη διάχυση του ηλεκτρολύτη.

Ως στοιχείο ενός συσσωρευτή ορίζεται ένα σύνολο θετικών πλακών, αρνητικών πλακών και τοιχείων διαχωρισμού, συναρμολογούμενο μαζί με τις αρτηρίες που διασυνδέουν τις θετικές και αρνητικές πλάκες. Ο ηλεκτρολύτης είναι το μέσο που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά του ηλεκτρικού φορτίου στο θετικό και αρνητικό ηλεκτρόδιο. Ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας μπορεί, επίσης, να συμμετέχει ευθέως στις δράσεις φόρτισης και εκφόρτισης. Η πυκνότητά του επιλέγεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή που ορίζονται για τις συνθήκες σχεδιασμού, οι οποίες διαμορφώνονται ανάλογα με το καθεστώς λειτουργίας στο οποίο θα υποβληθεί η μπαταρία.

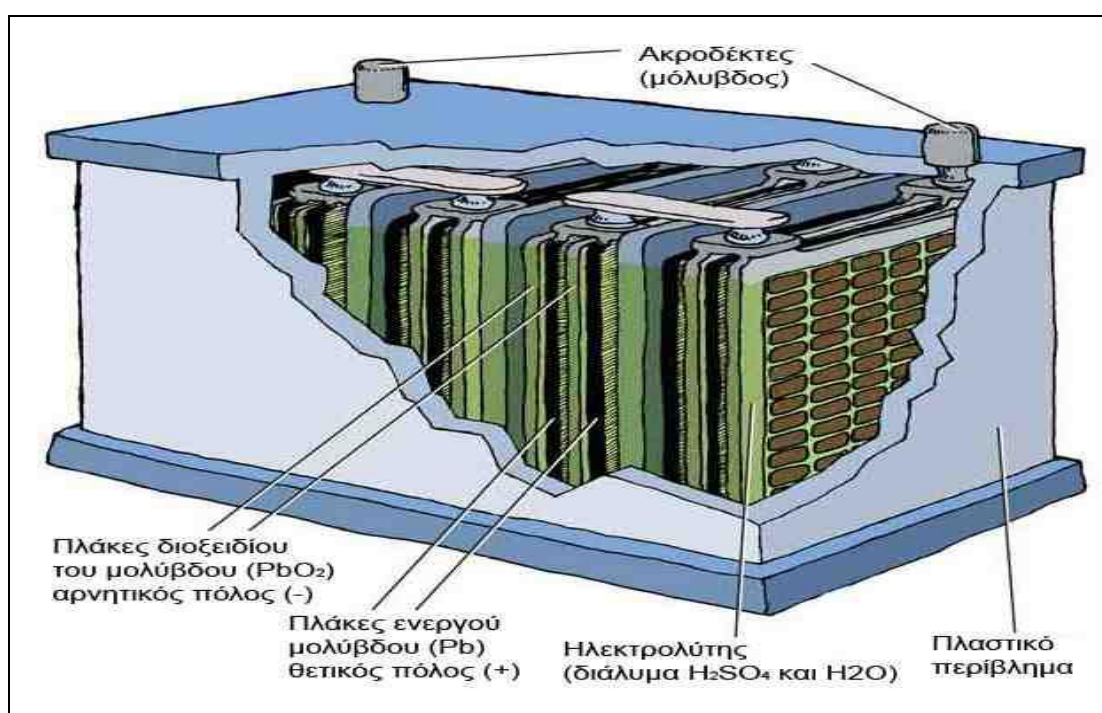
Στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος ο ηλεκτρολύτης είναι ένα διάλυμα θεικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) σε υγρή μορφή. Στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου ο ηλεκτρολύτης είναι ένα διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH). Γενικά οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Μερικά παραδείγματα επαναφορτιζόμενων συστημάτων μπαταριών είναι:

- Μολύβδου οξέος (Lead acid)
- Νικελίου καδμίου (Nickel cadmium)
- Νικελίου σιδήρου (Nickel iron)
- Υβριδικές νικελίου (Nickel hydride)
- Επαναφορτιζόμενες λιθίου διάφορων τύπων

Από τους παραπάνω τύπους, μόνο οι μπαταρίες μολύβδου οξέος και σε μικρό βαθμό οι νικελίου καδμίου χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι σήμερα. Οι μπαταρίες νικελίου σιδήρου σπάνια χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, και υποφέρουν από έναν ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης κάτι το οποίο τις καθιστά ακατάλληλες για τις περισσότερες φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Οι υβριδικές μπαταρίες νικελίου και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου είναι σχετικά σύγχρονες εξελίξεις και οι κύριες εφαρμογές τους μέχρι σήμερα είναι σε υψηλής αξίας ηλεκτρονικά αγαθά όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Δεν είναι ευρέως διαθέσιμες στις μεγάλες χωρητικότητες (εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες Ah) που απαιτούνται σε μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα. Είναι αρκετά πιο ακριβές ανά kWh σήμερα με σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και συχνά χρειάζονται μια αρκετά περίπλοκη προστασία για το

κύκλωμα φόρτισής τους, κάτι το οποίο δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί με τη μεταβλητή φύση των ρευμάτων φόρτισης των φωτοβολταϊκών. Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, η πρόοδος που έχει σημειωθεί στις μπαταρίες λιθίου έχει ανοίξει το δρόμο για τη χρησιμοποίησή τους σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Υπάρχουν και άλλοι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών υπό ανάπτυξη για μελλοντικές εφαρμογές μπαταριών σε ηλεκτρικά οχήματα ή ανύψωση φορτίου. Δεν είναι εμπορικά διαθέσιμοι ακόμα, εκτός από κάποιες περιορισμένες περιπτώσεις. Δεν υπάρχει κάτι που να δηλώνει προς το παρόν ότι κάποιες από αυτές τις μπαταρίες θα έχουν τις απαιτούμενες ιδιότητες ή την τιμή για να είναι ανταγωνιστικές στα φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει στο μέλλον.

Τα κύρια δομικά στοιχεία ενός συσσωρευτή είναι οι κυψέλες, οι πλάκες, το ενεργό υλικό, τα πλέγματα, τα τοιχία διαχωρισμού και ο ηλεκτρολύτης. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τα βασικά δομικά στοιχεία ενός συσσωρευτή μολύβδου-οξέος.



(Σχήμα 5.2) Συσσωρευτής μολύβδου-οξέος

## 5.1 Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών

- **Φόρτιση/εκφόρτιση:** Είναι οι διαδικασίες της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική (φόρτιση) ή της χημικής σε ηλεκτρική (εκφόρτιση) κατά το πέρασμα του ρεύματος από τον συσσωρευτή.
- **Χωρητικότητα:** Είναι η ποσότητα φορτίου που μια μπαταρία μπορεί να παρέχει κατά τη διάρκεια μιας εκφόρτισης. Η χωρητικότητα εξαρτάται από την ποσότητα του ενεργού υλικού των πλακών, από το ρυθμό της εκφόρτισης και τη θερμοκρασία.
- **Ονομαστική χωρητικότητα  $C_{100}$ :** ποσότητα φορτίου που μπορεί να αντληθεί από μια μπαταρία σε 100 ώρες, σε μια θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$ , ώσπου η τάση

ανάμεσα στα άκρα του να φτάσει τα 1,8V/κυψέλη. Αυτό το μέγεθος αναφέρεται στα φύλλα χαρακτηριστικών που δίδονται από τους κατασκευαστές και με αντίστοιχο τρόπο ορίζονται χωρητικότητες για διαφορετικές διάρκειες, πχ C<sub>20</sub>, C<sub>10</sub>, κοκ .

- **Ωφέλιμη χωρητικότητα:** είναι η ενεργός αξιοποιήσιμη χωρητικότητα της μπαταρίας. Ορίζεται ως το γινόμενο της ονομαστικής χωρητικότητας και του βάθους της επιτρεπόμενης εκφόρτισης, PD<sub>max</sub>.
- **Διαθέσιμη χωρητικότητα:** χωρητικότητα που έχουμε ανάλογα με έναν συνδυασμό συνθηκών λειτουργίας όπως το ρυθμό εκφόρτισης, τη θερμοκρασία, την κατάσταση της αρχικής φόρτισης και την τελική τάση της εκφόρτισης.
- **Ρυθμός φόρτισης (ή εκφόρτισης):** Παράμετρος που συσχετίζει την ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας και την τιμή του ρεύματος στην οποία λαμβάνει χώρα η φόρτιση (ή η εκφόρτιση). Εκφράζεται κανονικά σε ώρες και αναπαρίσταται ως ένας δείκτης στο σύμβολο της χωρητικότητας και του ρεύματος στο οποίο πραγματοποιείται η φόρτιση (ή η εκφόρτιση). Αν μία μπαταρία 400 Ah, για παράδειγμα, εκφορτίζεται σε 100 ώρες σε ένα ρεύμα 4 A, λέγεται πως ο ρυθμός εκφόρτισης είναι 100 ώρες (C<sub>100</sub> = 400 Ah).
- **Βάθος εκφόρτισης (PD):** Ο λόγος του αντλούμενου φορτίου μιας μπαταρίας προς την ονομαστική χωρητικότητά του. Εκφράζεται συνήθως επί τοις εκατό. Στον πίνακα 5.1 αναγράφεται η χωρητικότητα των συσσωρευτών ανάλογα με την τάση που υπάρχει στους πόλους τους. Οι τιμές είναι ενδεικτικές και αναμένεται να διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο και την κατάσταση ενός συσσωρευτή.

(Πίνακας 5.1) Χωρητικότητα συσσωρευτών ανάλογα με την τάση στους πόλους τους

Volt (άνευ φορτίου)	Volt (με φορτίο)	Volt (σε φόρτιση)	Κατάσταση
12,70	12,50	14,75	100%
12,55	12,41	13,74	90%
12,45	12,31	13,45	80%
12,35	12,25	13,31	70%
12,30	12,16	13,21	60%
12,20	12,00	13,10	50%
12,10	11,91	12,94	40%
12,00	11,70	12,75	30%
11,85	11,51	12,60	20%

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, η τάση που υπάρχει σε κάθε κατάσταση χωρητικότητας, διαφέρει ανάλογα με τον αν ο συσσωρευτής είναι σε κατάσταση ηρεμίας (άνευ φορτίου) ή αν τη στιγμή που μετράμε την τάση ταυτόχρονα εκφορτίζεται από κάποια φορτία, ή αν εκείνη τη στιγμή φορτίζεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

- **Κατάσταση φόρτισης (SOC):** Ο λόγος της απομένουσας χωρητικότητας μιας μπαταρίας, μερικώς εκφορτισμένης σε γενικές γραμμές, προς την

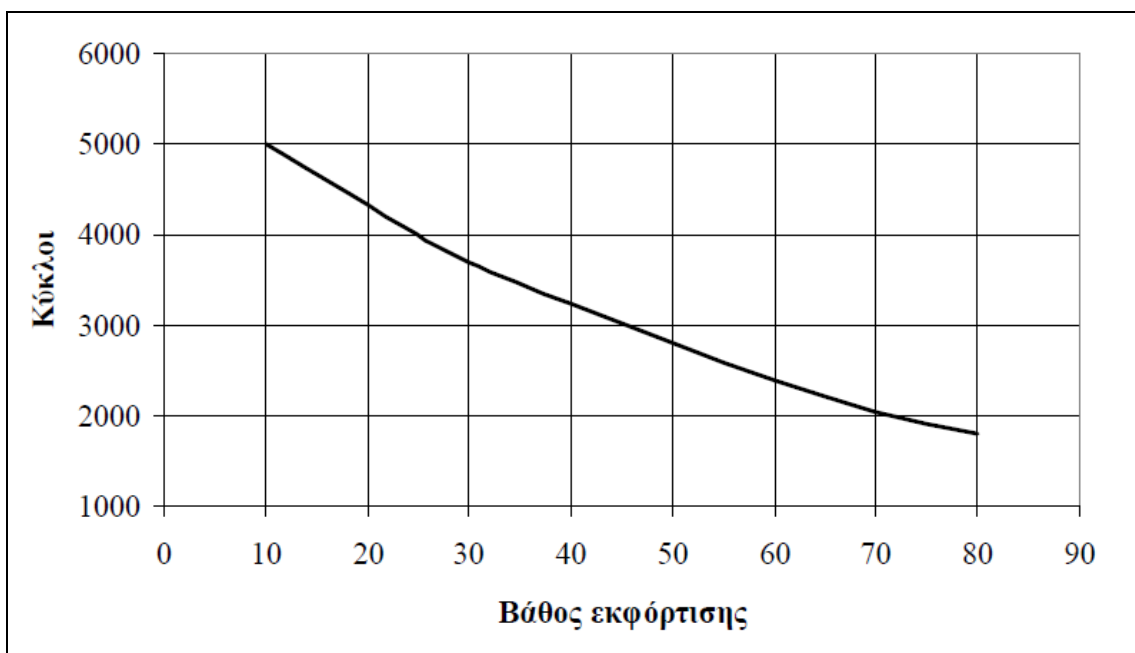
ονομαστική της χωρητικότητα. Εκφράζεται συνήθως επί τοις εκατό. Εξ ορισμού, ισχύει ότι  $PD + SOC = 100 \%$ .

(Πίνακας 5.2) Στάθμη φόρτισης σε σχέση με το βάθος εκφόρτισης

Στάθμη φόρτισης (SOC)	Βάθος εκφόρτισης (PD)
100%	0%
75%	25%
50%	50%
25%	75%
0%	100%

- **Κυψέλη:** Ηλεκτροχημική κυψέλη ή στοιχείο από το οποίο απαρτίζεται η μπαταρία και του οποίου η ονομαστική τάση είναι περίπου 2V.
- **Τάση αποκοπής:** Τάση κατά την οποία τερματίζεται η εκφόρτιση της μπαταρίας. Είναι συνάρτηση του ρυθμού της εκφόρτισης και του τύπου της μπαταρίας.
- **Αυτοεκφόρτιση:** Απώλεια φορτίου της μπαταρίας όταν αυτή παραμένει σε ανοιχτό κύκλωμα. Συνήθως εκφράζεται ως ένα ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας, μετρημένης για έναν μήνα, και σε μια θερμοκρασία 20°C.
- **Κύκλος:** Ακολουθία φόρτισης/εκφόρτισης για συγκεκριμένο βάθος και ρυθμό εκφόρτισης.

Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης είναι σχεδιασμένες να εκφορτίζονται επανειλημμένως κατά 80% της ικανότητάς τους χωρίς ζημιά, αν και τέτοιες βαθιές εκφορτίσεις οδηγούν σε μικρότερο αριθμό κύκλων κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.3) δείχνει ότι μία τυπική μπαταρία μολύβδου-οξέος βαθιάς εκφόρτισης μπορεί να κάνει 4000 κύκλους όταν εκφορτίζεται κατά 25% της ονομαστικής της ικανότητας, το οποίο μπορεί να δώσει διάρκεια ζωής πάνω από 10 χρόνια. Με ημερήσια εκφόρτιση κατά 80%, αναμένονται περίπου 1800 κύκλοι, οπότε η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι περίπου 5 χρόνια. Το παρακάτω διάγραμμα παρέχει μία χονδρική ένδειξη της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, άλλοι παράγοντες, όπως η ποιότητα της μπαταρίας, η συχνότητα συντήρησης, και οι ρυθμοί φόρτισης, είναι επίσης σημαντικοί.



(Εικόνα 5.3): επίδραση του βάθους εκφόρτισης στον αριθμό των κύκλων που μπορεί να παρέχει μία τυπική μπαταρία μολύβδου-οξέος βαθιάς εκφόρτισης.

**Ενεργειακή απόδοση:** Ο λόγος της αντλούμενης ενέργειας (σε Wh) της μπαταρίας κατά την εκφόρτιση προς την ολική ενέργεια που απαιτείται (σε Wh) για την αποκατάσταση της αρχικής φόρτισης. Στη γενική της μορφή, η ενέργεια σε Wh που μπορεί να αποδώσει η μπαταρία αναπαρίσταται από το γινόμενο:

$$E = \int_0^t U(t) \cdot I(t) dt$$

Όπου U η τάση σε V, I το ρεύμα εκφόρτισης σε A και t ο χρόνος εκφόρτισης σε ώρες.

## 5.2 Επιλογή συσσωρευτών

Οι μπαταρίες (Εικόνα 5.4) που θα εγκατασταθούν στο συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα είναι το μοντέλο ML220C της εταιρίας MEGALIGHT Είναι κλειστού τύπου, μολύβδου-οξέος, βαθιάς εκφόρτισης με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται συμπλήρωση υγρών. Στο σύστημα θα τοποθετηθούν δύο μπαταρίες 12V σε σειρά για την επίτευξη των 24V όπου είναι και η επιλεγείσα τάση του συστήματος. Στον πίνακα 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως, το βάρος, διαστάσεις, ονομαστική τάση καθώς και χωρητικότητες για διαφορετικές διάρκειες. διάφορων μοντέλων συσσωρευτών της εταιρίας MEGALIGHT. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι τυπωμένο με κόκκινο χρώμα.





(Εικόνα 5.4) Συσσωρευτής MEGALIGHT ML220C, μολύβδου-οξέος, κλειστού τύπου

(Πίνακας 5.3) Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών της εταιρείας MEGALIGHT

Τύπος Μπαταρίας	Ονομαστική Τάση [V]	Ονομαστική Χωρητικότητα C100 [Ah]	Ρεύμα Εκφόρτισης [A]	Διαστάσεις Μ/Π/Υ [mm]	Βάρος [kg]
81045	12	45	0.45	207 / 175 / 190	13.7
81060	12	57	0.57	242 / 175 / 190	16.5
81070	12	67	0.67	278 / 175 / 190	19.5
81090	12	83	0.83	353 / 175 / 190	25.1
ML1290M	12	83	0.83	308 / 175 / 210	26.0
ML1200C	12	100	1.00	353 / 175 / 233	29.5
ML140A	12	150	1.50	513 / 189 / 220	42.0
ML170B	12	180	1.80	513 / 223 / 223	49.8
ML185B	12	190	1.95	513 / 223 / 223	49.0
<b>ML220C</b>	<b>12</b>	<b>250</b>	<b>2.50</b>	<b>518 / 276 / 242</b>	<b>65.0</b>
6ML170	6	190	1.90	244 / 190 / 274	33.2

(Πίνακας 5.4) Χωρητικότητα συσσωρευτών της εταιρείας MEGALIGHT για διάφορους ρυθμούς εκφόρτισης

<b>Χωρητικότητα μπαταρίας C1 - C100 (Ah)</b>				
<b>Τύπος μπαταρίας</b>	<b>C1</b>	<b>C5</b>	<b>C10</b>	<b>C100</b>
81045	25	33	35	45
81060	33	43	49	57
81070	40	50	57	67
81090	50	67	74	83
ML1290M	50	67	74	83
ML1200C	55	75	85	100
ML140A	85	115	130	160
ML170B	100	135	150	190
ML185B	110	140	160	200
<b>ML220C</b>	<b>135</b>	<b>185</b>	<b>200</b>	<b>250</b>
6ML170	105	145	155	190

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ (INVERTER)

Ο μετατροπέας είναι η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα 230V. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα τροφοδότησης από τη μπαταρία του φωτοβολταϊκού συστήματος όλων των συσκευών που απαιτούν 230 Volt. Ο μετατροπέας συνδέεται με δύο καλώδια (κόκκινο το θετικό και μαύρο το αρνητικό) που εισέρχονται από τη Φ/Β εγκατάσταση πάνω στους πόλους της μπαταρίας. Ένας μετατροπέας χαρακτηρίζεται από τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στον πίνακα 6.1.

(Πίνακας 6.1) Χαρακτηριστικά μετατροπέα

Χαρακτηριστικό μετατροπέα	Μονάδες
Ονομαστική ισχύς	(VA)
Μέγιστη αποδοτικότητα	(%)
Ονομαστική τάση εισόδου	(V)
Εύρος τάσης εισόδου	(V)
Ονομαστική τάση εξόδου	(V)
Συχνότητα εξόδου	(Hz)
Συντελεστής φορτίου	(cosφ)
Στιγμιαία υπερφόρτιση	(%)
Θερμοκρασιακό εύρος	(°C)
Διαστάσεις	(mm)
Βάρος	(Kg)

Οι μετατροπείς διακρίνονται σε δύο τύπους ανάλογα με την κυματομορφή εξόδου τους: τροποποιημένου ημίτονου (modified sine-wave) και σε καθαρού ημίτονου (pure / true, sine-wave). Ένας μετατροπέας με τροποποιημένο ημίτονο, αν χρησιμοποιείται καθημερινά και για πολλές ώρες κάθε φορά φθείρει τις συσκευές και καταναλώνει έως και 20% περισσότερη ενέργεια από τη μπαταρία σε σχέση με έναν μετατροπέα καθαρού ημίτονου. Το μοναδικό μειονέκτημα που έχουν οι μετατροπείς καθαρού ημίτονου είναι η τιμή τους, αφού είναι τρεις έως τέσσερις φορές ακριβότεροι από έναν αντίστοιχο με τροποποιημένο ημίτονο. Ένα άλλο θέμα που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη είναι η ισχύς εκκίνησης. Κατά την εκκίνηση επαγωγικών φορτίων (π.χ. ψυγείο κινητήρες, πηνία κ.α.) απαιτούνται στιγμιαία (κατά την εκκίνηση του κινητήρα) πολλαπλάσια Watt (π.χ. τριπλάσια ή και παραπάνω) από αυτά της κανονικής τους λειτουργίας. Αυτό είναι κάτι που πρέπει να είναι γνωστό κατά την επιλογή του μετατροπέα. Ένας σύντομος τρόπος υπολογισμού για τη στιγμιαία υπερφόρτιση είναι ο εξής: Τα φορτία χωρίζονται, σε ωμικά, π.χ. λάμπες, τηλεόραση, ράδιο, και σε επαγωγικά π.χ. ψυγεία, αντλίες, λάμπες φθορισμού, κινητήρες A/C κ.α. Αθροίζουμε όλα τα ωμικά φορτία που θέλουμε να λειτουργούν συγχρόνως. Αθροίζουμε όλα τα επαγωγικά φορτία και πολλαπλασιάζουμε επί 3 τουλάχιστον. Αθροίζουμε τα δύο παραπάνω αθροίσματα, και το αποτέλεσμα δεν πρέπει να υπερβαίνει την στιγμιαία υπερφόρτιση του μετατροπέα, διαφορετικά θα υπάρχει άμεσος κίνδυνος καταστροφής του.

Το μοντέλο του μετατροπέα που θα εγκατασταθεί στο συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα είναι το (SOLARIX 900I Εικόνα 6.1) διαθέτει και εσωτερικό ρυθμιστή φόρτισης. Η ισχύς του είναι 900 W ενώ μπορεί να λειτουργεί επιτρέποντας τη διέλευση ρευμάτων DC μέχρι και 15A. Στο επάνω μέρος της συσκευής υπάρχει ένας

μικρός λαμπτήρας ο οποίος με την εναλλαγή χρώματος (κόκκινο-πράσινο) δείχνει ότι η συσκευή λειτουργεί. Στο μπροστινό μέρος υπάρχουν τρεις θύρες εκ των οποίων οι δύο αφορούν την τοποθέτηση του Φ/Β και του DC καταναλωτή στην περίπτωση που ο μετατροπέας διαθέτει εσωτερικό ρυθμιστή φόρτισης, ενώ η τρίτη θύρα δέχεται τους συσσωρευτές του συστήματος. Υπάρχει επίσης μια θύρα στην οποία τοποθετείται ένα ειδικό βύσμα και η οποία είναι η έξοδος εναλλασσόμενου ρεύματος του συστήματος όπου και μπορούν να τροφοδοτηθούν φορτία AC 220 V. Ο συγκεκριμένος μετατροπέας, λόγω της μικρής του ισχύος δεν μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία συσκευών όπως θερμοσίφωνες κουζίνας κ.α. Στον πίνακα 6.2 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετατροπέα.

(Πίνακας 6.2) Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα SOLARIX 900I

Ονομαστική τάση εισόδου	24V
Εύρος τάσης εισόδου	21-32V
Μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης	25A
Μέγιστο ρεύμα φορτίου DC	15A
Τάση εξόδου AC	220V +/- 10%
Συχνότητα ρεύματος εξόδου	50Hz
Μέγιστη απόδοση	92%
Μέγιστη ισχύς	900 W
Θερμοκρασία λειτουργίας	-15 έως +45 °C
Βάρος	7,5 kg
Διαστάσεις	312 x 245 x 114 mm



(Εικόνα 6.1) Μετατροπέας SOLARIX 900I

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ)

Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτών (controller) ή ρυθμιστής, ρυθμίζει την ροή του ρεύματος από την παράγωγή ενέργειας (Α/Γ, Φ/Β, Η/Ζ) προς τις μπαταρίες και διατηρεί την κανονική κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών. Όσο οι μπαταρίες πλησιάζουν στην πλήρη φόρτισή τους ο ρυθμιστής ελαττώνει το ρεύμα φόρτισης και εμποδίζει την υπερφόρτισή τους. Σε περίπτωση πλήρους φόρτισης των συσσωρευτών ο ελεγκτής στέλνει ένα μέρος της ενέργειας σε κάποιες αντιστάσεις για να καταναλωθεί. Σημαντικά χαρακτηριστικά ενός ρυθμιστή φόρτισης είναι:

- Χαμηλή τάση αποκοπής. Είναι τιμή τάσης του συσσωρευτή που όταν πραγματοποιηθεί ο ρυθμιστής αποσυνδέει το κύκλωμα από το φορτίο προλαμβάνοντας κάποια βλάβη και συμβάλλοντας στην σωστή λειτουργία της μπαταρίας.
- Υψηλή τάση αποκοπής. Είναι το άνω όριο της τάσης που μπορεί να έχει χωρίς αρνητικές συνέπειες ο συσσωρευτής ενώ σε μεγαλύτερη ή και ίση τιμή διακόπτεται η σύνδεση από τις ενεργειακές πηγές εμποδίζοντας την υπερφόρτιση.
- Διαρκής τάση φόρτισης. Είναι η τάση με την οποία φορτίζονται οι συσσωρευτές.
- Επανασύνδεση λειτουργίας. Είναι η τιμή της τάσης όπου ξανά-συνδέεται το διακεκομμένο κύκλωμα.

Συνήθως σε κάθε υβριδικό σύστημα που περιλαμβάνει πολλαπλές πηγές παραγωγής ενέργειας (Φ/Β γεννήτρια, Α/Γ ή/και Η/Ζ) πρέπει να υπάρχει ένας ρυθμιστής φόρτισης για κάθε πηγή. Σε αρκετές περιπτώσεις όμως υπάρχει η δυνατότητα να προμηθευτούμε κάποιον ελεγκτή φόρτισης που να μπορεί να δεχθεί δύο πηγές εισόδου. Μια τέτοια περίπτωση είναι ο ρυθμιστής που εγκαταστάθηκε στο σύστημα μας.

Οι ελεγκτές φόρτισης διακρίνονται σε MPPT (Maximum Power Point Tracking) και PWM (Pulse width modulation). Οι ρυθμιστές MPPT φέρνουν την απόδοση των Φ/Β στις πραγματικές τους αποδόσεις καθώς μπορούν να ανιχνεύσουν το σημείο μέγιστης ισχύος τους. Πιο αναλυτικά, ένας συμβατικός ρυθμιστής PWM μπορεί να μεταφέρει μόνο το 80% της παραγόμενης ενέργειας του Φ/Β με το υπόλοιπο 20% να χάνεται, λόγω του ότι οι απλοί ρυθμιστές δεν κάνουν ανίχνευση του μέγιστου σημείου ισχύος του Φ/Β. Ένας ρυθμιστής τύπου MPPT ανιχνεύει κάθε λεπτό το σημείο αυτό, δηλαδή την τάση και το ρεύμα του Φ/Β και μεταφέρει όλη την παραγόμενη ενέργεια στην μπαταρία. Με έναν ρυθμιστή MPPT παίρνουμε περίπου το 95% της ενέργειας που παράγεται από το Φ/Β.

## 7.1 Υπολογισμός και επιλογή του ρυθμιστή

Ο ρυθμιστής φόρτισης που θα επιλεγεί πρέπει να έχει ονομαστική τάση ίση με εκείνη του συστήματος, η οποία καθορίζεται από την τάση των φορτίων κατανάλωσης DC που συμπίπτει με την τάση του συστήματος συσσώρευσης. Επίσης, θα πρέπει να αντιστέκεται χωρίς να υποστεί βλάβες στη μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος, στα ακόλουθα:

- Ρεύμα στη γραμμή της Φ/Β γεννήτριας: 25% μεγαλύτερο από το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε κανονικές συνθήκες μέτρησης.
- Ρεύμα στη γραμμή κατανάλωσης: 25% μεγαλύτερο από την μέγιστη ένταση του φορτίου κατανάλωσης.

Στη συνέχεια θα πρέπει να υπολογιστεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης της Φ/Β γεννήτριας σε τυπικές συνθήκες μέτρησης.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Φ/Β πλαισίου είναι:

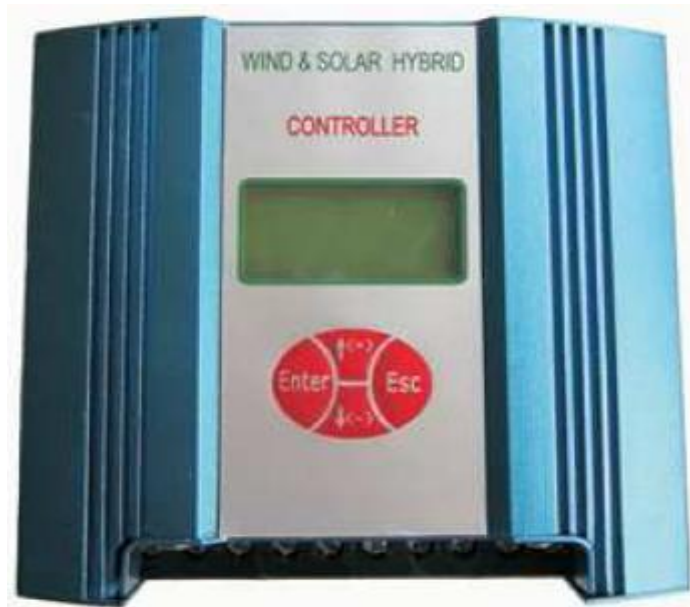
- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Ονομαστική τάση: 24 V</li><li>• Μέγιστη ισχύς, <math>P_{max}</math>: 100 Wp</li><li>• Ένταση σημείου μέγιστης ισχύος (STC), <math>I_{max}</math>: 2,95 A</li><li>• Τάση σημείου μέγιστης ισχύος (STC), <math>V_{max}</math>: 34 V</li><li>• Ρεύμα βραχυκύκλωσης, <math>I_{sc}</math>: 3,25 A</li><li>• Τάση ανοιχτού κυκλώματος, <math>V_{oc}</math>: 42 V</li></ul> |
|--|

Το σύστημα αποτελείται από έξι Φ/Β πλαίσια SM 100 σε παράλληλη σύνδεση. Σ' αυτή την περίπτωση, η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης στο πεδίο είναι:

$I_{sc, \Phi/B \text{ γεννήτρια}} = 6 \times I_{sc, \text{ πλαίσιο}} = 6 \times 3,25 \text{ A} = 19,5 \text{ A}$	7.1
--	-----

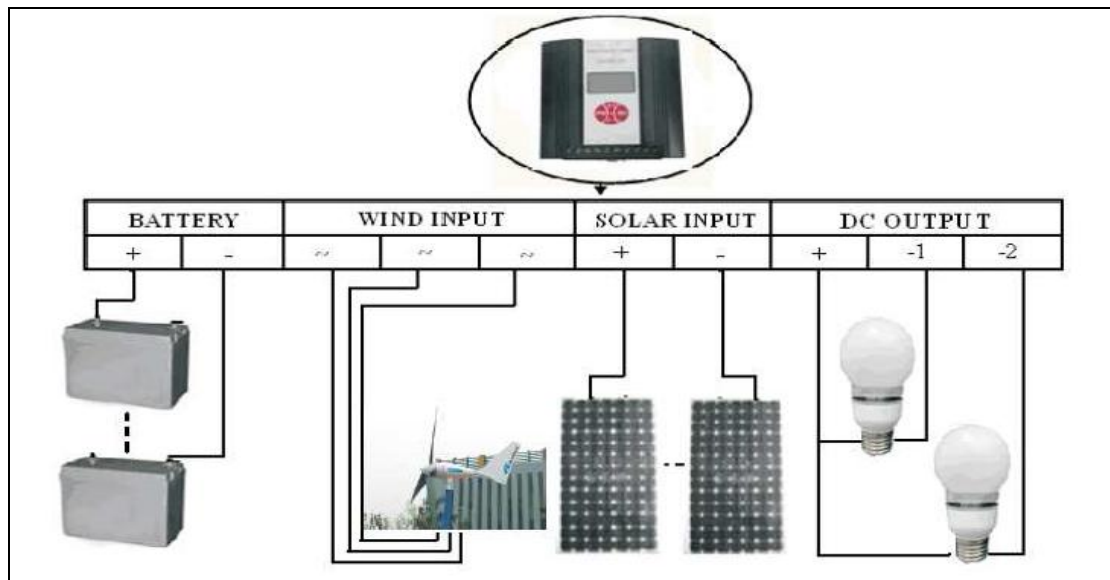
Αν εφαρμοστεί ο παράγοντας ασφαλείας του 25%, ο επιλεγμένος ρυθμιστής θα πρέπει να δέχεται ρεύμα 1,25 φορές μεγαλύτερο από το ρεύμα βραχυκύκλωσης των πλαισίων, δηλαδή 24,4 A.

Ο ρυθμιστής ρεύματος τύπου WWS03-24-N00D είναι τάσης 24 V και επιτρέπει ρεύμα διέλευσης 25 A, οπότε και επιλέχθηκε για την εγκατάσταση του συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος.



(Εικόνα 7.1) Ελεγκτής ρεύματος τύπου WWS03-24-N00D

Παρακάτω ακολουθούν ο τρόπος συνδεσμολογίας του ελεγκτή φόρτισης καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά με τα υπόλοιπα μέρη της εγκατάστασης (Εικόνα 7.2 και Πίνακας 7.1).



(Εικόνα 7.2) Συνδεσμολογία ρυθμιστή με τα υπόλοιπα μέρη της εγκατάστασης

(Πίνακας 7.1) Τεχνικά χαρακτηριστικά ελεγκτή φόρτισης

Rated Battery Voltage	12V	24V	48V
Rated Wind Turbine Power	300/400W	600W	600W
Wind Turbine Maximum Input Power	500W	1000W	1000W
PV Power	150W	300W	300W
Unload Voltage	14V	28V	56V
Unload Current	25A	25A	25A
Battery Over-discharge Voltage Shutoff	11V	22V	42V
Battery Over-discharge Voltage Recovery	12V	24V	48V
Output Protection Voltage	16V	32V	64V
PV Voltage Of Light-Control On	1.0V	2V	4V
PV Voltage Of Light-Control Off	1.5V	3V	6V
Line 1 Rated Output Current	10A		
Line 2 Rated Output Current	10A		
Line 1 Output Mode(Factory Default)	3 Modes selection (Light-control on and Light-control off)		
Line 2 Output Mode(Factory Default)	3 Modes selection (Light-control on and time-control 5 hours)		
Control Mode	PWM		
Display Mode	LCD		
Quiescent Current	$\leq 20$ mA		

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα Φ/Β πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εγκατάσταση ήταν μεταχειρισμένα και μετά από ηλεκτρικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε πως η ισχύς τους είχε μειωθεί κατά 50%, με αποτέλεσμα η Φ/Β γεννήτρια στο σύνολό της να μπορεί να παράγει μέγιστη ισχύ 300 W αντί για την ονομαστική ισχύ των 600 W. Αυτός ήταν ο λόγος που επιλέχθηκε ο ρυθμιστής με PV Power στα 300 W.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί επίσης πως ο μετατροπέας (inverter) τροφοδοτείται με ρεύμα απευθείας από τις μπαταρίες με αποτέλεσμα ο ρυθμιστής να μη διαρέεται από το φορτίο των καταναλώσεων. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν ο μετατροπέας είχε τροφοδοτηθεί με ρεύμα από την έξοδο του ρυθμιστή θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς ο παρακάτω τύπος (7.2) για να γίνει γνωστό το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα που θα διαρρέει τον ρυθμιστή.

Το ρεύμα που καταναλώνουν οι τέσσερις προβολείς των 100 W (φορτία συστήματος) θα είναι:

$I_{\text{καταναλωσις}} = \frac{P}{V} = \frac{400 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 16,6 \text{ A}$	7.2
--	-----

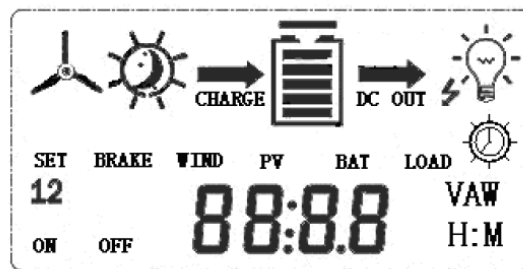
















Ο φορτιστής *WWS03-24-N00D* με τη βοήθεια μιας LCD οθόνης και μία σειρά ενδεικτικών συμβολισμών μπορεί να ενημερώνει των χρήστη για την κατάσταση που βρίσκεται το υβριδικό σύστημα την εκάστοτε στιγμή σε σχέση με την ηλιοφάνεια, το αιολικό δυναμικό, την κατάσταση των μπαταριών, και την κατάσταση των ρευμάτων και τάσεων από τις γεννήτριες (Φ/Β και Α/Γ). Επίσης διαθέτει χρονόμετρο για την ρύθμιση ενεργοποίησης εξόδου ρευμάτων DC, καθώς ο ρυθμιστής διαθέτει δύο εξόδους DC, line 1 και line 2 για ελεγχόμενα φορτία έως και 10 A έκαστος.

Στις παρακάτω εικόνες 7.3 και 7.4 φαίνεται ο ρυθμιστής σε κατάσταση λειτουργίας και τα διάφορα σύμβολα και η σημασία τους.



(Εικόνα 7.3) Ο ρυθμιστής σε ώρα λειτουργίας



- 1)  symbolizes the wind turbine.
- 2)  symbolizes the day,  symbolizes the night.
- 3)  symbolizes the battery, internal strip graph represents the status of battery power. The symbol  is flashing when the battery is over-discharge, this flashing will not stop until over-discharging recover ;The symbol  is flashing when the battery is over-voltage,The flashing will not stop until over-voltage receive.
- 4)  symbolizes the status of load and error
  -  stands for normal load without output ,  stands for normal load with output .
  - The symbol  flashing stands for over-load, users must remove the extra load, click “Esc” key to recover the over-load
  - The symbol of short-circuit  flashing stands for short-circuit protection status, users should check load wiring, confirm the line wiring is normal and press “ Esc “ key to recover the short-circuit
- 5)  symbolizes light-control and time-control.  symbolizes light-controll on and light-control off.  symbolizes light control on and time control off.
- 6) The character "SET" symbolizes the setting status.
- 7) The character "12" symbolizes the first output and the second output.
- 8) **88:8.8** is parameters showing. The LCD displays all system status value and system parameters with intuitive digital and graph.

(Εικόνα 7.4) Συμβολισμοί και επεξηγήσεις του ρυθμιστή

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

### ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### 8.1 Εγκατάσταση εξωτερικού χώρου

Το κεφάλαιο αυτό έχει στόχο να παρουσιάσει με όσο το δυνατόν περισσότερη λεπτομέρεια τα βήματα της εγκατάστασης του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Η εγκατάσταση αυτή υλοποιήθηκε στην οροφή του ΤΕΙ και χωρίστηκε σε δύο τμήματα:

- Εγκατάσταση εξωτερικού χώρου. Σε αυτό το τμήμα εγκαταστάθηκαν τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πλαίσια και η ανεμογεννήτρια (Α/Γ).
- Εγκατάσταση εσωτερικού χώρου. Στο τμήμα αυτό εγκαταστάθηκαν οι μπαταρίες (συσσωρευτές), ο μετατροπέας, ο ρυθμιστής, ο πίνακας DC, ο πίνακας AC, δύο εξωτερικές πρίζες, ένας διακόπτης και εξωτερικά κανάλια για την τοποθέτηση των καλωδίων.



(Εικόνα 8.1) Εγκατάσταση εξωτερικού χώρου

## 8.2 Εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων

Για την εγκατάσταση των Φ/Β πλαισίων πρωταρχική σημασία έχει η βάση τοποθέτησης τους, ο σωστός προσανατολισμός σε σχέση με το αζιμούθιο και η ιδανική κλίση. Η βάση που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη εγκατάσταση υπήρχε από παλαιότερη εγκατάσταση και το μόνο που χρειάστηκε ήταν να μεταφερθεί στο σημείο της υπάρχουσας εγκατάστασης.

Η βάση είναι αρθρωτές (Εικόνα 8.2) στις οποίες τοποθετούνται τα Φ/Β ανά ζεύγος και οι οποίες αποτελούνται από μεταλλικές ράβδους επάνω στις οποίες βιδώνονται τα Φ/Β πλαίσια. Οι πρόσθετοι βραχίονες διαθέτουν οπές, οι οποίες δίνουν την επιλογή αλλαγής της κλίσης των Φ/Β πλαισίων για την καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σύμφωνα με την εποχή και συνεπώς την μέγιστη απόδοση ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



(Εικόνα 8.2) Αρθρωτές βάσεις Φ/Β πλαισίων.

Η βάση δεν μπορούσε να τοποθετηθεί απευθείας επάνω στην οροφή του κτιρίου και να βιδωθεί κατάλληλα πάνω σε αυτή λόγω της υπάρχουσας μόνωσης. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένα μεταλλικό πλαίσιο αποτελούμενο από συγκολλημένες με ηλεκτροκόλληση ράβδους, το οποίο στηρίχθηκε στο περιμετρικό τοίχιο με μεταλλικές γωνιές. Αφού τοποθετήθηκε το μεταλλικό πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώθηκαν οι βάσεις, επιλέχθηκε η θέση τοποθέτησης η οποία έχει προσανατολισμό προς Νότο για την επίτευξη όσο δυνατόν της υψηλότερης απόδοσης των Φ/Β. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν και στερεώθηκαν κατάλληλα με τη χρήση ροδελών ασφαλείας τα ζεύγη των βάσεων ενώ οι μεταλλικοί βραχίονές τους βιδώθηκαν με τη χρήση στριφονιών στο περιμετρικό τοίχιο καθιστώντας την κατασκευή σταθερή,



επιτρέποντας παράλληλα την αλλαγή της κλίσης των βάσεων και κατ' επέκταση και των Φ/Β.

Τα Φ/Β πλαίσια SM-100 διαθέτουν τρεις τάσεις εξόδου (12V, 24V, 36V) ανάλογα με το σημείο σύνδεσης στο κουτί που βρίσκεται στο πίσω μέρος του (Εικόνα 8.3). Για να μην αυξηθεί το ρεύμα που θα διατρέχει το κύκλωμα συνδέοντας τα 6 Φ/Β παράλληλα μεταξύ τους (πολύ υψηλές και επικίνδυνες τιμές ρεύματος), επιλέχθηκε να συνδεθούν τα πλαίσια ανά δύο σε σειρά λαμβάνοντας 24V στην έξοδο και στη συνέχεια τις τρεις σειρές παράλληλα αυξάνοντας έτσι το ρεύμα της εξόδου. Συνεπώς η συνολική ισχύς των Φ/Β είναι  $6 \times 100W = 600W$ . Από τον τύπο της ισχύος έχουμε  $P = V \times I \Rightarrow I = P/V = 600W / 24V = 25A$  που είναι και το ρεύμα στην έξοδο του συστήματος.



(Εικόνα 8.3) Υδατοστεγές κουτί στο πίσω μέρος του Φ/Β πλαισίου

Στη συνέχεια η έξοδος του συστήματος οδηγήθηκε μέσα από πλαστικό στεγανό σωλήνα σε υδατοστεγές ηλεκτρικό διακλαδωτήρα (Εικόνα 8.4) και από εκεί στο εσωτερικό χώρο του κτιρίου όπου και καταλήγουν στον πίνακα DC.



(Εικόνα 8.4) Ηλεκτρικός διακλαδωτήρας

Τα Φ/Β πλαίσια γειώθηκαν μεταξύ τους με καλώδιο διατομής  $6\text{mm}^2$  χρώματος κίτρινου και στη συνέχεια η γείωση συνδέθηκε με την κεντρική γείωση του κτιρίου.

Τα καλώδια που συνδέουν τα Φ/Β μεταξύ τους μονώθηκαν στις συνδέσεις για την αποφυγή δυσάρεστων βραχυκυκλωμάτων, ενώ με δεματικά καλωδίων διασφαλίστηκε η σταθερότητά τους για να μην παρουσιάζουν ταλαντώσεις σε περίπτωση ισχυρών ανέμων. Τέλος η τάση και η ένταση ρεύματος εξόδου μετρήθηκαν και επαληθεύτηκαν με την χρήση πολυμέτρου. Τα Φ/Β είναι μια κατασκευή που δεν χρειάζεται ιδιαίτερη συντήρηση εκτός από το καθάρισμα της γυάλινης επιφάνειας που καλύπτει τις κυψέλες, καθώς η σκόνη επικάθεται και περιορίζει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι τελευταίοι μηχανικοί και ηλεκτρικοί έλεγχοι σήμαναν και την ολοκλήρωση της Φ/Β.

### 8.3 Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας

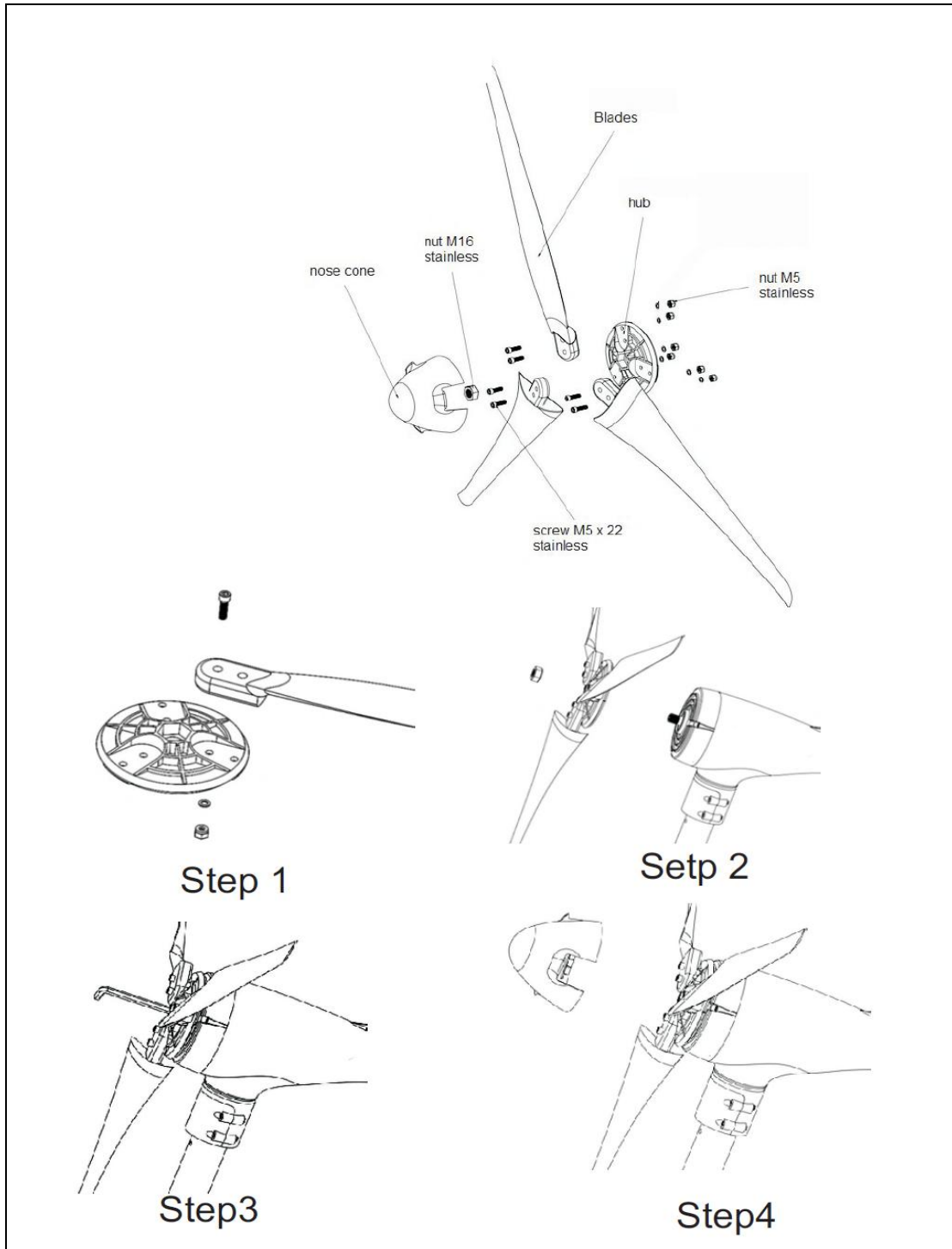
#### 8.3.1 Ιστός στήριξης της ανεμογεννήτριας

Κριτήριο για την επιλογή στήριξης του ιστού της Α/Γ ήταν η μορφολογία του χώρου, ο διαθέσιμος χώρος και το κόστος. Για τις μικρές ιδιωτικής χρήσεως Α/Γ η συνηθέστερη στήριξή τους σε ιστούς είναι από 4 έως 10m. Στην προκειμένη περίπτωση, αφού μελετήθηκε ο χώρος που θα τοποθετηθεί η Α/Γ, επιλέχθηκε ιστός από γαλβανισμένο σίδηρο διατομής 4 ιντσών και ύψος 4m και η στήριξή της έγινε επάνω σε οπλισμένο σκυρόδεμα και σε ύψος 1m από την οροφή του ΤΕΙ με την βοήθεια τεσσάρων μεταλλικών βάσεων (Εικόνα 8.5), των οποίων η στήριξή τους έγινε με στριφώνια μπετού διατομής  $12\text{mm}^2$ , μήκους 10cm και ροδέλες. Ο λόγος που ώθησαν στην απόφαση αυτή ήταν ότι η οροφή του ΤΕΙ καλύπτεται από γεωύφασμα και χαλίκι για την σωστή μόνωση και στεγάνωση του κτιρίου. Αν η μεμβράνη αυτή τρυπηθεί υπάρχει η πιθανότητα με το πέρασμα του χρόνου να καταστραφεί όλη η μόνωση καθώς θα εισχωρούν νερά μεταξύ της οροφής και της μόνωσης με αποτέλεσμα να εισέρχεται ανεπιθύμητη υγρασία στον εσωτερικό χώρο.



(Εικόνα 8.5) Μεταλλικές βάσεις στήριξης ιστού

Στη συνέχεια ακολούθησε η συναρμολόγηση και η εγκατάσταση της Α/Γ επάνω στον ιστό στήριξης. Αρχικά συναρμολογήθηκε η Α/Γ λαμβάνοντας υπόψη όλες τις συνθήκες ασφάλειας κάτω από τις οποίες πρέπει να γίνει αυτή η διαδικασία (Εικόνα 8.6). Επάνω στον ειδικό μεταλλικό δίσκο τοποθετήθηκαν τα πτερύγια της Α/Γ (προσοχή δόθηκε στο σημάδι που έχουν τα πτερύγια ώστε να βλέπουν όλα προς την ίδια πλευρά) και βιδώθηκαν με τα παξιμάδια ασφαλείας που υπήρχαν στη συσκευασία. Κατόπιν ο δίσκος τοποθετήθηκε στην κατάλληλη υποδοχή στο μπροστινό μέρος της Α/Γ και βιδώθηκε προσεκτικά. Τέλος τοποθετήθηκε το πλαστικό κάλυμμα.



(Εικόνα 8.6) Βήματα συναρμολόγησης της Α/Γ

Στη συνέχεια η Α/Γ προσαρμόστηκε πάνω σε γαλβανισμένο σίδηρο μικρότερης διατομής ( 48 mm) και μήκους (30 cm) και με την βοήθεια μεταλλικής διαστολής (Εικόνα 8.7) βιδώθηκε πάνω στον ιστό.



(Εικόνα 8.7) Σύνδεση Α/Γ στον ιστό

Έπειτα ο ιστός με την Α/Γ σηκώθηκε από το έδαφος και τοποθετήθηκε επάνω στις μεταλλικές βάσεις όπου και βιδώθηκε στην τελική της θέση. Ακολούθησε η τοποθέτηση του δακτυλίου με τις προεξοχές όπου περάσανε οι αντηρίδες (σχήμα 8.8). Ο δακτύλιος αυτός τοποθετήθηκε στα μέσα του άνω μισού του ιστού περίπου και βιδώθηκε κατάλληλα χρησιμοποιώντας βίδες και παξιμάδια, καθώς και ροδέλες που εξαλείφουν την ανοχή κίνησης των μερών. Σε τρία επιλεγμένα σημεία (2 επάνω στο περιμετρικό τοίχιο και 1 επάνω στην οροφή του προθάλαμου της οροφής) ανοίχθηκαν οπές όπου και τοποθετήθηκαν ειδικά μεταλλικά στριφώνια (θηλιές) και με τη βοήθεια ειδικών γάντζων πραγματοποιήθηκε η σύσφιξη των αντηρίδων, τόσο ώστε να είναι απόλυτα σταθερή η κατασκευή, χωρίς κανένα περιθώριο ταλάντωσης.





(Εικόνα 8.8) Δακτύλιος μαζί με τις αντηρίδες

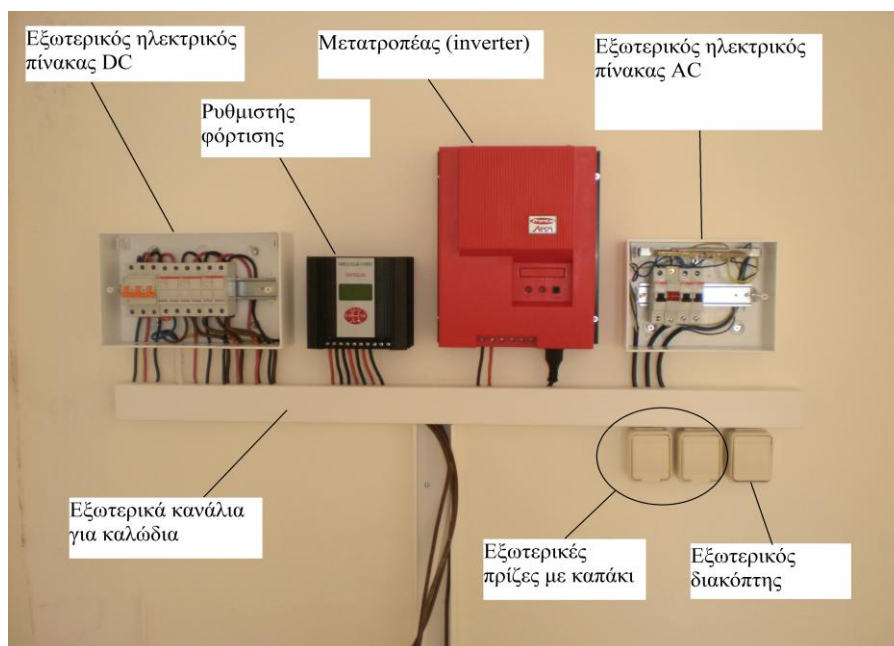
Τέλος η εγκατάσταση της Α/Γ ολοκληρώθηκε (Εικόνα 8.9) οδηγώντας τα καλώδια της Α/Γ στο εσωτερικό του κτιρίου και γειώνοντας τον ιστό με καλώδιο διατομής  $6\text{mm}^2$  χρώματος κίτρινο όπου συνδέθηκε με την κεντρική γείωση του κτιρίου.



(Εικόνα 8.9) Ολοκλήρωση εγκατάστασης της Α/Γ.

## 8.4 Εγκατάσταση εσωτερικού χώρου

Στο εσωτερικό της οροφής του ΤΕΙ εγκαταστάθηκαν οι ηλεκτρολογικοί πίνακες (πίνακας DC και AC), ο μετατροπέας (inverter), ο ρυθμιστής φόρτισης, οι συσσωρευτές, ειδικά κανάλια για την τοποθέτηση των αγωγών, δυο εξωτερικές πρίζες με καπάκι ασφαλείας, ένας εξωτερικός διακόπτης και ένας προβολέας (Εικόνα 8.10).



(Εικόνα 8.10) Μέρος της εγκατάστασης εσωτερικού χώρου.

Για την στερέωσή τους ανοίχθηκαν τρύπες στο τοιχίο με τρυπάνι διατομής  $6\text{mm}^2$  και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν με ανάλογης διατομής βίδες και πλαστικά ούπα. Για την σωστή λειτουργία τους και την αποφυγή υπερθέρμανσης οι συσκευές (ρυθμιστής και μετατροπέας) τοποθετήθηκαν σε ασφαλή απόσταση μεταξύ τους. Στη συνέχεια ανοίχθηκαν τρύπες στους πίνακες και στα κανάλια για την είσοδο και έξοδο των καλωδίων.

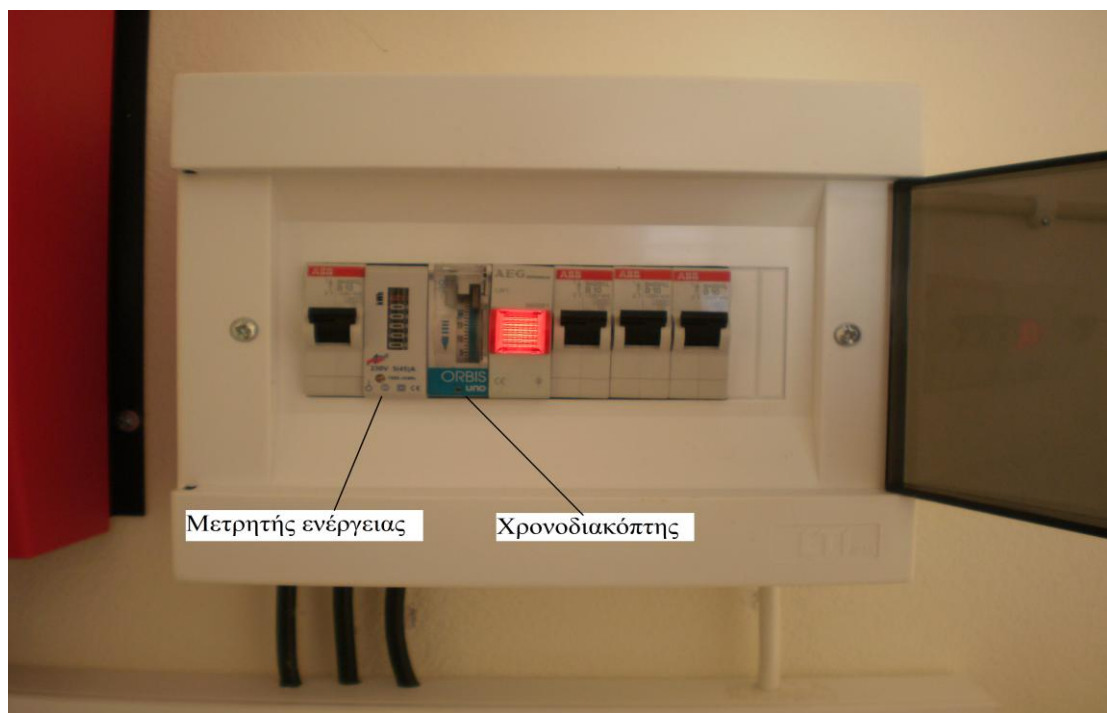
Αρχικά συνδέθηκαν οι δυο συσσωρευτές των 12V σε σειρά (Εικόνα 8.11) έτσι ώστε να μας εξασφαλίζουν την επιθυμητή τάση των 24V. Για τη σύνδεσή τους χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί σύνδεσμοι από χαλκό, ενώ για την ολική έξοδό τους χρησιμοποιήθηκε πολύκλωνο μονοπολικό καλώδιο διατομής  $2 \times 10\text{mm}^2$  και σε κάθε πόλο της μπαταρίας. Οι συσσωρευτές τοποθετήθηκαν ακριβώς κάτω από το σημείο όπου τοποθετήθηκαν οι πίνακες με τις υπόλοιπες συσκευές. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν οι ασφάλειες στους πίνακες.

Στη συνέχεια οι συσκευές συνδέθηκαν μεταξύ τους και με τα άλλα τμήματα του συστήματος (Α/Γ και Φ/Β) μέσω των ασφαλειών που τοποθετήθηκαν στους πίνακες.



(Εικόνα 8.11) Συσσωρευτές συνδεδεμένοι σε σειρά

Τέλος, στον πίνακα AC τοποθετήθηκε ένας μετρητής ενέργειας και ένας χρονοδιακόπτης, έτσι ώστε να ελέγχονται οι ώρες λειτουργίας των φορτίων. Ο σκοπός των προσηκόντων αυτών είναι ο έλεγχος της συμπεριφοράς του συστήματος σε διάφορες ώρες του εικοσιτετραώρου με στόχο την επαλήθευση της μελέτης.



(Εικόνα 12.8) Μετρητής ενέργειας και χρονοδιακόπτης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραπάνω πτυχιακή εργασία αποτελεί μια ολοκληρωμένη διαστασιοδότηση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συνίσταται από δύο μέρη, το θεωρητικό και το κατασκευαστικό. Το θεωρητικό μέρος αποτελείται από εισαγωγικά θέματα που αφορούν βασικές αρχές της τεχνολογίας, της φυσικής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την μελέτη του συστήματος. Αυτά σχετίζονται και είναι απαραίτητα για την σωστή εγκατάσταση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Τέλος η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με το κατασκευαστικό μέρος και την επαλήθευση της διαστασιοδότησης.

Για την κατασκευή του συστήματος χρειαστήκαν πολλά υλικά και αρκετή εργασία καθώς η εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί αρκετό χρόνο. Η αναζήτηση των υλικών έγινε με κριτήριο την αξιοπιστία τους ως προς την απόδοση και την σωστή λειτουργία τους και το χαμηλό κόστος αγοράς. Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 9.1) περιέχει τα βασικότερα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση καθώς και το κόστος τους ώστε να γίνει η αποτίμηση του έργου. Εδώ πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός πως κάποια υλικά υπήρχαν διαθέσιμα ήδη στο ΤΕΙ αρκετό καιρό πριν την έναρξη εγκατάστασης, όπως για παράδειγμα τα Φ/Β πλαίσια και τα καλώδια, ως εκ τούτου το κόστος αγοράς τους είναι συμπληρωμένο στον πίνακα σύμφωνα με τα δεδομένα που επικρατούσαν το διάστημα που πραγματοποιήθηκε η αγορά των υπόλοιπων υλικών.

(Πίνακας 9.1) Ενδεικτικός πίνακας υλικών

ΕΙΔΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ
Φ/Β πλαίσιο ShellSolar SM-100	6	900 €
A/Γ Dynamo V-400	1	600 €
Μετατροπέας (Solarix Sinus 900 I)	1	500 €
Ρυθμιστής ρεύματος τύπου WWS03-24-N00D	1	250 €
Συσσωρευτές MEGALIGHT ML220C	2	640 €
Ηλεκτρικοί πίνακες	2	30 €
Καλώδια (διάφορες διατομές)	-	100 €
Ασφάλειες, μετρητής ενέργειας, χρονοδιακόπτης και διάφορες άλλες διατάξεις πινάκων	-	170 €
Βάσεις για Φ/Β πλαίσια	-	280€
Ιστός και βάσεις για A/Γ	-	70€
Αντηρίδες στήριξης ιστού διατομής 6mm <sup>2</sup>	-	20€
Βίδες και διάφορα άλλα μηχανολογικού εξοπλισμού	-	50€
Σωλήνες, εξωτερικά κανάλια και διάφορα άλλα ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	-	50€
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>3660 €</b>

Χονδρικά, το σύστημα υπολογίστηκε για να παρέχει 0,5 kWh/μέρα, αυτό σημαίνει πως κάθε χρόνο θα παρέχει 182,5 kWh. Πολλαπλασιάζοντας το 182,5 kWh με το 0,15 €/kWh που είναι περίπου η τιμή αγοράς από τη ΔΕΗ, εύκολα βγαίνει το συμπέρασμα πως για αυτή την κατανάλωση ενέργειας, κάθε χρόνο το οφειλόμενο ποσό προς την ΔΕΗ θα ήταν 27,4 € και ως εκ τούτου για την απόσβεση του συστήματος θα χρειαστούν 133 χρόνια περίπου. Κάτι τέτοιο δείχνει πως, προς το παρόν αυτή η τεχνολογία είναι εφαρμόσιμη για απομακρυσμένες περιοχές όπου η ηλεκτροδότηση από το δίκτυο είναι αδύνατη ή αρκετά δαπανηρή. Το περιβαλλοντικό κέρδος είναι 200 κιλά λιγότερο CO<sub>2</sub> ανά έτος, καθώς για κάθε κιλοβατώρα εκλύεται στην ατμόσφαιρα 1,09 CO<sub>2</sub>.

Για την παρατήρηση του υβριδικού συστήματος και την συλλογή των δεδομένων χρειαζόταν καθημερινή φυσική παρουσία, καθώς το σύστημα παρακολούθησης αποτελείται από έναν χρονοδιακόπτη και έναν μετρητή ενέργειας. Ο σκοπός του χρονοδιακόπτη είναι να κατανέμει τα φορτία ομοιόμορφα κατά την διάρκεια της μέρας για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του συστήματος σε διαφορετικές καταστάσεις σε σχέση με την ενεργειακή ζήτηση, ως εκ τούτου οι μετρήσεις δώσανε μια γενική εικόνα.

Κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος ελέγχου λειτουργίας, η συμπεριφορά του συστήματος ήταν άψογη, καθώς η αυτονομία των πέντε ημερών χωρίς ηλιοφάνεια και άνεμο με κατανάλωση 400 Wh κάθε ημέρα ελέγχθηκε βγάζοντας εκτός λειτουργίας την ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά και αφήνοντας τα φορτία και τους συσσωρευτές να λειτουργούν χωρίς την υποστήριξή τους. Τέλος το σύστημα ελέγχθηκε κάτω από διαφορετικές καταστάσεις, όπως μόνο με την ανεμογεννήτρια ή μόνο με τα φωτοβολταϊκά, με ή χωρίς επαγωγικά φορτία και η συμπεριφορά του ήταν πολύ καλή.

Στις επεκτάσεις της παρούσας εργασίας περιλαμβάνεται η συνολική αποτίμηση της λειτουργίας του συστήματος, η οποία απαιτεί τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων που αφορούν ένα μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας του (τουλάχιστον ενός έτους). Επιπλέον, θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί η συμπεριφορά του συστήματος για διαφορετικούς τύπους φορτίων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Ιωάννης Κ. Καλδέλλης - Κοσμάς Α. Καββαδίας (*Υπολογιστικές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας*) Εκδόσεις Σταμούλη

Notes of University Camilo José Cela (*Renewable Energy Engineering*)

Ι.Ε. Φραγκιαδάκης (*Φωτοβολταϊκά συστήματα*) Εκδόσεις Ζήτη

Μανώλης Καραπιδάκης Εργαστήριο ΤΕΙ Κρήτης (*Ηπιων Μορφών Ενέργειας Ι*)

Μανώλης Καραπιδάκης Εργαστήριο ΤΕΙ Κρήτης (*Ηπιων Μορφών Ενέργειας ΙΙ*)

Σημειώσεις Μαθήματος «Σχεδιασμός & Διαχείριση Συστημάτων ΑΠΕ»

Steca. Fronius SOLARIX 900I Manual.

SIEMENS. Solar Module SM-100 Manual.

MEGALIGHT ML220C 220Ah, C-100/12V AGM Manual.

Advanced Wind/Solar Hybrid (Street Light) Controller Manual.

Wind turbine Dynamo V-400 Manual

Παραγωγή ηλεκτρισμού με μικρά συστήματα ΑΠΕ & ΣΗΘ για κατοικίες και μικρές επιχειρήσεις [www.home-electricity.org](http://www.home-electricity.org)

ΚΑΠΕ (*Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας*)

<http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24761&locale=el>