


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :  Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ
1.1

1.1.1.1

Εγκατάσταση, λήψη μετρήσεων & αξιολόγηση

Υβριδικού συστήματος Φ/Β - Α/Γ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΡΙΣΤΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : Δρ. ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ

1.1.1.1 ΧΑΝΙΑ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	1
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΤΥΠΟΙ.....	9
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	10
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
ΔΟΜΗ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι και τεχνολογία	14
1.1 Εισαγωγή	14
1.2 Αιολική τεχνολογία.....	16
1.2.1 Η ιστορία της αιολικής μηχανής.....	16
1.2.2 Κλιματολογικές συνθήκες – Αιολική ενέργεια.....	19
1.2.3 Αιολικό δυναμικό.....	22
1.2.4 Σύγχρονες ανεμογεννήτριες.....	24
1.3 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία.....	27
1.3.1 Ηλιακή ενέργεια.....	27
1.3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	30
1.3.3 Solar cell (Φωτοβολταϊκά πλαίσια)	31
1.3.4 Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.....	33
1.3.5 Συμπεράσματα	36
1.4 Υβριδικά συστήματα.....	38
1.4.1 Εισαγωγή	38
1.4.2 Υβριδική τεχνολογία & εφαρμογή της	38
1.4.3 Η ξένη εμπειρία	39
1.4.4 Η Ελληνική εμπειρία	42
1.4.5 Συμπεράσματα	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Περιγραφή της εγκατάστασης	51
2.1 Ανεμογεννήτρια	51
2.1.1 Εισαγωγή	51

2.1.2	Περιγραφή των τμημάτων της Α/Γ	52
2.1.3	Ηλεκτρονικός εξοπλισμός.....	54
2.1.4	Συναρμολόγηση	56
2.1.5	Επιλογή καλωδίωσης & ασφαλειών λειτουργίας	57
2.1.6	Απόδοση λειτουργίας.....	60
2.1.7	Κίνδυνοι εγκατάστασης & λειτουργίας	62
2.2	Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας	63
2.2.1	Επιλογή της θέσης εγκατάστασης.....	63
2.2.2	Επιλογή ιστού στήριξης	64
2.2.3	Εγκατάσταση του ιστού και της Α/Γ	65
2.3	Φωτοβολταϊκά πάνελ	71
2.3.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά	71
2.3.2	Εγκατάσταση Φ/Β πάνελ	74
2.4	Ελεγκτής (Controller)	79
2.4.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά	79
2.5	Μετασχηματιστής (Inverter).....	81
2.5.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	81
2.6	Συσσωρευτές.....	82
2.7	Αισθητήρια.....	83
2.7.1	Αισθητήρια ρεύματος	83
2.7.2	Αισθητήρια τάσης.....	84
2.8	Ασφάλειες και λαμπτήρες.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :	Συνδέσεις	87
3.1	Εισαγωγή	87
3.2	Εξωτερικές συνδέσεις.....	87
3.3	Εσωτερικές συνδέσεις.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :	Ηλεκτρονικός εξοπλισμός - λογισμικό ελέγχου και καταγραφής μετρήσεων.....	92
4.1	Εισαγωγή	92
4.2	PCI κάρτα καταγραφής μετρήσεων	92
4.3	DAQ κάρτα (connector block).....	93

4.4	Λογισμικό ελέγχου μετρήσεων.....	94
4.4.1	National Instruments NI-DAQ SOFTWARE	94
4.4.2	LabVIEW™ SOFTWARE	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Πειραματικά αποτελέσματα.....		97
5.1	Εισαγωγή	97
5.2	Μετρήσεις.....	97
5.2.1	“Real time” μετρήσεις.....	97
5.2.2	Χαρακτηριστική ώρα	100
5.2.3	Χαρακτηριστική ημέρα.....	101
5.2.4	Αξιολόγηση – Συμπεράσματα	102
5.3	Προβληματισμοί – μελλοντικές επεκτάσεις	103
5.3.1	Προβληματισμοί	103
5.3.2	Μελλοντικές επεκτάσεις.....	105
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....		106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		107

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

(σχήμα 1)Περσικός ανεμόμυλος.....	16
(σχήμα 2)Ευρωπαϊκός ανεμόμυλος.....	17
(σχήμα 3)Η ανεμογεννήτρια του Jacobs.....	18
(σχήμα 4)Κίνηση των αερίων μαζών πάνω από ξηρά και θάλασσα κατά τη διάρκεια της ημέρας και νύχτας.....	20
(σχήμα 5)Κίνηση των αερίων μαζών στις πλαγιές και τις κοιλάδες κατά την διάρκεια ημέρας και νύχτας.....	20
(σχήμα 6)Επίδραση του ανέμου στα δέντρα.....	23
(σχήμα 7)Εσωτερικό Α/Γ Enercon E-70 2 MW.....	24
(σχήμα 8)Αεροδυναμική σχεδίαση τμημάτων.....	25
(σχήμα 9)Καμπύλη ισχύος Α/Γ 800KW.....	26
(σχήμα 10)Α/Γ VESTAS V-52 ισχύος 2 MW.....	27
(σχήμα 11)Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με τις εποχιακές εναλλαγές...28	
(σχήμα 12)Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την περιοχή.....	28
(σχήμα 13)Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την κλίση.....	29
(σχήμα 14)Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	31
(σχήμα 15)Πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου.....	32
(σχήμα 16)Καμπύλη ισχύος Φ/Β πλαισίου.....	32
(σχήμα 17)Παράλληλη τοποθέτηση στη στέγη.....	34
(σχήμα 18)Ενσωμάτωση στην κατασκευή της στέγης.....	34
(σχήμα 19)Τοποθέτηση σε μεταλλικές βάσεις τριγωνικής διατομής.....	35
(σχήμα 20)Τοποθέτηση πάνελ σε εξωτερικούς τοίχους κτηρίου.....	35
(σχήμα 21)Τοποθέτηση πάνελ αντί υαλοπινάκων.....	35
(σχήμα 22)Χρήση Φ/Β πάνελ ως σκίαστρα.....	36
(σχήμα 23)Παγκόσμια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β.....	37
(σχήμα 24)Παγκόσμια αγορά Φ/Β 2002 (562 MW).....	37
(σχήμα 25)Μέσο ωριαίο προφίλ ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας – Μέση ωριαία κατανάλωση.....	42

(σχήμα 26)Σχηματική παράσταση λειτουργίας του υβριδικού συστήματος της Κύθνου με κάλυψη των αναγκών του νησιού 100 % από ΑΠΕ. (Πετρελαϊκές μονάδες εκτός λειτουργίας).....	44
(σχήμα 27)Σύνθεση φορτίου υβριδικού συστήματος Κύθνου 7.12.2000.....	45
(σχήμα 28)Κατανομή φορτίου και ανακύκλωση του νερού στις δύο λιμνοδεξαμενές 60.000 m3 (2002).....	47
(σχήμα 29)Κατανομή φορτίου στο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης την 18.01.99.....	48
(σχήμα 30)Διαστάσεις Α/Γ.....	51
(σχήμα 31)Τμήματα Α/Γ AIR-X Land.....	52
(σχήμα 32)AIR-X Land Το σώμα της Α/Γ (λεπτομέρεια ποτενσιόμετρο και LED).....	53
(σχήμα 33)AIR-X Land Πτερύγια.....	53
(σχήμα 34)AIR-X Land Δίσκος πρόσδεσης πτερυγίων & κάλυμμα.....	54
(σχήμα 35)AIR-X Land Εσωτερικός ελεγκτής (controller).....	55
(σχήμα 36)AIR-X Land Συναρμολόγηση πτερυγίων.....	57
(σχήμα 37)AIR-X Land Σύνδεση καλωδίωσης.....	59
(σχήμα 38)AIR-X Land Καμπύλη ισχύος Α/Γ – Καμπύλη μηνιαίας ενεργειακής παραγωγής.....	60
(σχήμα 39)AIR-X Land Αναλυτική τομή.....	61
(σχήμα 40)AIR-X Land Μεταβολή της ισχύος του ανέμου κοντά σε λόφο.....	63
(σχήμα 41)Στήριξη τρίποδου σε μεταλλικές γωνιές.....	66
(σχήμα 42)Τελική τοποθέτηση τρίποδου στήριξης της Α/Γ.....	66
(σχήμα 43)Υδατοστεγές κουτί με το σημείο σύνδεσης των καλωδίων της Α/Γ – Καλώδιο γείωσης.....	67
(σχήμα 44)Σύσφιξη Α/Γ επάνω στον ιστό με τη χρήση κοχλιών με παξιμάδια ασφαλείας.....	68
(σχήμα 45)Στήριξη της Α/Γ επάνω στο τρίποδο.....	69
(σχήμα 46)Στερέωση του ιστού με τη χρήση αντηρίδων.....	69
(σχήμα 47)Εξακρίβωση της ορθότητας της κατασκευής με τη χρήση αλφαδιού.....	69
(σχήμα 48)Ολοκληρωμένη εγκατάσταση Α/Γ επάνω σε 4 m ιστό στηριζόμενο σε τρίποδη βάση.....	70

(σχήμα 49)Φ/Β πάνελ Shell Solar SM-100 τοποθετημένα ανά ζεύγος επάνω σε μεταλλική βάση.....	71
(σχήμα 50)Τμήμα του Φ/Β πάνελ με τις τετράγωνες κυψέλες οι οποίες το καλύπτουν..	72
(σχήμα 51)Καμπύλη λειτουργίας του Φ/Β πάνελ σε ακτινοβολία 1000W/m ² & 800W/m ²	72
(σχήμα 52)Διαστάσεις Φ/Β πάνελ SM-100.....	74
(σχήμα 53)Αρθρωτή μεταλλική βάση με βραχίονες για ζεύγος Φ/Β.....	75
(σχήμα 54)Φ/Β πάνελ τοποθετημένα ανά ζεύγη σε βάσεις στηριζόμενες σε μεταλλικό πλαίσιο και στο περιμετρικό τοιχίο.....	76
(σχήμα 55)Υδατοστεγές κουτί στο πίσω μέρος του Φ/Β με τις υποδοχές των καλωδίων και τις διόδους προστασίας.....	77
(σχήμα 56)Γείωση Φ/Β μεταξύ τους και σύνδεση γείωσης με την κεντρική του κτιρίου.....	77
(σχήμα 57)Ολοκληρωμένη Φ/Β εγκατάσταση.....	78
(σχήμα 58)Ελεγκτής ρεύματος Tarom 245 οίκου Steca.....	79
(σχήμα 59)Μετασχηματιστής Fronius SOLARIX 900I οίκου Steca.....	81
(σχήμα 60)Συσσωρευτές EpzS 240 Solar 2V οίκου Ceac-Fulmen Solar.....	82
(σχήμα 61)Αισθητήριο ρεύματος.....	83
(σχήμα 62)Αισθητήριο ρεύματος (σχηματική απεικόνιση).....	83
(σχήμα 63)Αισθητήριο τάσης (σχηματική απεικόνιση).....	84
(σχήμα 64)Ασφαλειοδιακόπτες (αριστερά) και ασφάλειες (δεξιά).....	85
(σχήμα 65)Προβολείς με λαμπτήρες 15W για τον φωτισμό του εργαστηρίου.....	85
(σχήμα 66)Κεντρικό υδατοστεγές κουτί με τα καλώδια Φ/Β και Α/Γ.....	88
(σχήμα 67)Ο πάγκος με τις συσκευές και τις συνδέσεις στο κάτω μέρος του.....	89
(σχήμα 68)Σχέδιο καλωδίωσης του υβριδικού συστήματος Φ/Β – Α/Γ.....	90
(σχήμα 69)Βασικά τμήματα του υβριδικού συστήματος Φ/Β – Α/Γ.....	91
(σχήμα 70)Κάρτα καταγραφής μετρήσεων.....	92
(σχήμα 71)Κάρτα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.....	93
(σχήμα 72)NI-DAQ SOFTWARE. Παράθυρο εμφάνισης real time μετρήσεων.....	94
(σχήμα 73)LabVIEW. Παράθυρο εμφάνισης real time μετρήσεων.....	95

(σχήμα 74)Τα Φ/Β με το παραγόμενο ρεύμα τροφοδοτούν την κατανάλωση ενώ παράλληλα φορτίζουν τους συσσωρευτές.....	97
(σχήμα 75)Τα Φ/Β και η Α/Γ δεν παράγουν ρεύμα και η κατανάλωση γίνεται από το αποθηκευμένο ρεύμα των συσσωρευτών.....	98
(σχήμα 76)Λειτουργία της Α/Γ συγκρινόμενη με την ταχύτητα του ανέμου.....	99
(σχήμα 77)Διάγραμμα χαρακτηριστικής ώρας.....	100
(σχήμα 78)Διάγραμμα χαρακτηριστικής ημέρα.....	101
(σχήμα 79)Αντιστάσεις χωρητικότητας 1Ω και αντοχής ισχύος 5 W.....	104
(σχήμα 80)Φίλτρο RC στις εξόδους των αισθητηρίων ρεύματος.....	104

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Διατομή καλωδίων ανάλογα με την απόσταση (AIR-X Land Southwest Windpower AIR-X Land Manual).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Shell Solar Module SM-110/SM-100 (τεχνικά χαρακτηριστικά)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Χαρακτηριστικά λειτουργίας ελεγκτή Tarom 245 της Steca

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Κανάλια μετρήσεων

ΤΥΠΟΙ

$$(1.1) E_{\text{κινητική}} = \frac{1}{2} m V^2 \dots\dots\dots 21$$

$$(1.2) m = \rho A V \dots\dots\dots 21$$

$$(1.3) P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \dots\dots\dots 21$$

$$(1.4) \frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (\text{εκθετικός νόμος}) \dots\dots\dots 22$$

$$(1.5) \frac{U_1}{u} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{z}{z_o} \right) \quad (\text{λογαριθμικός νόμος}) \dots\dots\dots 22$$

$$(1.6) z_o = 15.25 \exp^{-a} \dots\dots\dots 23$$

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσης πτυχιακής υπήρξε πολύτιμη βοήθεια από πολλούς καθηγητές, τεχνικούς, συμφοιτητές και φίλους καθώς η εγκατάσταση των Φ/Β, της Α/Γ και άλλων συσκευών είναι διαδικασίες που δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν από ένα μόνο άτομο.

Για το λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου *K^a Κολοκοτσά Διονυσία* για την αμέριστη συμπαράστασή της όλους αυτούς τους μήνες, την προσωπική της συμμετοχή σε οποιοδήποτε πρόβλημα και αν προέκυπτε καθώς και την εμπιστοσύνη της στο πρόσωπό μου. Ευχαριστώ την τεχνική υπηρεσία της σχολής για την βοήθειά τους στην διαδικασία εγκατάστασης των βάσεων των Φ/Β και της Α/Γ αλλά και την παροχή υλικού και εργαλείων μέχρι την περάτωση της εγκατάστασης. Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές μου *K^o Μακρή Ιωάννη* και *K^o Χατζάκη Ιωάννη* για την πολύτιμη βοήθειά τους στο ηλεκτρονικό κομμάτι της εργασίας καθώς και τους φίλους μου και συμφοιτητές *Κουτουλάκη Δημήτρη, Χατζηχαραλαμπίδη Αλέξανδρο, Δολιανίτη Σπύρο, Κομηνού Μαρία* και *Σαριδάκη Γιώργο* για την πολύτιμη βοήθειά τους οποτεδήποτε και αν ζητήθηκε αυτή, βοήθεια χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία.

Φυσικά δεν θα μπορούσα να ξεχάσω τους δικούς μου ανθρώπους που αν και δεν βοήθησαν πρακτικά, ωστόσο με εμπύχωσαν και με παρότρυναν να συνεχίσω όπου η διάθεση και η ψυχολογία μου με εγκατέλειπαν. Ευχαριστώ πολύ λοιπόν τους γονείς μου *Δημήτρη* και *Δήμητρα*, την φίλη μου *Τουντοπούλου Μαίρη* και τους φίλους μου *Σταυρίδη Ιωάννη* και *Μπόσκο Αθηνόδωρο* για την ειλικρινά πολύτιμη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ακόλουθη πτυχιακή εργασία αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εφαρμόζοντας υβριδική τεχνολογία. Θέλοντας να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις δυνατότητες που δίνει μια θέση και να δείξουμε ότι ένας καταναλωτής μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί από το δίκτυο της Δ.Ε.Η., προχωρήσαμε στην εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος αποτελούμενο από φωτοβολταϊκά πάνελ και μια ανεμογεννήτρια.

Η τοποθεσία της κατασκευής (Χανιά), μας δίνει μεγάλο πλεονέκτημα καθώς η ηλιοφάνεια σ' αυτή την περιοχή είναι πολύ υψηλή με αποτέλεσμα να έχουμε καλή απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ. Από την άλλη, λόγω της παραθαλάσσιας τοποθέτησης των Χανίων, τον χειμώνα παρατηρούνται ισχυροί άνεμοι με αποτέλεσμα να έχουμε ικανοποιητική λειτουργία της ανεμογεννήτριας του συστήματός μας.

Για την κατασκευή του συστήματος ξεκινήσαμε από την εγκατάσταση των βασικών στοιχείων. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετήθηκαν στην ταράτσα του κτηρίου του Τ.Ε.Ι. Χανίων πάνω σε μεταλλικές βάσεις με δυνατότητα μεταβολής της κλίσης των πάνελ. Η ανεμογεννήτρια τοποθετήθηκε πάνω σε ιστό και αυτός σε τρίποδη βάση φτάνοντας τα 5 μ ύψος, αποδίδοντας ικανοποιητικά ανάλογα με τον άνεμο που φυσά κάθε φορά.

Μετά την ολοκλήρωση της τοποθέτησης των Φ/Β πάνελ και της Α/Γ στην ταράτσα του κτιρίου και τη διασφάλιση της βιωσιμότητάς τους με σταθερές βάσεις και αντηρίδες στήριξης, ακολούθησε το ηλεκτρολογικό κομμάτι της εργασίας. Στο εσωτερικό του κτιρίου και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, εγκαταστάθηκαν οι συσσωρευτές και ο πίνακας με τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Σε έναν κατάλληλα διαμορφωμένο πίνακα τοποθετήθηκε ο ελεγκτής του ρεύματος που ρέει από τα πάνελ προς τους συσσωρευτές και από αυτούς προς την έξοδο του συστήματος και ο μετασχηματιστής που μετασχηματίζει την τάση από 24 V DC σε 230 V AC. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε επιλεγμένα σημεία του κυκλώματος αισθητήρια ρεύματος και τάσης για τον εύκολο έλεγχο και αξιολόγηση του συστήματος. Επίσης τοποθετήθηκαν ασφάλειες και διακόπτες για την ασφαλή λειτουργία τόσο στο εσωτερικό κομμάτι των στοιχείων του κυκλώματος, όσο και στη έξοδο του συστήματος όπου τα 230 V AC καταλήγουν σε έναν κεντρικό πίνακα με ασφάλειες και από εκεί σε τέσσερις διαφορετικές εξόδους. Στη συνέχεια συνδέθηκαν οι 24 συσσωρευτές με τέτοιο τρόπο

ώστε να λάβουμε στην έξοδό τους συνολική τάση 24 V. Τέλος όλα τα στοιχεία συνδέθηκαν μεταξύ τους ώστε να έχουμε ομαλή λειτουργία του συστήματος. Κατόπιν δοκιμής τα Φ/Β πάνελ και η Α/Γ φόρτιζαν τους συσσωρευτές και μας έδιναν την επιθυμητή τάση στην έξοδο πράγμα που επιβεβαιώθηκε από την συναρμολόγηση και λειτουργία 4 λαμπτήρων 15 W έκαστου που συνδέθηκαν σε κάθε μια από τις 4 εξόδους του συστήματος.

Μετά το στάδιο της συναρμολόγησης και λειτουργίας του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ακολούθησε η διαδικασία για τον έλεγχο και την αξιολόγηση του συστήματος. Σε έναν υπολογιστή του εργαστηρίου εγκαταστάθηκε μια PCI κάρτα η οποία θα λάμβανε το σήμα από τα αισθητήρια που τοποθετήθηκαν στο κύκλωμα. Ακολούθως εγκαταστάθηκε το λογισμικό της κάρτας και στη συνέχεια μέσω μια Analog to Digital κάρτας (connector block), λάβαμε το σήμα από τα αισθητήρια. Λόγω του ότι το λογισμικό της κάρτας που τοποθετήθηκε στον υπολογιστή δεν παρείχε δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων που προέρχονταν από τα αισθητήρια, προχωρήσαμε στην εγκατάσταση του λογισμικού LabView™ όπου και μέσω κατάλληλου κώδικα το πρόγραμμα ρυθμίστηκε ώστε να μας παρουσιάζει σε διάγραμμα τις real time μετρήσεις των αισθητηρίων αλλά παράλληλα να τις αποθηκεύει σε αρχείο ώστε να μπορούν να αξιολογηθούν και κατ'επέκταση και το συνολικό σύστημα. Παράλληλα στο πρόγραμμα προβλέφθηκε η χρήση μεταβλητών ώστε να μπορεί ο χρήστης να μεταβάλλει τις πράξεις που εκτελούνται και να θέσει διαφορετικά νούμερα.

Αφού ολοκληρώθηκε και η διαδικασία ελέγχου του συστήματος μέσω Η/Υ, η εργασία είχε ολοκληρωθεί και ακολούθησε η λήψη αρκετών μηνών μετρήσεων, υπό διάφορες κλιματολογικές συνθήκες, με σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη και αντικειμενικότερη αξιολόγηση του υβριδικού συστήματος που εγκαταστάθηκε.

ΔΟΜΗ

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 5 κεφάλαια. Στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σχετική βιβλιογραφία αναλύοντας την αιολική, φωτοβολταϊκή και υβριδική τεχνολογία, δίνοντάς μας τις βασικές έννοιες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και των υβριδικών συστημάτων. Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται όλος ο εξοπλισμός της εγκατάστασης. Η περιγραφή αυτή περιλαμβάνει την εγκατάσταση των Φ/Β πάνελ και της Α/Γ καθώς και του ελεγκτή φόρτισης, του μετασχηματιστή, των αισθητηρίων και όλων των ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων. Το 3^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων της εγκατάστασης και χωρίζεται σε εσωτερικές και εξωτερικές συνδέσεις. Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός όπως η PCI κάρτα που λαμβάνει τις μετρήσεις των αισθητηρίων, το λογισμικό της κάρτας και άλλα βοηθητικά λογισμικά. Τέλος στο 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρατίθενται γραφήματα χαρακτηριστικών μετρήσεων που αποδεικνύουν την ορθή και αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος, γίνεται απολογισμός της εμπειρίας της εγκατάστασης και εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα, ενώ παράλληλα αναφέρονται πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι και τεχνολογία

2.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια αποτελεί το πολυτιμότερο αγαθό για την ανάπτυξη του παγκόσμιου πολιτισμού. Από την εμφάνιση του ανθρώπου έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην μέχρι τώρα ανάπτυξή του ενώ καθώς οι ανάγκες σε ενέργεια αυξάνουν δραματικά, αναμένεται να αποτελέσει το «μήλον της έριδος για λαούς και πολιτισμούς που θα συγκρουστούν με σκοπό να αποκτήσουν την ενεργειακή κυριαρχία του πλανήτη. Οι σύγχρονοι πόλεμοι δεν γίνονται για την προστασία των ανθρωπίνων δικαιωμάτων ή τη Δημοκρατία όπως πολλοί ισχυρίζονται, αλλά για την εδαφική κυριαρχία η οποία με τη σειρά της θα τους δώσει το πλεονέκτημα να καταναλώνουν τους ήδη περιορισμένους ενεργειακούς πόρους.

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα οπότε και άνθιζε η βιομηχανία του πετρελαίου, οι επιστήμονες συνειδητοποίησαν τα προβλήματα και τις επικινδυνότητες που θα προέκυπταν από την αλόγιστη χρήση του «μαύρου χρυσού». Τα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου μειώνονταν δραστικά τόσο εξαιτίας της εξεύρεσης νέων χρήσεων και της ανάπτυξης νέων μηχανών που εκμεταλλεύονταν την ενέργειά του, αλλά και σε συνδυασμό με τα ταραγμένα χρόνια των δύο παγκοσμίων πολέμων. Αυτός ο συνδυασμός της υπερεκμετάλλευσης μαζί με τα δηλητηριώδη αέρια που εκλύονται από την καύση του πετρελαίου στην ατμόσφαιρα, έστρεψε το ενδιαφέρον σε άλλες μορφές ενέργειας που θα απέκλειαν αυτά τα δύο μειονεκτήματά του. Η απάντηση στο ζητούμενο ήρθε από τις λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ από εδώ και πέρα).

Η ενέργεια που προέρχεται από τέτοιες πηγές έχει ως βασικό γνώρισμα ότι είναι ανανεώσιμη. Δηλαδή από τη φύση της ανανεώνεται διαρκώς και προσφέρεται στον άνθρωπο δωρεάν για εκμετάλλευση [1]. Τέτοιες μορφές ενέργειας στηρίζονται στις κλιματολογικές ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής όπως οι δυνατοί άνεμοι, η ηλιακή ακτινοβολία, οι υψηλές θερμοκρασίες, οι υδατοπτώσεις και άλλες. Βέβαια αν σκεφτούμε την μεταβολή του κλίματος σε μακροπρόθεσμη βάση εκατονταετιών ή χιλιετηρίδων ούτε αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανεξάντλητες, αλλά αυτό είναι κάτι που ούτε οι επιστήμονες μπορούν να καθορίσουν. Συνεπώς τις λαμβάνουμε ως ανεξάντλητες.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ραγδαίως αυξανόμενη ανάγκη τους για σύγχρονη τεχνολογία. Αυτό το γεγονός ενισχύει την ανάπτυξη τεχνολογίας αιχμής και βιομηχανίας για την στήριξη και ανάπτυξη τους. Συνεπώς εκτός από την συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο, συνεισφέρουν σημαντικά στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στις χώρες που διαθέτουν τα τεχνολογικά μέσα για να στηρίζουν και να επωφεληθούν από αυτή την ανθίζουσα βιομηχανία. Επίσης οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν είναι εξαγωγίμες. Συνεπώς η εκμετάλλευσή τους γίνεται στη θέση όπου εμφανίζονται με αποτέλεσμα να συνεισφέρουν στην αποκέντρωση του συστήματος παραγωγής ενέργειας [1].

Εκτός όμως από τα παραπάνω γνωρίσματά τους διακρίνονται και για κάτι άλλο. Χαρακτηρίζονται ως «καθαρές» μιας και δεν εκλύουν ρύπους στο περιβάλλον [1]. Το πλεονέκτημα αυτό είναι πολύ σημαντικό αν αναλογιστούμε την επιδείνωση που υπέστη το παγκόσμιο κλίμα και το περιβάλλον από 100 χρόνια χρήσης του πετρελαίου. Το περιβάλλον επιβαρύνεται καθώς για να εκμεταλλευτούμε τον ήλιο, τον αέρα και τις άλλες πηγές ενέργειας χρειαζόμαστε μεγάλες κατασκευές, όμως αυτό το «μειονέκτημά» τους θεωρείται μηδαμινό συγκρινόμενο με τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, καθώς με την μη έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα δίνουν το περιθώριο στο περιβάλλον να αυτοκαθαριστεί χωρίς παράλληλα να σταματά η πολυπόθητη για τη σύγχρονη πραγματικότητα παραγωγή ενέργειας.

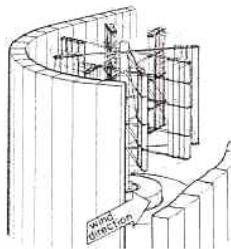
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν εισέλθει δυναμικά στην σύγχρονη πραγματικότητα τις τελευταίες δεκαετίες και οι κυβερνήσεις των κρατών δίνουν κίνητρα σε επενδυτές για την κατασκευή μεγάλων μονάδων που εκμεταλλεύονται αέρα, ήλιο, υδατοπτώσεις και άλλες καθαρές μορφές ενέργειας, επιτυγχάνοντας έτσι ανεξάρτητη ενεργειακή πολιτική και ταυτόχρονη αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας. Εκτός από την εκμετάλλευση μιας μόνο πηγής ενέργειας κάθε φορά, κάποιοι ασχολήθηκαν με τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων τεχνολογιών εξασφαλίζοντας έτσι μεγαλύτερη αυτονομία των δικτύων κατανάλωσης. Στις περιπτώσεις αυτές οι δύο τεχνολογίες αλληλοσυμπληρώνουν η μια την άλλη προσφέροντας ενέργεια όταν η άλλη αδυνατεί λόγω καιρικών συνθηκών (έλλειψη βροχοπτώσεων, αέρα, ηλιακής ακτινοβολίας). Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων μορφών ενέργειας οι οποίες συγκροτούν ένα σύστημα καλείται *υβριδικό σύστημα*.

2.2 Αιολική τεχνολογία

2.2.1 Η ιστορία της αιολικής μηχανής

Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή. Η πρωτογενής αυτή μορφή ενέργειας έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας ιδιαίτερα με τη χρήση της στη ναυτιλία για συγκοινωνίες και εξερευνήσεις, όπου φαίνεται να είναι και η πρώτη της εφαρμογή, αλλά και με την χρήση της σε χειρσαίες εφαρμογές με κυριότερη αυτή των ανεμόμυλων για την άντληση νερού ή το άλεσμα των καρπών με σκοπό την παραγωγή πρώτων υλών [1].

Οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν ανεμόμυλους ήταν οι Πέρσες το 900 π.Χ.(σχήμα 1). Οι ανεμόμυλοι αυτοί ήταν κατακόρυφου άξονα περιστροφής και ο αέρας που διοχετευόταν από τις εσοχές της κατασκευής γυρνούσε τον άξονα παρέχοντας μηχανική κίνηση. Οι κατασκευές αυτές ήταν εξαιρετικά επιρρεπείς σε δυνατούς ανέμους με αποτέλεσμα να καταστρέφονται εύκολα λόγω του έντονου στροβιλισμού στο εσωτερικό τους [2].



(σχήμα 1) Περσικός ανεμόμυλος

J. F. Manwell – J. G. McGowan – A. L. Rogers (2002). Wind Energy Explained. West Sussex England : John Wiley & Sons Ltd.

Η αιολική ενέργεια έκανε την εμφάνισή της στην Ευρώπη κατά τον Μεσαίωνα με ανεμόμυλους οριζόντιου άξονα. Οι ανεμόμυλοι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μηχανολογική δραστηριότητα εκ των οποίων οι σημαντικότερες ήταν η άντληση νερού, το άλεσμα δημητριακών, η κοπή ξυλείας και η κίνηση εργαλείων. Οι πρώτοι ανεμόμυλοι αυτού του είδους κατασκευάζονταν επάνω σε ειδικές περιστρεφόμενες βάσεις ώστε να μπορούν να γυρίσουν όταν άλλαζε η διεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμόμυλοι αυτοί διέθεταν συνήθως τέσσερα πτερύγια. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των πτερυγίων στηρίχθηκαν κυρίως στην διευκόλυνση ως προς την κατασκευή και εμπειρικά στην

αποτελεσματική σταθερότητα [2]. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου ανεμόμυλου φαίνεται παρακάτω (σχήμα 2).

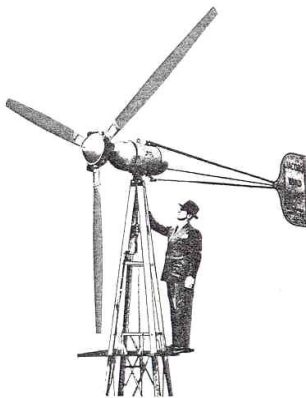


(σχήμα 2) Ευρωπαϊκός ανεμόμυλος
J. F. Manwell – J. G. McGowan – A. L. Rogers (2002).
*Wind Energy Explained. West Sussex England : John Wiley
& Sons Ltd.*

Ο άνεμος εξακολούθησε να αποτελεί την κύρια πηγή κινητικής ενέργειας μέχρι το ξέσπασμα της βιομηχανικής επανάστασης. Με την ανακάλυψη της χρήσης του άνθρακα και του πετρελαίου, η αιολική ενέργεια παραγκωνίστηκε και η χρήση των ορυκτών καυσίμων βρήκε ατελείωτες εφαρμογές. Ωστόσο πολλοί ήταν εκείνοι που εξακολούθησαν να χρησιμοποιούν την αιολική ενέργεια για την κάλυψη των βασικών τους αναγκών. Αυτή η χρήση οδήγησε στην εξέλιξη των ευρωπαϊκών ανεμόμυλων. Οι ανεμόμυλοι έγιναν πιο αποτελεσματικοί. Οι περισσότεροι από αυτούς ήταν τοποθετημένοι σε σταθερές βάσεις και μόνο το επάνω μέρος στο οποίο στηρίζονταν τα πτερύγια περιστρεφόταν μηχανικά ή χειρωνακτικά για την καλύτερη εκμετάλλευση του ανέμου. Τα πτερύγια άλλαξαν μορφή και έγιναν πιο αεροδυναμικά και ελικοειδή βελτιώνοντας έτσι την περιστροφική τους κίνηση. Μερικές από αυτές τις πρώιμες αιολικές μηχανές μάλιστα, διέθεταν ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου. Παράλληλα αναπτύχθηκε και ένα σύστημα φρένων για τις μηχανές αυτές βασισμένο στην κλίση των πτερυγίων. Μια άλλη βασική εξέλιξη κατά τον 18^ο αιώνα ήταν η επιστημονική προσέγγιση των αιολικών μηχανών [2]. Ο Άγγλος John Smeaton χρησιμοποιώντας πρωτότυπα μοντέλα κατέληξε σε κάποιες βασικές αρχές που διέπουν έως σήμερα τις αιολικές μηχανές όπως:

- Η ταχύτητα των πτερυγίων είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου
- Η μέγιστη ροπή είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου
- Η μέγιστη ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου

Με την εμφάνιση των ηλεκτρικών γεννητριών στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, άρχισαν οι προσπάθειες για την μετατροπή μικρών γεννητριών σε παραγωγούς ενέργειας αντί για μηχανικό έργο. Οι πρώτες επιτυχείς προσπάθειες φαίνεται να έγιναν από τον Marcellus Jacobs ο οποίος χρησιμοποίησε ανεμογεννήτριες με την μορφή που τις συναντάμε μέχρι σήμερα (σχήμα 3). Τα πτερύγια έγιναν αεροδυναμικά και επικράτησε η χρήση τριών στις ανεμογεννήτριες της εποχής. Οι ανεμογεννήτρια του Jacobs θεωρήθηκε ο προγονός των σημερινών μικρών ανεμογεννητριών της Bergey και της Southwest Windpower machines. Με την επέκταση όμως του κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου των Η.Π.Α. στα τέλη του 1930, σήμανε και το τέλος της χρήσης μικρών Α/Γ [2].



(σχήμα 3) Η ανεμογεννήτρια του Jacobs
J. F. Manwell – J. G. McGowan – A. L. Rogers (2002).
*Wind Energy Explained. West Sussex England : John Wiley
& Sons Ltd.*

Η συνέχεια στην προσπάθεια εξέλιξης των αιολικών μηχανών δόθηκε από τη Δανία. Οι Δανοί δραστηριοποιήθηκαν έντονα στον τομέα αυτό με αποτέλεσμα να τελειοποιήσουν τον σχεδιασμό των πτερυγίων και τον έλεγχο της ισχύος των γεννητριών, ενώ κατασκευάστηκαν και ανεμογεννήτριες μεταβλητού βήματος έλικας γεγονός που αποτέλεσε σταθμό στην μετέπειτα εξέλιξή τους. Αποκορύφωμα αυτής της προσπάθειας ήταν η κατασκευή ανεμογεννητριών από 30 – 200 KW από τον La Cour , ο οποίος με την ηλεκτρική ενέργεια που παρήγαγαν οι Α/Γ ηλεκτρόλυε νερό και αποθήκευε το παραγόμενο υδρογόνο για την χρήση του σε λάμπες φωτισμού. Από τη Δανία ξεκίνησε και η σύνδεση των Α/Γ με το δίκτυο ηλεκτροδότησης ενώ στα μέσα του 1980 οι Δανοί είχαν θέσει τις βάσεις μια ισχυρής βιομηχανίας γύρω από τις αιολικές μηχανές [2].

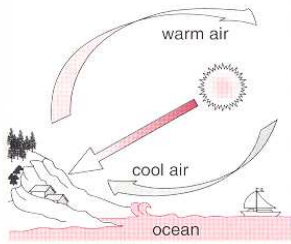
Οι συνέπειες από την εκτεταμένη χρήση του πετρελαίου κατά το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα και οι κίνδυνοι που έκρυβε η πυρηνική ενέργεια ώθησαν τις κυβερνήσεις στη εξεύρεση άλλων πιο καθαρών μορφών ενέργειας καθώς η μόλυνση του περιβάλλοντος

άρχισε να εμφανίζεται ως ένα γοργά αναπτυσσόμενο περιβαλλοντικό ζήτημα. Την στροφή προς τις ΑΠΕ σήμανε οριστικά η πετρελαϊκή κρίση του 1973. Οι κυβερνήσεις των πιο ανεπτυγμένων χωρών συγκρότησαν οργανισμούς που ασχολούνταν αποκλειστικά με την εξεύρεση λύσεων γύρω από το ενεργειακό ζήτημα και την τεχνολογία των Α.Π.Ε. Στις Η.Π.Α. πραγματοποιήθηκε μια αποφασιστική κίνηση προς την αιολική ενέργεια. Αναπτύχθηκαν μηχανές όπου παρήγαγαν από 100 KW έως και 3,2 MW ηλεκτρικής ενέργειας, ποσά ασύλληπτα για την εποχή. Πολλές βιομηχανίες δραστηριοποιήθηκαν γύρω από τις Α/Γ στα τέλη της δεκαετίας του 70' με αποτέλεσμα την δημιουργία αιολικών πάρκων. Τα αιολικά πάρκα αποτελούν σήμερα μέρος της σύγχρονης πραγματικότητας με αριθμό Α/Γ από μερικές μονάδες μέχρι αρκετές δεκάδες παράγοντας έτσι τρομακτικά ποσά ενέργειας που διοχετεύονται στο κεντρικό δίκτυο κατανάλωσης [2].

2.2.2 Κλιματολογικές συνθήκες – Αιολική ενέργεια

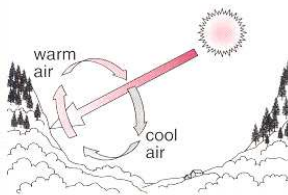
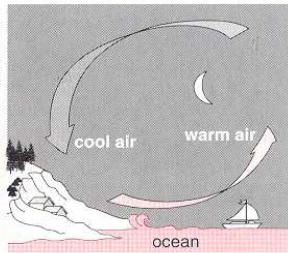
Οι άνεμοι της γης παράγονται κυρίως από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Οι θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα αφού εκτός από την εξάτμιση, η θερμότητα μεταφέρεται προς τα κάτω μέσα στις υδάτινες μάζες. Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από τις λίμνες, τις θάλασσες και τους ωκεανούς παραμένει σχετικά κρύος σε σχέση με τον αέρα που βρίσκεται πάνω από την ξηρά ο οποίος θερμαίνεται περισσότερο. Από την θέρμανση του αέρα της ξηράς έχουμε ελάττωση της πυκνότητάς του με συνέπεια την ανύψωση του καθώς ταυτόχρονα ο κρύος αέρας πάνω από τη θάλασσα κινείται αντιστρόφως για να πάρει τη θέση του. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται τα παραλιακά ρεύματα. Κατά τη διάρκεια της νύχτας τα ρεύματα αυτά αντιστρέφονται καθώς η θερμοκρασία της ξηράς ελαττώνεται γρηγορότερα από αυτή του νερού και έτσι ο ψυχρός και βαρύτερος αέρας της ξηράς κινείται προς τη θάλασσα όπου αναπληρώνει τον αέρα που ανυψώνεται από την επιφάνειά της (σχήμα 4) [3].

Παρόμοια τοπικά ρεύματα συμβαίνουν στις βουνοπλαγιές κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν ο θερμός αέρας ανυψώνεται κατά μήκος των πλαγιών που θερμαίνονται από τον ήλιο. Κατά τη νύκτα ο σχετικά κρύος αέρας των πλαγιών κινείται καθοδικά προς τις πεδιάδες (σχήμα 5) [3].



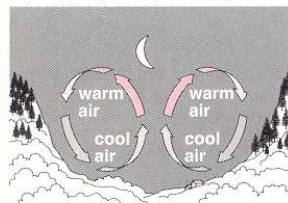
(σχήμα 4) Κίνηση των αερίων μαζών πάνω από ξηρά και θάλασσα κατά τη διάρκεια της ημέρας και νύχτας.

Godfrey Boyle (1996). *Renewable Energy Power for a Sustainable Future*. The Open University Oxford England : Oxford University Press



(σχήμα 5) Κίνηση των αερίων μαζών στις πλαγιές και τις κοιλάδες κατά την διάρκεια ημέρας και νύχτας.

Godfrey Boyle (1996). *Renewable Energy Power for a Sustainable Future*. The Open University Oxford England : Oxford University Press



Κατά τον ίδιο τρόπο παράγονται οι πλανητικοί άνεμοι λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης της επιφάνειας της γης κοντά στον Ισημερινό από ότι στους Πόλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κρύοι επιφανειακοί άνεμοι να φυσούν από τους πόλους προς τον ισημερινό προς αντικατάσταση του αέρα που ανυψώνεται στις τροπικές περιοχές και κινείται προς τους πόλους. Σημαντικοί επίσης είναι και οι εποχιακοί άνεμοι οι αποκαλούμενοι Μουσώνες, καθώς και οι Ετήσιοι ή Μελέτμια όπως έχει επικρατήσει να λέγονται. Οι Ετήσιοι μάλιστα εμφανίζονται στην λεκάνη της Μεσογείου και ιδιαίτερα στο Αιγαίο. Αρχίζουν να πνέουν στις αρχές Μαΐου και εξασθενούν στα μέσα Οκτωβρίου με μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα από τα μέσα Ιουλίου ως τα μέσα Σεπτεμβρίου [1].

Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία εκ της οποίας το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Μάλιστα η ισχύς των ανέμων σ'όλη τη γη υπολογίζεται σε 3.610^9 MW. Ο άνεμος αποτελεί μια πολύ πλούσια πηγή ενέργειας αν αναλογιστούμε ότι οι ενεργειακές ανάγκες των Η.Π.Α. μπορούν να καλυφθούν από την ισχύ που παρέχει το 10% των ανέμων που πνέουν στην εκεί περιοχή. Το μόνο μειονέκτημα του ανέμου είναι ότι είναι μια «αραιή» ή «ήπια» μορφή με αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγάλες κατασκευές για την εκμετάλλευση ενός βιώσιμου ποσοστού αιολικής ισχύος και κατά συνέπεια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα έρχεται να δώσει η σύγχρονη τεχνολογία με την κατασκευή μεγάλων διαστάσεων ανεμογεννητριών οι οποίες ανταγωνίζονται οικονομικά τις συμβατικές πηγές ενέργειας [1].

[3] Η ισχύς ορίζεται ως το μέγεθος που εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο η ενέργεια χρησιμοποιείται ή μετατρέπεται. Συνεπώς η ισχύς μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενέργεια ανά μονάδα χρόνου π.χ. Joule ανά second ($J s^{-1}$). Η μονάδα της ισχύος ονομάστηκε Watt και $1 \text{ Watt} = 1 J s^{-1}$.

Η ενέργεια του ανέμου είναι κινητική ενέργεια και όπως ισχύει η κινητική ενέργεια κάθε μάζας κινούμενου αέρα ισούται με το μισό της μάζας επί το τετράγωνο της ταχύτητας της

$$(1.1) \quad E_{\text{κινητική}} = \frac{1}{2} mV^2$$

Όπου η μάζα m μετριέται σε kg ενώ η ταχύτητα V σε m/s .

Η μάζα αέρα που περνά από μια συγκεκριμένη διατομή ορίζεται ως το γινόμενο της επιφάνειας της διατομής σε m^2 επί την ταχύτητα σε m/s επί την πυκνότητα του αέρα εκφρασμένη σε kg/m^3 :

$$(1.2) \quad m = \rho AV$$

Όπου m η μάζα του αέρα, ρ η πυκνότητα, A η διατομή και V η ταχύτητα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ισχύς του ανέμου δίνεται από τον τύπο:

$$(1.3) \quad P = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

2.2.3 Αιολικό δυναμικό

Ο άνεμος που αναπτύσσεται στην επιφάνεια της γης είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένος με την ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά τα ατμοσφαιρικά στρώματα και καταλήγει σ' αυτή. Η διαφορά της πίεσης σε πιο θερμές και ψυχρές περιοχές του πλανήτη δημιουργούν την κίνηση αερίων μαζών οι οποίες ευνοούν την δημιουργία του ανέμου. Συνεπώς πολλές είναι οι παράμετροι που επηρεάζουν την κίνηση και την ταχύτητα του ανέμου επάνω από τις θαλάσσιες και ηπειρωτικές περιοχές.

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 (ΑΟΣ), μέσα στο οποίο η σχετική ταχύτητα μεταβάλλεται από μηδέν πάνω στην επιφάνεια της Γης μέχρι τις μεγαλύτερες τιμές. Το ύψος του ΑΟΣ 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 [1].

Ανάλογα με το ύψος των εμποδίων που συναντά ο αέρας στην επιφάνεια, το ΑΟΣ 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 ΑΟΣ. Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος αποδίδεται με τον εκθετικό και τον λογαριθμικό νόμο.

$$(1.4) \quad \frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (\text{εκθετικός νόμος})$$

$$(1.5) \quad \frac{U_1}{u} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (\text{λογαριθμικός νόμος})$$

Όπου U_1 , U_2 και u η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας στα ύψη z_1 , z_2 και z αντίστοιχα, u η ταχύτητα τριβής, $1/a$ ο εκθέτης του εκθετικού νόμου, k σταθερά ($=0.35$) και z_0 το μήκος τραχύτητας [1].

[1] Η εμπειρική σχέση μεταξύ του μήκους τραχύτητας z_0 και του εκθέτη a για τη διανομή ταχυτήτων μεταξύ 10 και 30 μέτρων είναι:

$$(1.6) \quad z_0 = 15.25 \exp^{-a}$$

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 εναλλασσομένων 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 [1].

Κατά την μελέτη της καταλληλότητας μια περιοχής για την κατασκευή σ' αυτή ενός αιολικού πάρκου, ο μηχανικός λαμβάνει υπ' όψην του κάθε παράμετρο 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 προσδιορίσει την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου χρονικά και τοπικά, καθώς επίσης την τύρβη του ανέμου, την ενέργεια του αλλά και την κατανομή των ταχυτήτων του. Για να φτάσει όμως να στηθεί ένας ανεμομετρικός ιστός με τα απαραίτητα όργανα, ο μηχανικός μελετά το περιβάλλον του πεδίου και αναζητά σημάδια που φανερώνουν την ύπαρξη υψηλού αιολικού δυναμικού όπως η βλάστηση που επικρατεί, το έδαφος και η ύπαρξη δέντρων με φανερή την επίδραση του ανέμου (σχήμα 6).



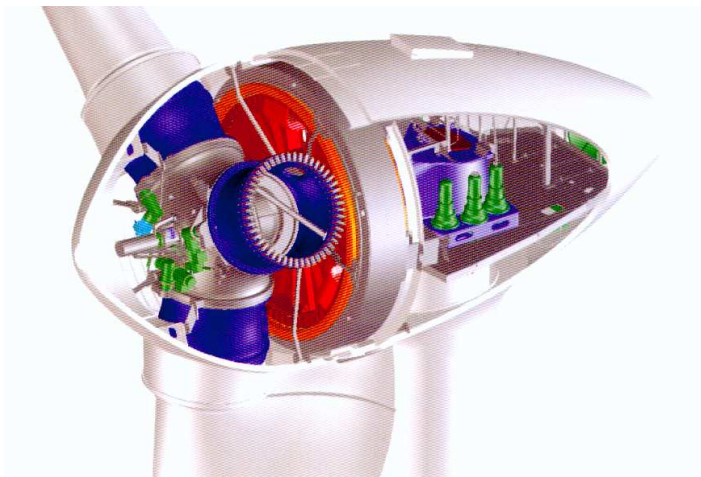
(σχήμα 6) Επίδραση του ανέμου στα δέντρα.

Enercon (2004). *E-48 Booklet* Bremen Germany : Enercon GmbH International Dept.

2.2.4 Σύγχρονες ανεμογεννήτριες

Η εξέλιξη των αιολικών μηχανών έχει να επιδείξει πληθώρα κατασκευών που εκμεταλλεύονται την κίνηση του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δύο βασικές κατηγορίες που επικράτησαν είναι οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα στις οποίες τα πτερύγια στηρίζονται στα δύο άκρα ενός κατακόρυφου άξονα και περιστρέφονται γύρω από αυτόν κάθετα ως προς την κίνηση του ανέμου και οι οριζόντιου άξονα οι οποίες στηρίζονται σε έναν ψηλό πυλώνα κάθετα ως προς αυτόν και συνεπώς παράλληλα στον άνεμο. Εδώ και αρκετά χρόνια έχει επικρατήσει η χρήση Α/Γ οριζόντιου άξονα καθώς αποδείχθηκαν πιο αξιόπιστες και παραγωγικές [1].

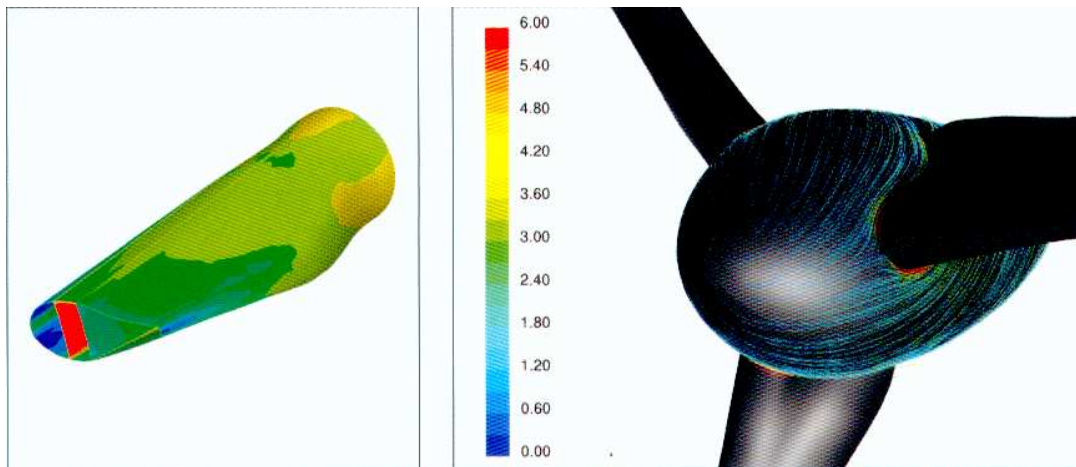
Μια Α/Γ είναι μια κατασκευή που ενσωματώνει υψηλή τεχνολογία και τεχνογνωσία. Ξεκινώντας από τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρολογικά συστήματα, μια Α/Γ φιλοξενεί στο εσωτερικό της την γεννήτρια η οποία χάρις στην κίνηση της πλήμνης με την οποία συνδέεται παράγει ρεύμα, συστήματα πέδησης της γεννήτριας, εναλλάκτες θερμότητας, σύστημα ψύξης της γεννήτριας, κιβώτιο ταχυτήτων, πίνακα ελέγχου και άλλα συστήματα που συντελούν στην σωστή λειτουργία της αιολικής μηχανής (σχήμα 7). Η παραγόμενη ενέργεια καταλήγει μέσω καλωδίων, διάμεσο του πυλώνα, σε μετασχηματιστές οι οποίοι την μετασχηματίζουν ώστε να είναι συμβατή με το εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια εισάγεται σ'αυτό [4].



(σχήμα 7) Εσωτερικό Α/Γ
Enercon E-70 2 MW

Enercon (2005). *E-70 Booklet*
Bremen Germany : Enercon GmbH
International Dept.

Πέραν των εσωτερικών συστημάτων που περιέχει μια Α/Γ εξίσου σημαντική είναι και η εξωτερική κατασκευή. Η αεροδυναμική κατασκευή εξασφαλίζει υψηλή παραγωγή ενέργειας καθώς εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο τρόπο την κίνηση του ανέμου ενώ παράλληλα αυξάνει το όριο ζωής της Α/Γ. Η αεροδυναμική σχεδίαση την πλήμνης και των πτερυγίων της Α/Γ αποτελεί σημαντικό κομμάτι της όλης κατασκευής. Μέσα σε μεγάλες αεροσήραγγες γίνονται μετρήσεις τόσο για την μελέτη της αεροδυναμικής συμπεριφοράς των πτερυγίων και των άλλων τμημάτων της Α/Γ, όσο και για την συμπεριφορά των υλικών κατασκευής τους (σχήμα 8). Μελετάται δηλαδή η συμπεριφορά του αέρα όταν συναντά τα τμήματα και το πώς αυτός απομακρύνεται από αυτά προσδίδοντάς τους κίνηση με όσο το δυνατόν μικρότερες αντιστάσεις και θόρυβο [4]. Υπάρχει μια πληθώρα κατασκευών με διαφορετικό αριθμό πτερυγίων. Επικρατέστερες όλων είναι οι Α/Γ με 3 πτερύγια ενώ έχουν μελετηθεί πολλά είδη πτερυγίων με κινούμενα τμήματα για την καλύτερη συμπεριφορά ως προς την κίνηση του ανέμου.



(σχήμα 8) Αεροδυναμική σχεδίαση τμημάτων.

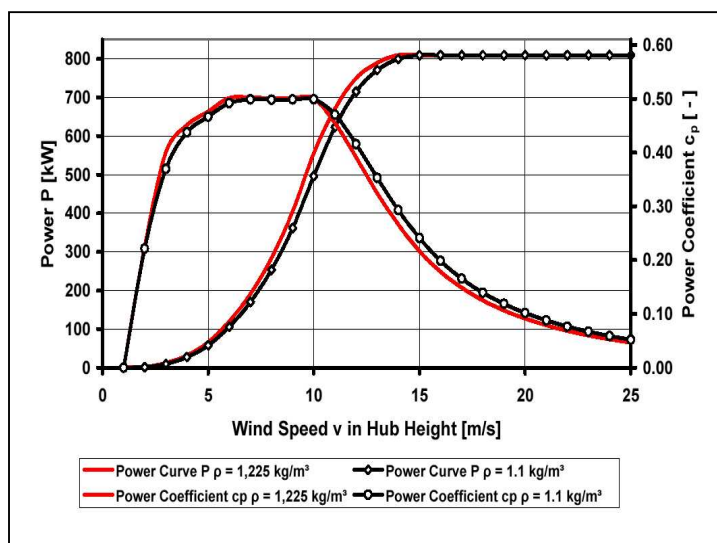
Enercon (2005). E-70 Booklet Bremen Germany : Enercon Gmbh International Dept.

Η γεννήτρια μαζί με την πλήμνη και τα πτερύγια, τοποθετείται πάνω σε έναν πυλώνα που έχει σχεδιαστεί για να αντέχει το βάρος της μηχανής αλλά και τις δυναμικές καταπονήσεις εξαιτίας της κίνησης του ανέμου. Ο πυλώνας έχει ύψος αρκετές δεκάδες μέτρα ώστε η γεννήτρια να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν καλύτερα και χωρίς εμπόδια την πνοή του ανέμου. Η όλη κατασκευή στερεώνεται σε βάση η οποία δημιουργείται από

χαλύβδινους ράβδους και είναι οπλισμένη με ενισχυμένο σκυρόδεμα υψηλής πυκνότητας ώστε να αντέχει όλο το φορτίο της κατασκευής [4].

Εκτός από την ανεμογεννήτρια υπάρχει ένα σύστημα ανεμομετρικών μηχανημάτων προσαρτημένα στο επάνω τμήμα του κουβουκλίου της γεννήτριας από τα οποία λαμβάνονται μετρήσεις για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου ώστε να μπορεί η ανεμογεννήτρια να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερα την πνοή του ανέμου. Υπάρχει επίσης ενσωματωμένο σύστημα πέδησης για τα πτερύγια, συστήματα γείωσης από κεραυνούς και άλλα υποσυστήματα που υποστηρίζουν την ομαλή της λειτουργία της Α/Γ [4].

Κάθε Α/Γ διαθέτει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να γνωρίζει ο ενδιαφερόμενος για να επιλέξει την κατάλληλη Α/Γ ανάλογα με τις ταχύτητες ανέμου που πνέουν στην περιοχή αλλά και την συχνότητα εμφάνισης και διατήρησής τους. Εκτός από την ισχύ της Α/Γ η οποία μπορεί να ξεκινά από μερικές δεκάδες KW και να φτάνει έως 3 MW σημαντικό στοιχείο είναι η καμπύλη ισχύος της Α/Γ (σχήμα 9).



(σχήμα 9) Καμπύλη

ισχύος Α/Γ 800KW.

Enercon (2005). E-48 Booklet
Bremen Germany : Enercon
GmbH International Dept

Από την καμπύλη αυτή μπορούμε να πληροφορηθούμε την ταχύτητα ανέμου που αποτελεί και ταχύτητα έναρξης της παραγωγικής λειτουργίας της Α/Γ αλλά και την ταχύτητα ανέμου στην οποία σταματά να λειτουργεί η Α/Γ, οπότε σταματά και η παραγωγή ρεύματος για λόγους προστασίας της κατασκευής (ταχύτητα περάτωσης). Σημαντική πληροφορία που μας παρέχει η καμπύλη ισχύος της Α/Γ είναι η ονομαστική

ταχύτητα λειτουργίας της μηχανής που είναι η ταχύτητα ανέμου στην οποία η μηχανή παράγει την ονομαστική (μέγιστη) ισχύ της. Αποτελεί τη σημαντικότερη πληροφορία που λαμβάνουμε για μια υποψήφια θέση εγκατάστασης αιολικού πάρκου καθώς επιλέγονται τοποθεσίες με ταχύτητες ανέμου που να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ονομαστική ταχύτητα της Α/Γ που έχει επιλεγεί [1].



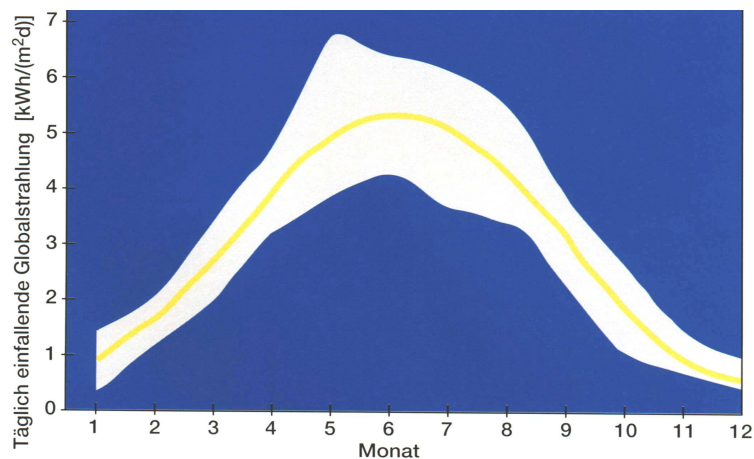
(σχήμα 10) Α/Γ VESTAS V-52
ισχύος 2 MW.
VESTAS (2004). V-52 Booklet Denmark :
VESTAS International Dept

2.3 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

2.3.1 Ηλιακή ενέργεια

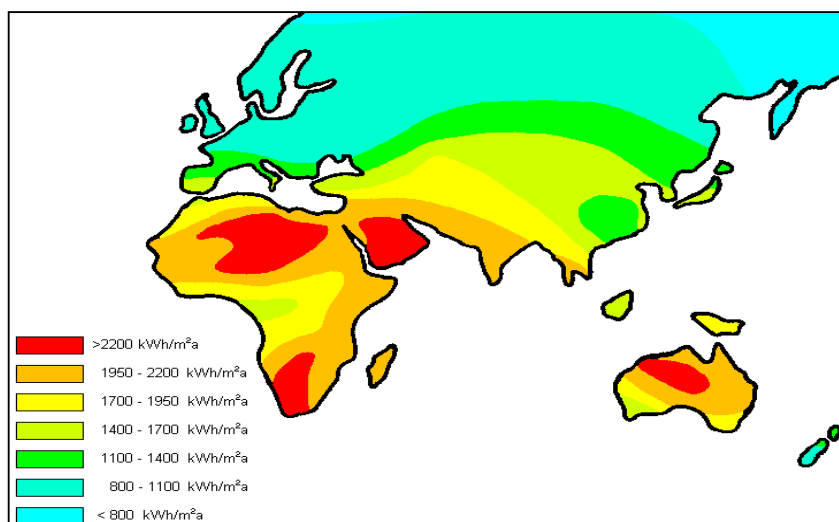
Η ηλιακή ακτινοβολία που μας παρέχει ο ήλιος είναι σταθερή κάθε στιγμή της ημέρας. Η κίνηση της γης όμως γύρω από τον ήλιο που έχει ως αποτέλεσμα την εποχιακή μεταβολή, έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της ακτινοβολίας που φτάνει στην γήινη επιφάνεια. Γενικά οι κλιματολογικές συνθήκες είναι αυτές που επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να φτάνει και να θερμαίνει την Γη. Όταν επικρατεί υψηλή ηλιοφάνεια και έχουμε καθαρό ουρανό, η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει τα 1000 W/m^2 . Σε περιπτώσεις με αραιή ή πιο έντονη συννεφιά τα ποσά πέφτουν στα $600 - 300 \text{ W/m}^2$, ενώ με απόλυτη συννεφιά η ακτινοβολία που φτάνει στην Γη δεν ξεπερνά τα 100 W/m^2 . Οι μέγιστες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρούνται κατά τις μεσημεριανές ώρες όταν ο ήλιος βρίσκεται στο Zenith του και επομένως οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κάθετα επάνω στη γη [5].

Η ενέργεια που μας παρέχει η ηλιακή ακτινοβολία δίδεται από το γινόμενο της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας πολλαπλασιασμένης με τον χρόνο και μετράται σε kWh/m². Η ενέργεια αυτή εξαρτάται άμεσα από την θέση του ηλίου, την πιθανή συννεφιά αλλά και την εποχή του έτους. Έτσι τους χειμερινούς μήνες με απόλυτη συννεφιά η ακτινοβολία που φτάνει στη Γη είναι κατά μέσο όρο 1 KWh/m²day, το φθινόπωρο και την άνοιξη φτάνει τις 2,5 KWh/m²day, ενώ το καλοκαίρι η ενέργεια που δεχόμαστε είναι 5 KWh/m²day (σχήμα 11) [6].



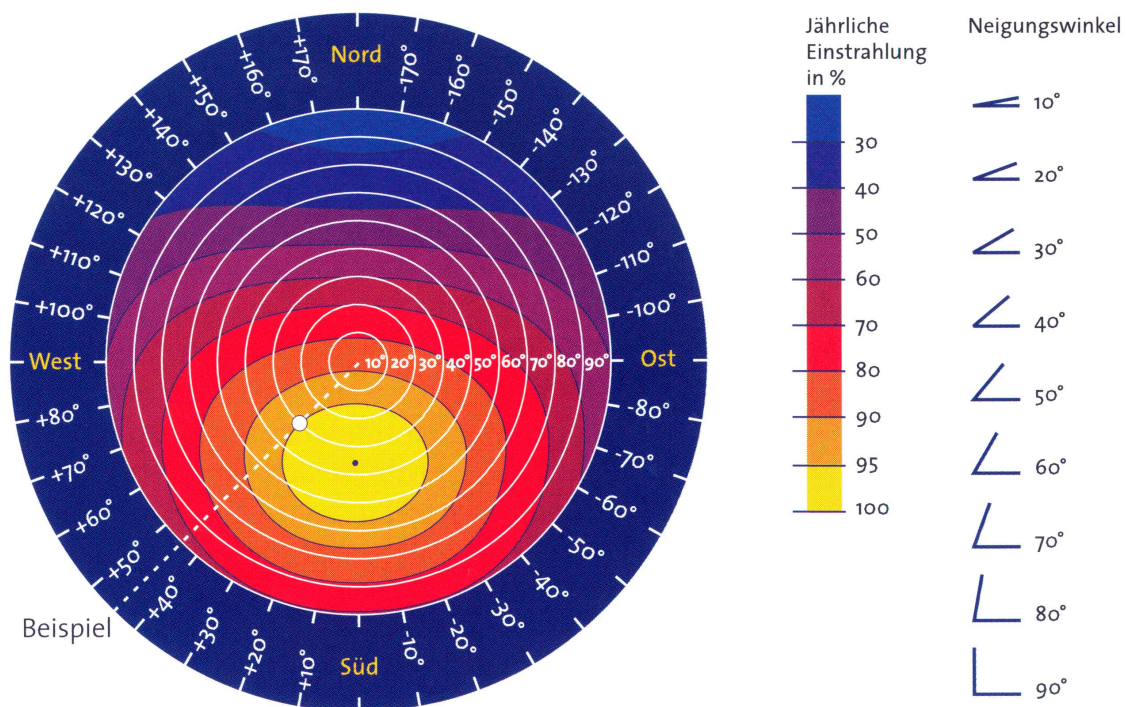
(σχήμα 11) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με τις εποχιακές εναλλαγές
SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Installation manual*. Germany : Shuco International Dept.

Εκτός όμως από τις εναλλαγές των εποχών η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια περιοχή της Γης εξαρτάται και από τη θέση της πάνω στη γήινη σφαίρα (σχήμα 12). Οι περιοχές κοντά στον Ισημερινό δέχονται πολύ μεγαλύτερα ποσοστά ακτινοβολίας καθ'όλη τη διάρκεια του έτους σε σχέση με τις βορειότερες και νοτιότερες περιοχές.



(σχήμα 12) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την περιοχή.
SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Installation manual*. Germany : Shuco International Dept.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που αφορά το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια περιοχή είναι η κλίση της εν λόγω περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει κάθετα πάνω στην επιφάνεια της Γης. Συνεπώς οι περιοχές που έχουν κάποια κλίση δέχονται μικρότερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας. Η κλίση της περιοχής λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψην στις περιπτώσεις εγκαταστάσεων που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ενέργειας. Η κλίση στην οποία τοποθετούνται οι συσκευές συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την θέση πάνω στην Γήινη επιφάνεια ώστε να βλέπουν όσο το δυνατόν πιο κάθετα τις ακτίνες του ηλίου, μιας και η Γη έχει σφαιρικό σχήμα (σχήμα 13). Έτσι σε περιοχές στον Ισημερινό οι συσκευές τοποθετούνται παράλληλα με το έδαφος καθώς σε εκείνη την περιοχή της Γης οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα. Όσο απομακρυνόμαστε από τον ισημερινό αυξάνεται και η κλίση ώστε να αυξηθεί το ποσοστό εκμετάλλευσης της ακτινοβολίας [7].



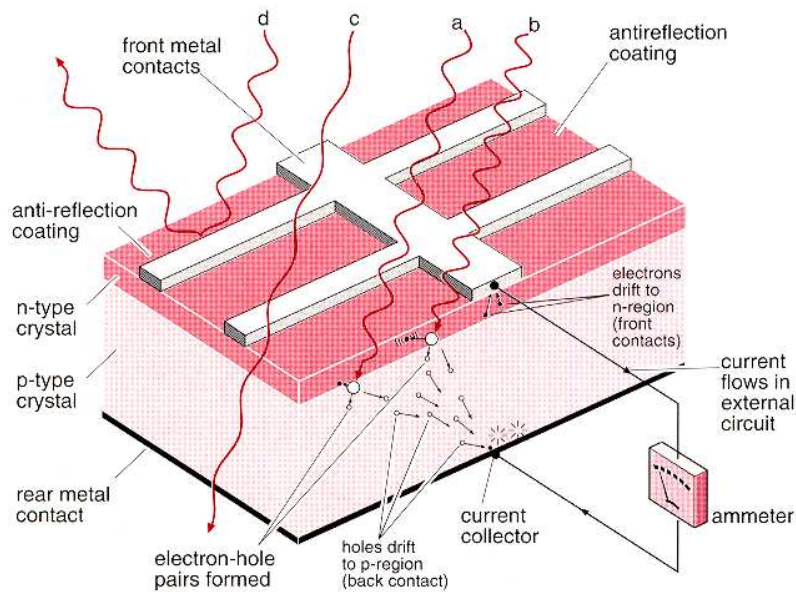
(σχήμα 13) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την κλίση.

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

2.3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζεται στις ιδιότητες των ημιαγωγών που αντιδρούν στην περίπτωση που το ηλιακό φως πέσει επάνω τους. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από δύο φύλλα ημιαγωγών διαφορετικού υλικού οι οποίοι είναι γνωστοί ως τύπου p (θετικοί) και τύπου n (αρνητικοί). Κατασκευάζονται από σιλικόνη μόνο που οι μεν n τύπου περιέχουν φώσφορο που τους δίνει κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες, ενώ οι p τύπου κατασκευάζονται επίσης από κρυσταλλική σιλικόνη αλλά με μια ποσότητα βορίου.

Στις ξεχωριστές ιδιότητες που δίνουν τα πρόσθετα στην κρυσταλλική σιλικόνη υλικά στηρίζεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο (σχήμα 14). Μια δέσμη φωτός είναι ουσιαστικά μια δέσμη σωματιδίων που ονομάζονται πρωτόνια και μεταφέρουν την ενέργεια ακτινοβολώντας. Όταν τα πρωτόνια πέσουν πάνω σε μια ένωση ημιαγωγών τύπου p – n, μεταφέρουν την ενέργειά τους στα ηλεκτρόνια του υλικού με το οποίο έρχονται σε επαφή, ανάγοντάς το ενεργειακά σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Τα ηλεκτρόνια των ατόμων του υλικού που δέχεται την ενέργεια των πρωτονίων φεύγουν από την θέση που κατείχαν στο άτομο και αρχίζουν να κινούνται. Έτσι δημιουργείται η ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος. Οι θέσεις που κατείχαν τα ηλεκτρόνια πριν μένουν προσωρινά κενές και ονομάζονται οπές. Επειδή τα άτομα των ημιαγωγών είναι αρχικά ουδέτερα, κάθε οπή ισοδυναμεί με ένα θετικό στοιχειώδες φορτίο. Η κάθε οπή μπορεί να συμπληρωθεί με ένα ηλεκτρόνιο από το γειτονικό άτομο και το ηλεκτρόνιο αυτό αφήνει μια οπή εκεί από όπου φεύγει. Το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται και η κίνηση αυτή των ηλεκτονίων μας δίνει το ρεύμα στα άκρα των δύο αγωγών [3].

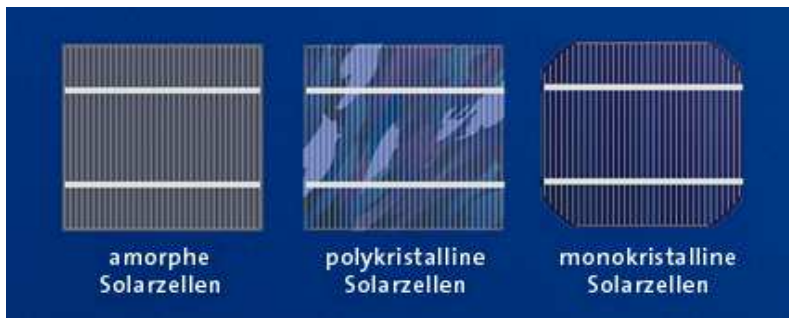


(σχήμα 14) Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο
 Godfrey Boyle (1996). *Renewable Energy Power for a Sustainable Future. The Open University Oxford England : Oxford University Press*

2.3.3 Solar cell (Φωτοβολταϊκά πλαίσια)

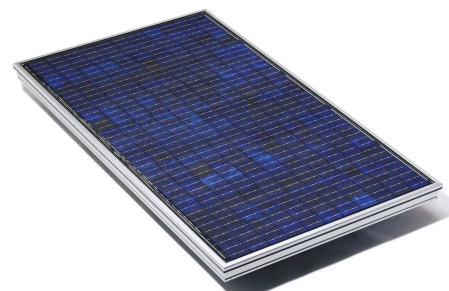
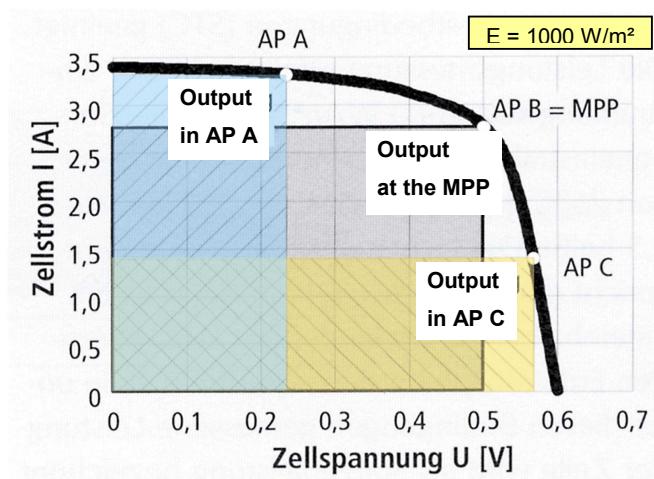
Το κυριότερο τμήμα μιας κατασκευής με Φ/Β πάνελ είναι το πλαίσιο που επιλέγεται. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι πλαισίου με βάση το κρυσταλλικό πυρίτιο που ο καθένας έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές (σχήμα 15) [5]:

1. πλαίσια μονοκρυσταλλικής σιλικόνης: Τα άτομα του κρυσταλλικού πυριτίου είναι τοποθετημένα σε ορισμένη κανονική δομή που επαναλαμβάνεται σε όλο το στερεό. Είναι υλικό υψηλής ποιότητας με τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης (14 – 17%) αλλά παράλληλα είναι και αρκετά ακριβό.
2. πλαίσια πολυκρυσταλλικής σιλικόνης: Στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο η κρυσταλλική δομή δεν είναι ίδια σε όλο το στερεό αλλά παίρνει διαφορετικό προσανατολισμό σε διάφορες περιοχές που χωρίζονται μεταξύ τους με συγκεκριμένες νοητές γραμμές. Είναι το υλικό με τη μεγαλύτερη χρήση και ο βαθμός απόδοσής του φτάνει το 13-15%.
3. πλαίσια άμορφης σιλικόνης: Στο άμορφο πυρίτιο τα άτομα καταλαμβάνουν τυχαίες θέσεις και η δομή του είναι εντελώς ακανόνιστη. Έχει τον χαμηλότερο βαθμό απόδοσης 5 – 8%, ενώ η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο.



(σχήμα 15) Πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου. SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

Βασική προϋπόθεση στην επιλογή του κατάλληλου πλαισίου είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Αυτά τα εντοπίζει κανείς από την καμπύλη ισχύος του πλαισίου (σχήμα 16).



(σχήμα 16) Καμπύλη ισχύος Φ/Β πλαισίου.

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

Το σημείο καμπής της καμπύλης ισχύος είναι το σημείο της μέγιστης ισχύος (MPP) καθώς το γινόμενο τάσης – έντασης αποκτά το μέγιστο εμβαδόν. Σημαντική επίσης είναι η τάση ανοιχτοκύκλωσης (V_{oc}) που είναι η μέγιστη τάση που δίνει το πλαίσιο όταν δεν συνδέονται καταναλωτές σ'αυτό (μέτρηση στα άκρα του πλαισίου), αλλά και το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) δηλαδή το ρεύμα που παίρνουμε όταν βραχυκυκλώσουμε τα άκρα του Φ/Β με σύρμα μηδαμινής αντίστασης. Η ισχύς που λαμβάνουμε στην έξοδο του πλαισίου είναι αντιστρόφως ανάλογη με την θερμοκρασία. Έτσι όσο η θερμοκρασία

αυξάνεται τόσο μειώνεται η ισχύς που λαμβάνουμε. Ως προς το παραγόμενο ρεύμα αυτό αυξάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του πλαισίου, ενώ η τάση στα άκρα του παραμένει ίδια [5].

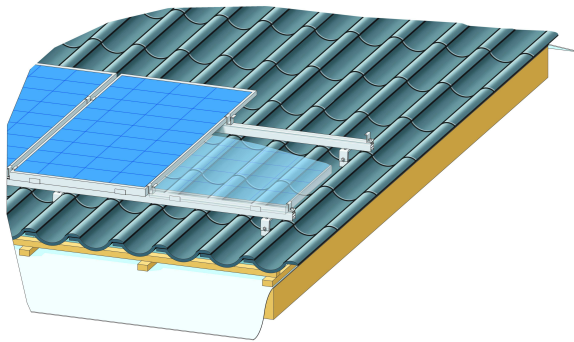
Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μεταξύ τους είναι καθοριστική για τις τιμές που λαμβάνουμε στην έξοδο. Έτσι η σύνδεση δύο πλαισίων κατά σειρά αυξάνει αθροιστικά την τάση στα άκρα του κυκλώματος, ενώ η παράλληλη σύνδεση πλαισίων αυξάνει αθροιστικά το ρεύμα που δίνουν στην έξοδό τους. Συνήθως στις εγκαταστάσεις επιλέγεται η κατάλληλη σε σειρά ή παράλληλη σύνδεση ώστε να πετύχουμε την επιθυμητή τάση και ρεύμα στην έξοδο. Για την προστασία και σωστή λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων, σε κάθε πλαίσιο υπάρχουν δίοδοι που εμποδίζουν την επιστροφή του ρεύματος προς το πάνελ σε περίπτωση που ο συσσωρευτής έχει φορτιστεί πλήρως [7].

2.3.4 Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πλαίσια απαιτεί εκτός από αυτά την ύπαρξη ενός ελεγκτή της κυκλοφορίας του ρεύματος, συσσωρευτές για την αποθήκευση της ενέργειας και έναν μετασχηματιστή για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος που παράγει το φωτοβολταϊκό σε εναλλασσόμενο για την κατανάλωσή του από κάθε συσκευή [5].

Τα Φ/Β πλαίσια βρίσκουν πληθώρα σημείων για εγκατάσταση και εφαρμογές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για μεμονωμένες εργασίες από ιδιώτες όπως η εξασφάλιση ηλεκτρικής ενέργειας για τον φωτισμό μιας εξοχικής κατοικίας, για την λειτουργία μιας τηλεόρασης ή άλλων μικροεφαρμογών όταν πρόκειται για μικρές εγκαταστάσεις, είτε για κάλυψη ενός σημαντικού μέρους των ενεργειακών αναγκών σε μεγάλα κτήρια όπου ολόκληρες πλευρές τους με ευνοϊκό προσανατολισμό καλύπτονται με πάνελ εκμεταλλευόμενα την ηλιακή ακτινοβολία.

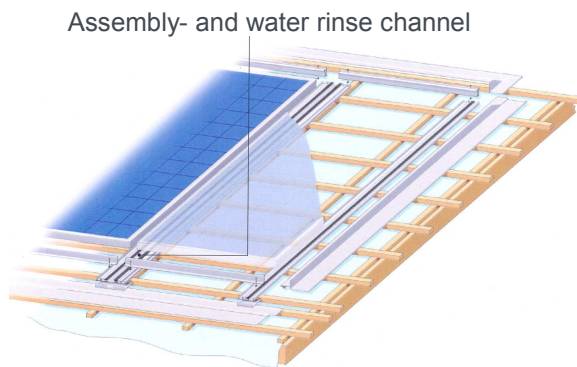
Σε αρκετές χώρες οι ιδιώτες χρησιμοποιούν πάνελ τοποθετώντας τα συνήθως στις στέγες των σπιτιών όπου και υπάρχει η κατάλληλη κλίση για να λαμβάνουν τα Φ/Β πάνελ όσο το δυνατόν πιο κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία (σχήμα 17). Τα πάνελ τοποθετούνται πάνω σε μικρές μεταλλικές κατασκευές οι οποίες βιδώνουν επάνω στα κεραμίδια φέρνοντάς τα παράλληλα στην κλίση της στέγης.



(σχήμα 17) Παράλληλη τοποθέτηση στη στέγη

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

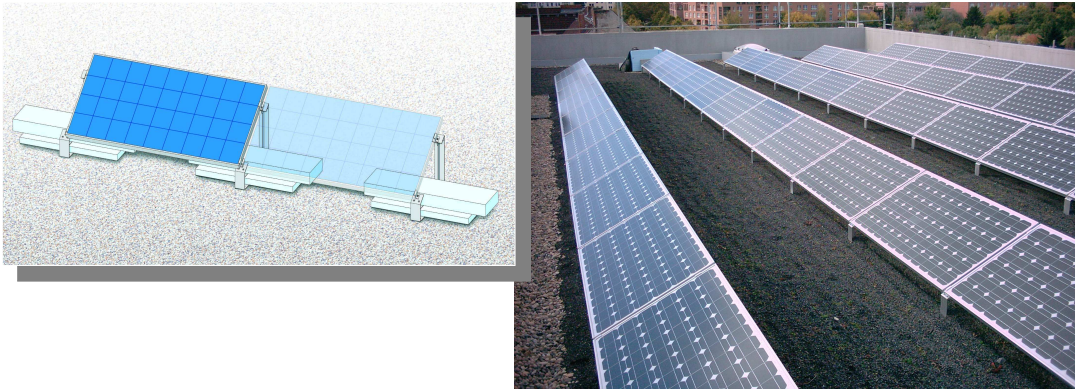
Σε άλλες περιπτώσεις τα Φ/Β πάνελ μπορούν να ενσωματωθούν στην στέγη του σπιτιού (σχήμα 18) όταν αυτή διαθέτει την απαιτούμενη κλίση, με μια ειδική κατασκευή η οποία τα τοποθετεί ως προέκταση των κεραμιδιών με πρόβλεψη ακόμη και καναλιών για την απομάκρυνση των βρόχινων υδάτων.



(σχήμα 18) Ενσωμάτωση στην κατασκευή της στέγης.

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

Στην περίπτωση επίπεδης στέγης, τα πάνελ τοποθετούνται πάνω σε μεταλλικές βάσεις οι οποίες σχηματίζουν την επιθυμητή τριγωνική διατομή ώστε τα πάνελ να βλέπουν κάθετα τις ηλιακές ακτίνες (σχήμα 19).



(σχήμα 19) Τοποθέτηση σε μεταλλικές βάσεις τριγωνικής διατομής.

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

Σε περιπτώσεις που ολόκληρες πλευρές κτηρίων καλύπτονται με Φ/Β πάνελ, τα πάνελ τοποθετούνται με μεταλλικά στηρίγματα επάνω στο κτήριο (σχήμα 20), είτε ενσωματώνονται στην κατασκευή του κτηρίου αντί υαλοπινάκων (σχήμα 21), είτε ακόμα χρησιμοποιούνται στις πλευρές που έχουν υψηλή ηλιοφάνεια με τη μορφή εξωτερικών σκιάστρων (σχήμα 22) τα οποία είτε ακολουθούν την κίνηση του ήλιου είτε είναι σταθερά.



(σχήμα 20) Τοποθέτηση πάνελ σε εξωτερικούς τοίχους κτηρίου.

(σχήμα 21) Τοποθέτηση πάνελ αντί υαλοπινάκων.

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

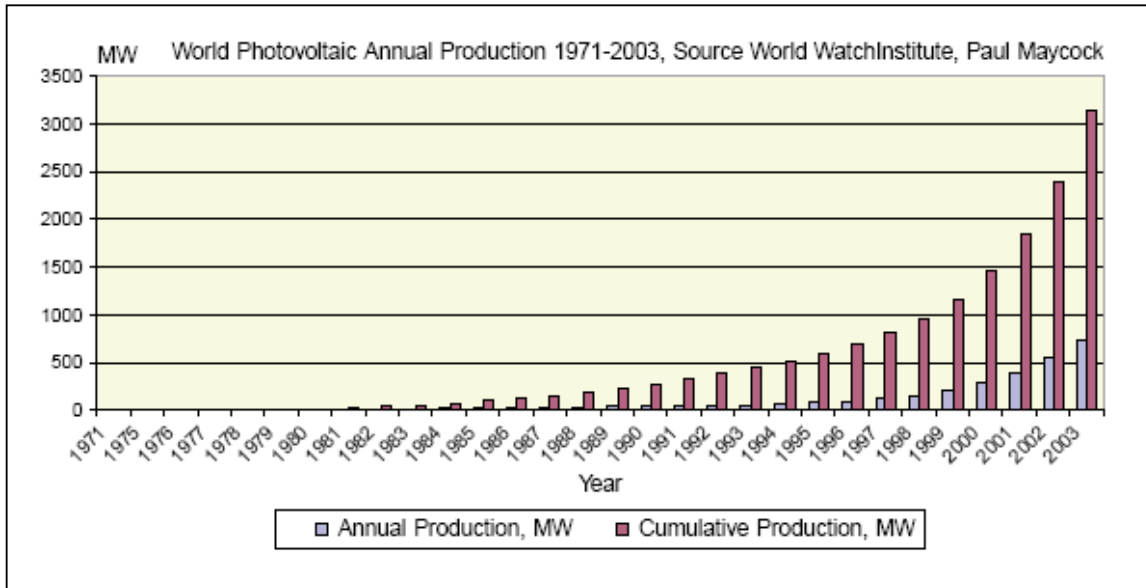


(σχήμα 22) Χρήση Φ/Β πάνελ ως σκίαστρα.

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.

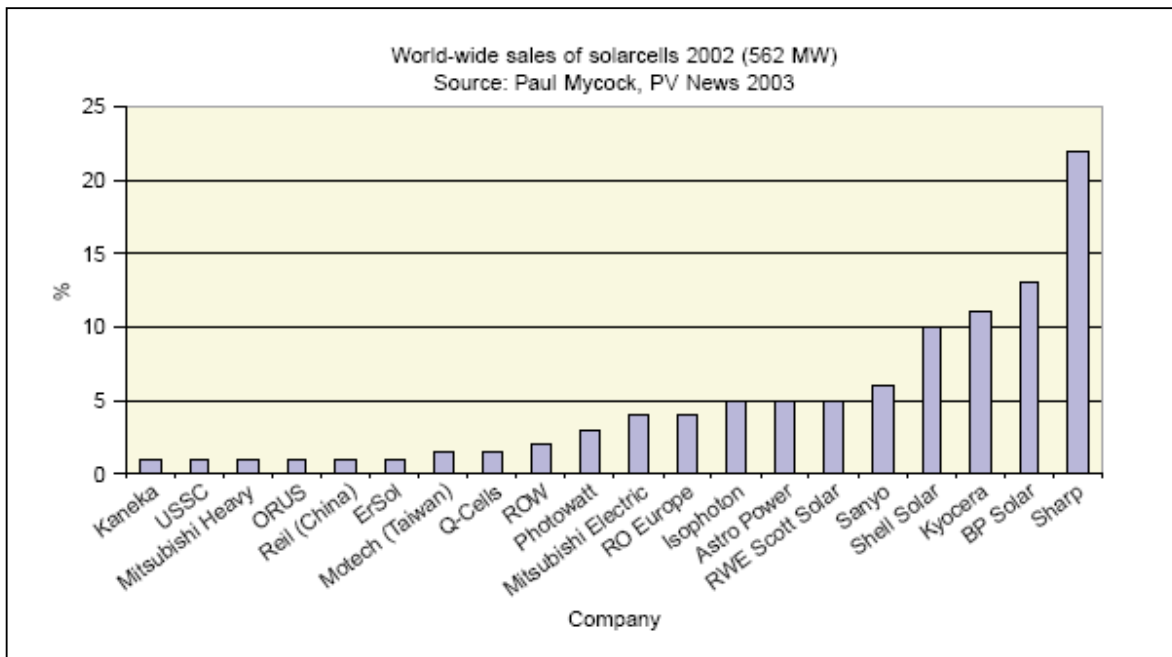
2.3.5 Συμπεράσματα

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων βρίσκει ολοένα και μεγαλύτερη ανταπόκριση στο κοινό καθώς μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά πληθώρα οικιακών αναγκών καθιστώντας τον καταναλωτή αυτόνομο, ανεξαρτητοποιώντας τον από το εθνικό δίκτυο διανομής Η/Ε. Οι αποδόσεις των Φ/Β παραμένουν μέχρι σήμερα σε χαμηλά σχετικά επίπεδα, ωστόσο συνεχίζονται οι έρευνες και συχνά παρουσιάζονται υλικά και κατασκευές με μεγαλύτερη αντοχή και απόδοση. Η συνεχώς αυξανόμενη αγορά της Φ/Β τεχνολογίας (σχήμα 23) έχει πυροδοτήσει έναν πόλεμο μεταξύ εταιριών που παρουσιάζουν συνεχώς νέα βελτιωμένα μοντέλα αποσκοπώντας στην κατάκτηση ενός μεριδίου από την τεράστια αγορά της ενέργειας (σχήμα 24).



(σχήμα 23) Παγκόσμια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β.

A.Zahedi (2005) *Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems*



(σχήμα 24) Παγκόσμια αγορά Φ/Β 2002 (562 MW).

A.Zahedi (2005) *Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems*

2.4 Υβριδικά συστήματα

2.4.1 Εισαγωγή

Η αγορά ενέργειας απαιτεί τεράστιες ποσότητες για την διάθεσή τους στο καταναλωτικό κοινό. Η ενέργεια αποτελεί το στοιχείο εκείνο που ωθεί στην ανάπτυξη και εξέλιξη του παγκόσμιου πολιτισμού. Για πολλές δεκαετίες οι ΑΠΕ έδρασαν χωριστά αποτελώντας μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η παραγόμενη ενέργεια, προερχόμενη από τον άνεμο, τον ήλιο, τις υδατοπτώσεις, την γεωθερμία, τη βιομάζα και ένα σωρό άλλες ήπιες μορφές ενέργειας, κατέληγε στο κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την ύπαρξη μεγάλων εγκαταστάσεων που παράγουν σημαντικά ποσά ενέργειας. Με την πάροδο του χρόνου, εκτός από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των εγκαταστάσεων αυτών όπως η μη έκλυση ρύπων στο περιβάλλον και η χρήση ανεξάντλητων μορφών ενέργειας, εμφανίστηκαν κάποια μειονεκτήματα. Δεν υπήρχε διαθεσιμότητα ενέργειας καθ'όλη την διάρκεια του έτους λόγω της εναλλαγής των εποχών. Η ανάγκη για συνεχή παροχή σταθερών ποσοτήτων ενέργειας ανεξάρτητα από την εποχιακή εναλλαγή γέννησε την ιδέα των υβριδικών συστημάτων.

2.4.2 Υβριδική τεχνολογία & εφαρμογή της

Με τον όρο υβριδική τεχνολογία εννοούμε την συνύπαρξη σε ένα σύστημα δύο ή περισσότερων μορφών ενέργειας οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ο όρος αλληλεπίδραση αφορά την κάλυψη των μειονεκτημάτων που έχει η κάθε μία από την άλλη. Έτσι π.χ. όταν σε ένα σύστημα Α/Γ – Φ/Β σταματάνε να πνέουν άνεμοι που κινούν την Α/Γ και συνεπώς παράγεται ενέργεια, αναλαμβάνουν τα Φ/Β πάνελ μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας να μας παρέχουν την χρειαζόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα το σύστημα να μην τεθεί ποτέ εκτός λειτουργίας λόγω καιρικών εναλλαγών. Το παραπάνω σύστημα μπορεί φυσικά να εμπλουτιστεί και με τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται άλλες μορφές ενέργειας όπως υδατοπτώσεις, γεωθερμία, βιομάζα και άλλες καλύπτοντας όσο το δυνατόν περισσότερο την αδυναμία κάποιων τεχνολογιών να παράγουν ενέργεια λόγω καιρικών εναλλαγών. Συνεπώς κάθε τεχνολογία στην περίπτωση των υβριδικών συστημάτων καλύπτει τα κενά που δημιουργεί η άλλη. Σε πολλές περιπτώσεις σε ένα σύστημα μπορεί να λειτουργούν ταυτόχρονα οι τεχνολογίες που ενσωματώνει

παράγοντας ενέργεια που υπερβαίνει τις ανάγκες του καταναλωτή. Τότε η χρήση ειδικών ρυθμιστικών διατάξεων βοηθά ώστε η περίσσεια ενέργεια είτε να αποθηκεύεται σε συσσωρευτές για μελλοντική χρήση ή αν οι συσσωρευτές είναι πλήρως φορτισμένοι να σταματάει η λειτουργία των παραγωγικών τμημάτων της εγκατάστασης.

Η χρήση υβριδικών συστημάτων παρατηρείται ιδιαίτερα σε περιοχές όπου οι καταναλωτές βρίσκονται πολύ μακριά από το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν στον πλανήτη πολλές απομακρυσμένες ορεινές ή νησιωτικές περιοχές όπου οι άνθρωποι δεν απολαμβάνουν τα προνόμια της συνεχούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Αχανείς εκτάσεις στα οροπέδια της Κίνας, συμπλέγματα νησιών στον Ειρηνικό ωκεανό, εκτάσεις στις έρημους της Αφρικής αλλά και στα δάση της Ν.Αμερικής δεν διαθέτουν τις ανέσεις των ανεπτυγμένων περιοχών. Οι ανάγκες στις περιοχές αυτές εντοπίζονται στην επικοινωνία (χρήση ραδιοφώνου και σπανίως τηλεοράσεως), στην χρήση ψυγείων για τη διατήρηση της τροφής και στον φωτισμό των σπιτιών. Σημαντική επίσης είναι και η εξασφάλιση πόσιμου νερού για πόση και άρδευση.

Με γνώμονα τα παραπάνω αναπτύχθηκαν υβριδικά συστήματα τα οποία μπορούν αποτελεσματικά να υπερκαλύψουν τις βασικές ανάγκες αυτών των απομακρυσμένων πληθυσμών.

2.4.3 Η ξένη εμπειρία

2.4.3.1 Μογγολία

Σε περιπτώσεις κρατών όπου σημαντική μερίδα του πληθυσμού στερείται των βασικών αναγκών λόγω της απόστασης τους από το δίκτυο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, οι κυβερνήσεις προβαίνουν σε εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων για της παροχή ενέργειας. Μια πρώτη εμπειρία ήλθε από τα οροπέδια της Μογγολίας. Η Μογγολία είναι σε έκταση μία αχανής και επιπλέον αραιοκατοικημένη χώρα και ως εκ τούτου μεγάλο ποσοστό των περίπου 1.800.000 κατοίκων της, που είναι κατά κύριο λόγο νομάδες, δεν έχει πρόσβαση στο Εθνικό Δίκτυο. Η χρήση αυτόνομων πετρελαϊκών σταθμών είναι ασύμφορη και σαν συνέπεια η λειτουργία τους περιορίζεται μόνο σε μερικές ώρες (4 – 6 ώρες το 24ωρο) και μόνο την χειμερινή περίοδο. Για το λόγο αυτό η κυβέρνηση δημιούργησε ειδικό πρόγραμμα για την εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων με σκοπό

την κάλυψη των βασικών ηλεκτρικών αναγκών του πληθυσμού. Από το 1970 η Μογγολία φιλοξενεί τον μεγαλύτερο πληθυσμό μικρών ανεμογεννητριών που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε νοικοκυριά για τις βασικές ανάγκες [8]. Περίπου 140.000 – 150.000 τέτοια συστήματα έχουν εγκατασταθεί σε περιοχές όπου οι κάτοικοι δεν έχουν πρόσβαση στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και οι Α/Γ αυτές συναντώνται παντού σ' αυτές τις περιοχές, ωστόσο η πτώση των ανέμων κατά τους θερινούς μήνες έχει ως αποτέλεσμα το παραγόμενο ρεύμα να είναι λίγο και συνεπώς οι συσσωρευτές να μην φορτίζονται. Λύση στο πρόβλημα έδωσε η τοποθέτηση Φ/Β συστημάτων παράλληλα με τις Α/Γ, καλύπτοντας τις θερινές ενεργειακές απαιτήσεις, μετατρέποντας τα ήδη υπάρχοντα συστήματα σε υβριδικά. Γύρω από τα συστήματα αυτά δημιουργήθηκε μια αναπτυσσόμενη βιομηχανία καθώς εκτός από τη συντήρηση η ιδέα των υβριδικών συστημάτων εξαπλώνεται στις απομακρυσμένες περιοχές.

2.4.3.2 Ειρηνικός Ωκεανός

Στην ευρύτερη περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού υπάρχει πληθώρα διάσπαρτων κρατών και νησιών πολλά εκ των οποίων δεν ηλεκτροδοτούνται ακόμη. Επιπροσθέτως, η διαμόρφωση των κατά κανόνα κοραλλιογενών αυτών νησιών και οι συνθήκες (ελάχιστες απαιτήσεις σε Η/Ε) είναι τέτοιες που από οικονομικής πλευράς αποτρέπουν την εγκατάσταση και λειτουργία συμβατικών πετρελαϊκών σταθμών. Διευκρινίζεται ότι οι βασικές ανάγκες των κατοίκων είναι τόσο περιορισμένες που η μέση κατανάλωση Η/Ε των νοικοκυριών είναι της τάξης των 25 kWh/μήνα. Ανασταλτικός παράγοντας της χαμηλής κατανάλωσης είναι επίσης η τιμή χρέωσης Η/Ε που το 2001 ήταν της τάξης των 80 δρχ./ kWh [9].

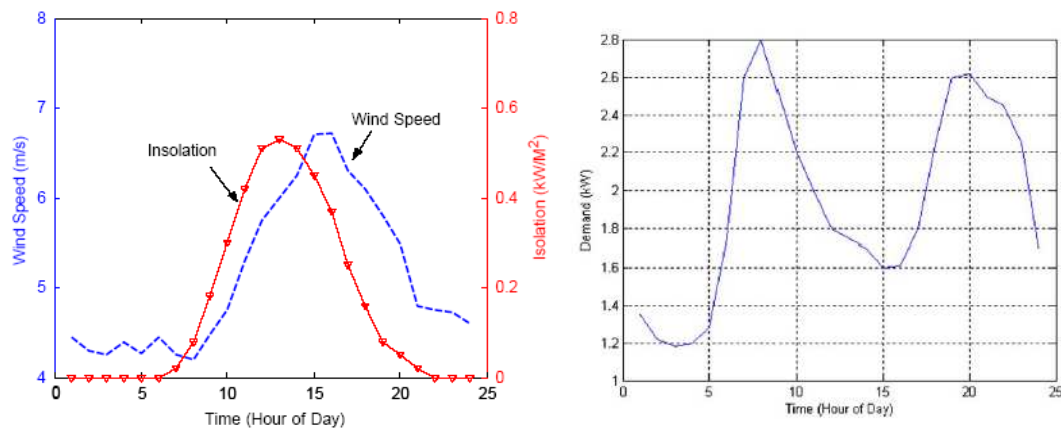
Η μόνη δυνατότητα κάλυψης των ελαχίστων αυτών αναγκών των κατοίκων κυρίως για φωτισμό, ράδιο και λοιπές μη ενεργοβόρες χρήσεις είναι η αξιοποίηση των ΑΠΕ και κυρίως της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Προσπάθειες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας (Φ/Β) έχουν αρχίσει εδώ και πάνω από 20 χρόνια. Όλες οι προσπάθειες αυτές σκόνταψαν μέχρι σήμερα στο γεγονός έλλειψης υποδομής για την εξασφάλιση συστηματικής συντήρησης και συνεχούς λειτουργίας τους. Εξάιρεση αποτελεί το Κιριμπάτι, όπου εδώ και 9-10 χρόνια λειτουργούν σε τρία νησιά (North Tarawa, Marakei και Nonouti) περίπου 300 μικρές αυτόνομες Φ/Β μονάδες ισχύος 100 – 120 Wp. Τη

φροντίδα για τη λειτουργία και συντήρηση των μονάδων αυτών έχει η Solar Energy Company (SEC), η οποία υφίσταται εδώ και 15 χρόνια περίπου και έχει οργανώσει σχετική υποδομή. Το γεγονός αυτό ενθάρρυνε την Ε.Ε. να χρηματοδοτήσει ένα νέο έργο ευρύτερης κλίμακας και συνολικού προϋπολογισμού 4.000.000 €. Το έργο αυτό προβλέπει την εγκατάσταση 1.500 Φ/Β ισχύος 100 Wp και 133 μεγαλύτερων μονάδων ισχύος 200 – 600 Wp στα 18 διάσπαρτα νησιά της ομάδας Gilbert. Αν η προσπάθεια αυτή για την εξασφάλιση συνεχούς λειτουργίας όλων των Φ/Β συστημάτων που λειτουργούν και αυτών που θα εγκατασταθούν στα πλαίσια του νέου έργου ευοδωθούν, όπως αναμένεται, τότε ο δρόμος ευρύτερης αξιοποίησης των ΑΠΕ στην ευρύτερη περιοχή θα είναι πλέον ανοικτός.

2.4.3.3 Ευρώπη – Η.Π.Α.

Το πρόβλημα της υπερκατανάλωσης ενεργειακών πόρων δεν προέρχεται από τις μη ανεπτυγμένες περιοχές του πλανήτη αλλά κυρίως από τις πλέον ανεπτυγμένες όπως η Ευρώπη και οι Η.Π.Α. Ωστόσο παρά τις μεγάλες ανάγκες της βιομηχανίας σε ενέργεια, γίνονται προσπάθειες για ανεξαρτητοποίηση των καταναλωτών από το εθνικό δίκτυο διανομής. Αυτό φυσικά δεν είναι εφικτό στις μεγαλουπόλεις όπου η έλλειψη χώρου δεν ευνοεί τις προσπάθειες για εγκατάσταση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων, αλλά στην περιφέρεια καθώς πολλές δραστηριότητες όπως ηλεκτροδότηση για φωτισμό, άντληση νερού ή άλλες εφαρμογές καλύπτονται από συστήματα ΑΠΕ.

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες γύρω από υβριδικά συστήματα και κυρίως γύρω από την διαστασιολόγησή τους για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών. Πολλοί επιστήμονες έχουν ασχοληθεί με την εξεύρεση αλγορίθμων που βελτιστοποιούν την σχέση μεταξύ παραγωγών τμημάτων όπως Α/Γ, Φ/Β ή άλλων τεχνολογιών, με τους συσσωρευτές ώστε το σύστημα να λειτουργεί αυτόνομα με την μέγιστη απόδοση [10]. Λαμβάνοντας με κατάλληλα μέσα χρονοσειρές ανέμου ή ηλιακής ακτινοβολίας (σχήμα 25) ο ερευνητής δημιουργεί το προφίλ ανέμου ή ηλιακής ακτινοβολίας μιας περιοχής. Χρησιμοποιώντας την πληροφορία αυτή σε συνδυασμό με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων παραγωγών συσκευών, των συσσωρευτών και των αναγκών που θέλει να καλύψει, καταλήγει σε μαθηματικές εξισώσεις που διαστασιολογούν με ακρίβεια το σύστημα και τον τρόπο λειτουργίας του.



(σχήμα 25) Μέσο ωριαίο προφίλ ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας – Μέση ωριαία κατανάλωση
D.B.Nelson – M.H.Nehrir-C.Wang (2005) *Unit sizing & cost analysis of standalone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems.*

2.4.4 Η Ελληνική εμπειρία

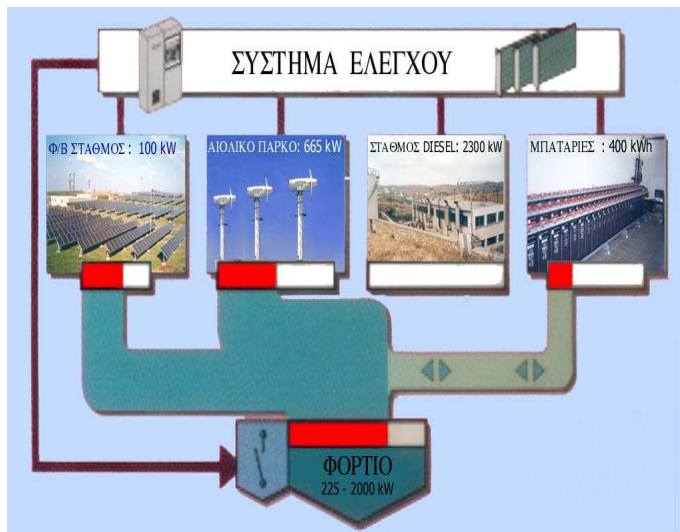
Οι προσπάθειες ευρύτερης αξιοποίησης των ΑΠΕ και ιδιαίτερα της Αιολικής Ενέργειας, στα αυτόνομα δίκτυα των νησιών, παρά το γεγονός του θαυμάσιου Αιολικού Δυναμικού που επικρατεί στην περιοχή του Αιγαίου, δεν είχαν μέχρι σήμερα τα επιθυμητά αποτελέσματα, διότι από την αρχή της εγκατάστασής τους έγινε προσπάθεια προσαρμογής της λειτουργίας των Α/Γ στις ιδιαιτερότητες των πετρελαϊκών μονάδων. Έτσι, οι Α/Γ έπαιζαν βοηθητικό ρόλο με συνέπεια η οικονομικά αποδοτική διεύθυνση των παραδοσιακών Α/Γ στα νησιά, οι οποίες χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες σταθερών στροφών, μέχρι σήμερα να μένει σε ποσοστά κάτω του 10%. Αυτό συμβαίνει διότι οι Α/Γ αυτές είναι ανελαστικές στη λειτουργία τους και λόγω των στιγμιαίων διακυμάνσεων της ισχύος τους δυσχεραίνουν σε μεγάλο βαθμό την συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα ιδιαίτερα τις περιόδους μειωμένης ζήτησης [9].

Επιπλέον, η εγκατάσταση παραδοσιακών Α/Γ μεγάλου σχετικά μεγέθους από ιδιώτες επενδυτές στα νησιά επιδεινώνει ακόμη περισσότερο την συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα λόγω των σχετικά αυξημένων στιγμιαίων διακυμάνσεων της ισχύος τους, και έχει σαν συνέπεια να κάνει τη λειτουργία των πετρελαϊκών μονάδων ακόμη πιο αντιοικονομική (αυξημένη ειδική κατανάλωση, μεγαλύτερη καταπόνηση του εξοπλισμού, συχνότερες βλάβες, παροχή σχετικά μεγαλύτερης άεργου ισχύος λόγω μείωσης της ενεργού ισχύος τους κλπ.). Από τεχνικής πλευράς όλα δείχνουν ότι οι

πετρελαϊκές μονάδες έχουν εξαντλήσει τα περιθώρια και τις δυνατότητες οικονομικότερης παροχής Η/Ε στα αυτόνομα δίκτυα. Η εξήγηση είναι απλή και βρίσκεται στο γεγονός του χαμηλού βαθμού απόδοσης της μεθόδου μετατροπής της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε Η/Ε και των άλλων δυσχερειών που προαναφέρθηκαν. Αυτός είναι εξάλλου και ο λόγος που οι πετρελαϊκοί σταθμοί με τα σημερινά δεδομένα δεν αποσβένονται ποτέ. Κατά συνέπεια κάθε προσπάθεια βελτίωσης της συνεργασίας των Α/Γ με τις πετρελαϊκές μονάδες ή προσαρμογής της λειτουργίας τους σε αυτές με διατήρηση του κυρίαρχου ρόλου των πετρελαϊκών μονάδων στα αυτόνομα συστήματα των νησιών δεν θα είχε επιτυχία. Έπρεπε λοιπόν να αναζητηθούν άλλες μέθοδοι ριζικής αντιμετώπισης της ανορθόδοξης και ενεργοβόρου αυτής εξέλιξης.

2.4.4.1 Κύθνος

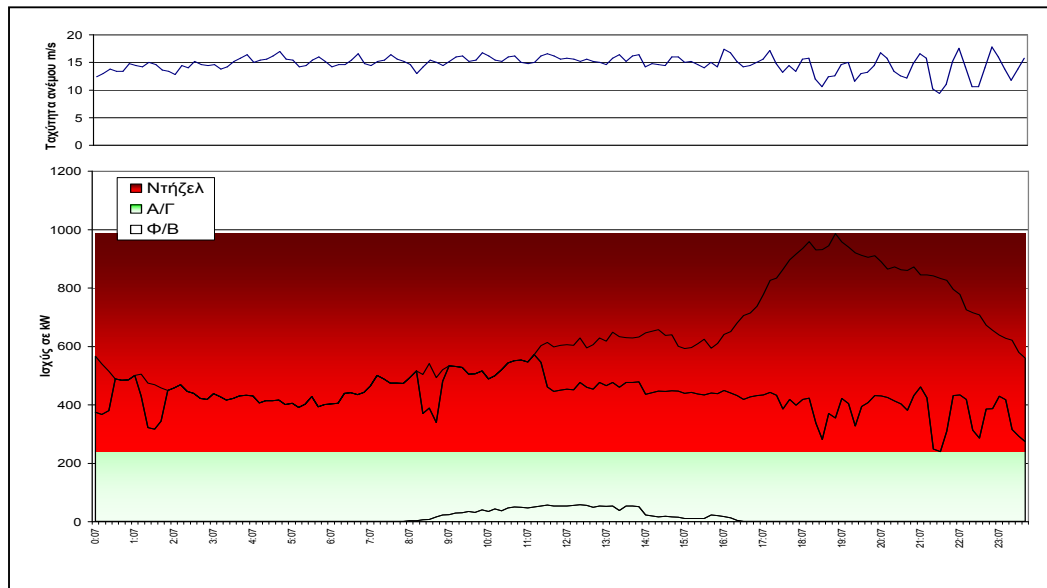
Σαν κατάλληλο νησί για την εγκατάσταση τον πρώτου πρωτοποριακού υβριδικού συστήματος στην Ελλάδα επιλέχτηκε το 1992 η Κύθνος, που ήταν και το πρώτο νησί εφαρμογής των συστημάτων ΑΠΕ στη χώρα μας. Η ενέργεια αυτή ήταν η δεύτερη κατά σειρά ύστερα από μια ανεπιτυχή προσπάθεια το 1989 για εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος στα Αντικύθηρα. Στην Κύθνο λειτουργούσαν μέχρι τον Νοέμβριο του 1999 ο πετρελαϊκός σταθμός με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 2.120 kW, ο Φ/Β σταθμός ισχύος 100 kWp και το Α/Π (5 x 33 kW) ισχύος 165 kW. Η μέση ετήσια διείσδυση των ΑΠΕ ήταν μέχρι τότε κάτω από 10% και το φορτίο του νησιού κυμαινόταν μεταξύ 250 kW και 450 kW περίπου τη χειμερινή περίοδο ενώ το μέγιστο έφτανε τα 1.850kW τη θερινή περίοδο. Για λόγους ευστάθειας του δικτύου όταν το φορτίο ήταν χαμηλό οι χειριστές του σταθμού ήταν αναγκασμένοι να διακόπτουν την λειτουργία μερικών και πολλές φορές όλων των Α/Γ. Για την αντιμετώπιση λοιπόν της κατάστασης αυτής και την αύξηση της οικονομικά αποδοτικής διείσδυσης των ΑΠΕ σχεδιάστηκε, εγκαταστάθηκε και τέθηκε σε πλήρη λειτουργία τον Ιούνιο του 2000 στην Κύθνο το πρώτο υβριδικό σύστημα βέλτιστης συνεργασίας Α/Γ- Φ/Β – μπαταριών – πετρελαϊκού σταθμού (σχήμα 26) [9].



(σχήμα 26) Σχηματική παράσταση λειτουργίας του υβριδικού συστήματος της Κύθνου με κάλυψη των αναγκών του νησιού 100 % από ΑΠΕ. (Πετρελαϊκές μονάδες εκτός λειτουργίας)

Μπέτζιος Γεώργιος (2001) Ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ στα αυτόνομα δίκτυα.

Υπήρξε μια μεγάλη μεταβατική περίοδος μέχρι να καταφέρουν να συνεργαστούν αρμονικά οι ΑΠΕ και ο πετρελαϊκός σταθμός με αποτέλεσμα μόλις το Σεπτέμβριο του 2000 το υβριδικό σύστημα να τεθεί σε πλήρη λειτουργία. Ιδιαίτερα όταν τα φορτία του νησιού είναι για μεγάλα χρονικά διαστήματα μικρότερα ή ίσα με τις δυνατότητες παροχής ενέργειας των ΑΠΕ (Φ/Β σταθμού και Α/Γ συνολικής ισχύος 765 kW) και οι συνθήκες ανέμου και ηλιοφάνειας είναι ευνοϊκές, διακόπτεται η λειτουργία όλων των πετρελαϊκών μονάδων του σταθμού (σχήμα 27). Συνεπώς οι ΑΠΕ και συγκεκριμένα η αιολική ενέργεια μετατράπηκε σε ενέργεια βάσης, ενώ οι πετρελαϊκές μονάδες μετατράπηκαν σε ενέργεια αιχμής. Η διαδικασία αυτή αποκάλυψε την αξιοπιστία και τις πραγματικές δυνατότητες των υβριδικών συστημάτων σε αυτόνομα δίκτυα, ανοίγοντας τον δρόμο εφαρμογής τους και σε άλλα αυτόνομα δίκτυα νησιών.



(σχήμα 27) Σύνθεση φορτίου υβριδικού συστήματος Κύθνου 7.12.2000

Μπέτζιος Γεώργιος (2001) *Ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ στα αυτόνομα δίκτυα.*

2.4.4.2 Γαύδος

Η Γαύδος μαζί με τα Αντικύθηρα ήταν τα πρώτα νησιά που κατά την διάρκεια εγκατάστασής των αυτόνομων Φ/Β σταθμών το 1986 γεννήθηκε η ιδέα συνεργασίας Α/Γ και Φ/Β μονάδος σε ένα συνδυασμένο σύστημα που σε αντίθεση με τους αυτόνομους Φ/Β σταθμούς θα έπρεπε να έχει χαμηλές δαπάνες εγκατάστασης, να καλύπτει σε συνεχή βάση τη ζήτηση και να έχει χαμηλό κόστος παροχής Η/Ε [9]. Τόσο τα Αντικύθηρα, όσο και περισσότερο η Γαύδος έχουν προταθεί επανειλημμένα από το τέλος της δεκαετίας των 1980 για την εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων χωρίς δυστυχώς αποτέλεσμα μέχρι σήμερα. Η τελευταία πρόταση για εγκατάσταση στη Γαύδο ενός έξυπνου υβριδικού συστήματος έγινε τον Αύγουστο του 2000. Σύμφωνα με οικονομοτεχνική προμελέτη η εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος για την Γαύδο είναι η πλέον ενδεδειγμένη λύση διότι:

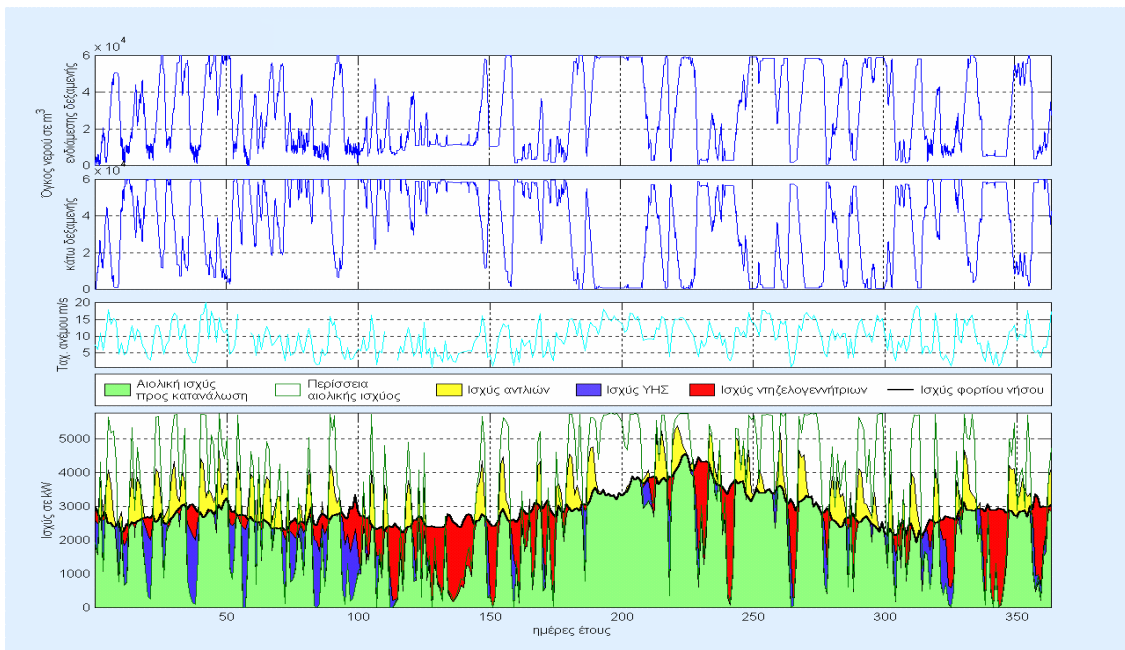
- είναι οικονομικότερο από οποιαδήποτε άλλη λύση τόσο από πλευράς επένδυσης όσο και κυρίως από πλευράς λειτουργικού κόστους.
- Καλύπτει σε συνεχή βάση τις ανάγκες του νησιού.

- Προσφέρει δωρεάν την περίσσεια ενέργεια (η οποία αλλιώς θα «καίγεται» σε αντιστάσεις) για χρήση σε εγκαταστάσεις εξασφάλισης πόσιμου νερού και λειτουργίας βιολογικού καθαρισμού που έχει άμεση ανάγκη το νησί.

Παρά τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για την περίπτωση της Γαύδου, η διαδικασία κωλυσιέργησε με αποτέλεσμα να τελεματώσει καθώς εξετάστηκε η εγκατάσταση και δεύτερου Φ/Β σταθμού που δεν θα κάλυπτε τις ανάγκες του νησιού με αποτέλεσμα να οδεύει η κατάσταση στην δημιουργία πετρελαϊκής μονάδος.

2.4.4.3 Ικαρία

Η κατασκευή προ επταετίας περίπου μιας λιμνοδεξαμενής στο νησί από το Υπουργείο Γεωργίας χωρητικότητας $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ σε υψόμετρο μάλιστα 720 μέτρων και το υψηλό κόστος της παρεχόμενης από συμβατικά καύσιμα Η/Ε σε συνδυασμό με την συνολική κατανάλωση του νησιού ήταν οι βασικοί παράγοντες που συντέλεσαν στην επιλογή της Ικαρίας για μελέτη και εγκατάσταση του πρώτου υβριδικού συστήματος με κύριο χαρακτηριστικό τη μεσοπρόθεσμη (για μερικά 24ωρα) αποθήκευση Η/Ε υπό μορφή δυναμικής ενέργειας του νερού. Οι ανάγκες Η/Ε του νησιού καλύπτονται σήμερα από πετρελαϊκό σταθμό συνολικής ισχύος 6.160 kW και από το Α/Π συνολικής ισχύος 385 kW (7 Α/Γ των 55 kW η καθεμία). Αν και το συνολικό ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος από Α/Γ είναι μικρό, παρατηρήθηκε ότι τις νυχτερινές ώρες της χειμερινής περιόδου η απορρόφηση της συνολικής ισχύος των Α/Γ δημιουργεί προβλήματα στις πετρελαϊκές μονάδες με αποτέλεσμα μέρος των Α/Γ να τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι η διείσδυση της Αιολικής Ενέργειας στο σημερινό σύστημα της Ικαρίας δεν ξεπερνά το 8%. Ωστόσο από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από το 1994 και από οικονομική ανάλυση ενός συστήματος που θα έχει ως βάση την παραγωγή ενέργειας από Α/Γ και την μετατροπή της σε δυναμική με τη χρήση λιμνοδεξαμενών ενδιάμεσης αποθήκευσης ενέργειας, προσφέρει εγγυημένη ισχύ. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατό να καταστεί περιττή η εγκατάσταση μιας εκ των δυο πετρελαϊκών μονάδων ισχύος 4-5,5 MW και προϋπολογιζόμενης δαπάνης 1,25 δις δρχ. η κάθε μια. Στην περίπτωση αυτή εξοικονομούνται σημαντικές δαπάνες επένδυσης και μειώνεται το κόστος παραγωγής Η/Ε αποφέροντας μελλοντικά σημαντικό ετήσιο όφελος καθώς μειώνεται η τιμή της παραγόμενης kWh [9].

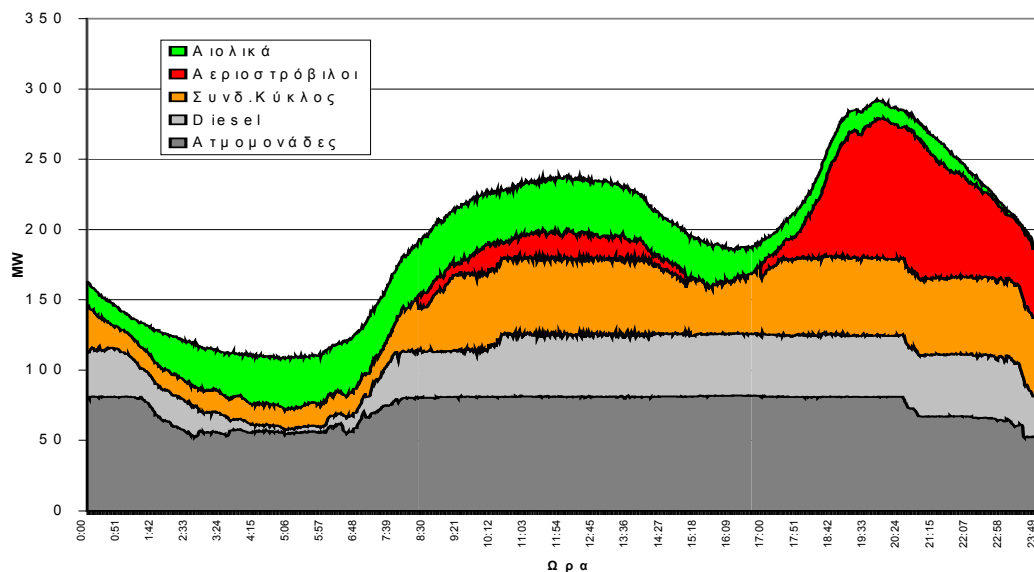


(σχήμα 28) Κατανομή φορτίου και ανακύκλωση του νερού στις δύο λιμνοδεξαμενές 60.000 m³ (2002)
Μπέτζιος Γεώργιος (2001) Ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ στα αυτόνομα δίκτυα.

2.4.4.4 Κρήτη

Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια με σκοπό την λύση του ενεργειακού προβλήματος της Κρήτης [9]. Το πρόβλημα είναι σύνθετο με οικονομικές, τεχνικές αλλά και πολιτικές διαστάσεις πιέζοντας κάθε μια από την πλευρά της για λύση. Αποτέλεσμα αυτών είναι να αυξάνεται δυστυχώς η ανάπτυξη νέων πετρελαϊκών σταθμών που μόνο προσωρινά δίνουν λύση στο πρόβλημα ενώ μακροχρόνια θα αποδειχθούν ασύμφορη επένδυση. Το 2000 η εγκατεστημένη από Α/Γ ισχύς έφτασε τα 67 MW στο νησί με όχι και τόσο ενθαρρυντικές προοπτικές. Ωστόσο η κατάσταση βελτιώθηκε και έτσι δόθηκε το περιθώριο στην μελέτη υβριδικών συστημάτων που θα περιλαμβάνουν την παραγόμενη από τις Α/Γ ενέργεια σε συνδυασμό με την αποθήκευσή της σε λιμνοδεξαμενές με τη χρήση αντλιών και την απόδοσή της μέσω της κίνησης υδροστροβίλων. Η μελέτη εγκατάστασης συστημάτων αντλησιοταμιευτήρων στην Κρήτη δεν προχώρησε μέχρι τώρα κυρίως λόγω προτεραιότητας εγκατάστασης στο νησί του τρίτου πετρελαϊκού σταθμού στον Αθρινόλακο, η εγκατάσταση του οποίου κινδύνευε να ματαιωθεί αν αποδεικνύονταν ότι συστήματα αντλησιοταμιευτήρων ήταν

οικονομικότερα της λύσης αυτής. Ωστόσο μετά την αντίδραση τοπικών φορέων και κατοίκων της περιοχής στην εγκατάσταση των νέων αμοστροβίλων, αγνοείται η πολιτική που θα ακολουθηθεί για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών του νησιού ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες. Η χρησιμότητα και τα βασικότερα πλεονεκτήματα ενός κατάλληλα διαστασιολογημένου υβριδικού συστήματος συνδυάζοντας αιολική ενέργεια και λειτουργία αντλιοσταμιευτήρων φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 29).



(σχήμα 29) Κατανομή φορτίου στο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης την 18.01.99

Μπέτζιος Γεώργιος (2001) *Ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ στα αυτόνομα δίκτυα.*

Στην περίπτωση αυτή η χρήση ατμομονάδων, μηχανών Diesel και συνδυασμένου κύκλου παραμένουν τεχνολογία βάσης καθώς υποστηρίζουν τον μεγαλύτερο όγκο της ζήτησης, ενώ οι Α/Γ μετατρέπονται σε τεχνολογία αιχμής παράγοντας φθηνότερη ενέργεια από ότι αν χρησιμοποιούνταν τεχνολογίες συμβατικών καυσίμων. Αν τα παραγόμενα από αιολική ενέργεια MW αυξηθούν και συνδυαστούν με την χρήση αντλιοσταμιευτήρων, τότε τα ποσοστά χρήσης συμβατικών καυσίμων θα μειωθούν ενώ η αιολική ενέργεια θα καλύψει ακόμα μεγαλύτερο ποσοστό της αιχμής με εμφανές οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος.

2.4.5 Συμπεράσματα

Η συνεχώς ανοδική πορεία των ΑΠΕ στην παγκόσμια αγορά ενέργειας τις έχει καταστήσει ανταγωνιστικές σε σχέση με την χρήση συμβατικών καυσίμων. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα αντιληπτό σε αυτόνομα μη διασυνδεδεμένα δίκτυα νησιών οπότε οι ΑΠΕ καταλήγουν να αποτελούν ενέργεια βάσης και οι μονάδες συμβατικών καυσίμων ενέργεια αιχμής. Στο έργο αυτό συντελεί και η τεχνολογία η οποία με την ανάπτυξη μοντέλων που παράγουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας έχει συμβάλει στην εδραίωση των ΑΠΕ στην ενεργειακή αγορά. Παράλληλα η ανάπτυξη όλο και αποδοτικότερων υβριδικών συστημάτων βοηθά στην ανεξαρτητοποίηση όλο και περισσότερων καταναλωτών από τους εθνικούς οργανισμούς παραγωγής και διανομής Η/Ε επιφέροντας μια σταθεροποίηση των τιμών της παραγόμενης ενέργειας.

Η υβριδική τεχνολογία βρίσκεται ακόμη στα σπάργανα της επιστήμης καθώς συνεχώς ανακαλύπτονται νέοι συνδυασμοί συστημάτων με κύριο γνώρισμα την αυτονομία στην παραγωγή και διαχείριση Η/Ε. Τεχνολογίες όπως η αιολική, η φωτοβολταϊκή, η υδροδυναμική, η γεωθερμία, η βιομάζα έχουν εδραιωθεί στο χώρο των ΑΠΕ και κατ'επέκταση και των υβριδικών συστημάτων. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια μελετώνται τεχνολογίες όπως του υδρογόνου και των κυψελών καυσίμου οι οποίες χρίζουν ιδιαίτερης αποδοχής και εκτίμησης, ενώ οι βιομηχανίες πετρελαιοειδών σε συνδυασμό με τις αυτοκινητοβιομηχανίες σπεύδουν να αναπτύξουν τεχνολογίες που θα τις καταστήσουν και πάλι πρωτοπόρες στην νέα πραγματικότητα που θα ακολουθήσει τις προσεχείς δεκαετίες. Συμπερασματικά οι ΑΠΕ και η υβριδική τεχνολογία θα διαδραματίσουν πρωταγωνιστικό ρόλο καθώς τα αποθέματα συμβατικών καυσίμων εξαντλούνται, η ρύπανση του περιβάλλοντος αυξάνεται και η μόνη λύση θα προέλθει μέσα από «ανανεώσιμη» και «καθαρή» ενέργεια.

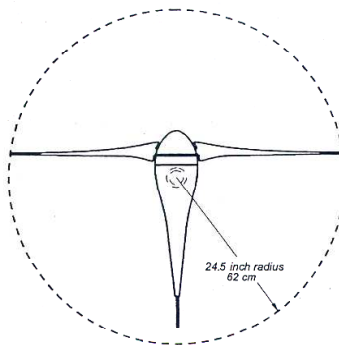
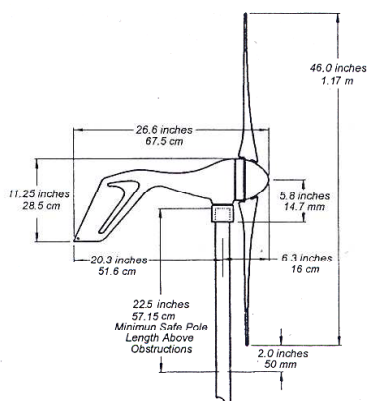
- [1] Γ. Μπεργελές Καθηγητής Ε.Μ.Π. *Ανεμοκινητήρες*. Αθήνα : Εκδόσεις Συμμεών Ο.Ε.
- [2] J. F. Manwell – J. G. McGowan – A. L. Rogers (2002). *Wind Energy Explained*. West Sussex England : John Wiley & Sons Ltd
- [3] Godfrey Boyle (1996). *Renewable Energy Power for a Sustainable Future*. The Open University Oxford England : Oxford University Press
- [4] Enercon (2005). *E-70 Booklet* Bremen Germany : Enercon GmbH International Dept.
- [5] Α.Νεοκλέους – Σ. Π. Κωνσταντινίδη (1999) *Φωτοβολταϊκά Συστήματα* Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [6] SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual*. Germany : Shuco International Dept.
- [7] Ιωάννης Κ. Καδέλλης – Κοσμάς Α. Καββαδίας. (2001). *Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας*. Αθήνα : Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.
- [8] REFOCUS, www.re-focus.net (2001) *Micro-Hybrids in Rural China*.
- [9] Μπέτζιος Γεώργιος (2001) *Ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ στα αυτόνομα δίκτυα*.
- [10] A. Rajendra Prasadra – E. Natarajan (2005) *Optimization of integrated photovoltaic – wind power generation systems with battery storage*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Περιγραφή της εγκατάστασης

3.1 Ανεμογεννήτρια

3.1.1 Εισαγωγή

Η ανεμογεννήτρια του υβριδικού συστήματος επιλέχθηκε σύμφωνα με τη μέση ταχύτητα ανέμου που επικρατεί στην περιοχή εγκατάστασης. Έτσι επιλέχθηκε η ανεμογεννήτρια AIR – X και συγκεκριμένα το μοντέλο Land (οριζόντιου άξονα, 3 πτερυγίων) της αμερικανικής εταιρίας Southwest Windpower. Ως προς τα τεχνικά της χαρακτηριστικά, η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει η AIR – X είναι 400 watts στα 12,5 m/s (28 mph). Ζυγίζει 6 kg, η διάμετρος του ρότορα είναι 1,17 m, η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας είναι τα 3 m/s, η ονομαστική ταχύτητα είναι 12,5 m/s ενώ η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας 13 m/s. Η τάση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας είναι τα 24 Volts, ενώ διαθέτει εσωτερικό ρυθμιστή φόρτισης των μπαταριών καθώς και διόδους για την μη επιστροφή του ρεύματος από τις μπαταρίες προς την ανεμογεννήτρια [11].

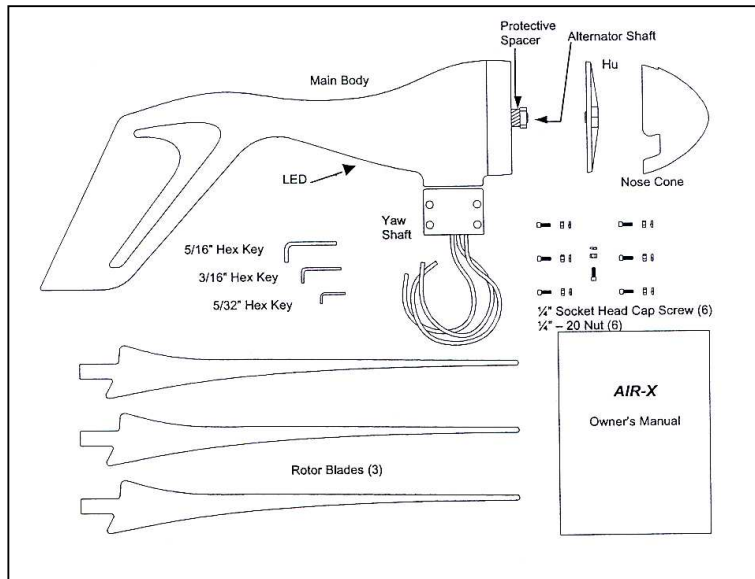


(σχήμα 30) Διαστάσεις Α/Γ

AIR-X Land Southwest Windpower AIR-X Land Manual.

3.1.2 Περιγραφή των τμημάτων της Α/Γ

Ανοίγοντας το κουτί που περιέχει την ανεμογεννήτρια αντικρίζουμε τα ακόλουθα τμήματα τα οποία εμφανίζονται επιγραμματικά παρακάτω (σχήμα 31):



(σχήμα 31) Τμήματα
Α/Γ AIR-X Land
AIR-X Land Southwest
Windpower AIR-X Land

- Κύριο σώμα της ανεμογεννήτριας:** Το τμήμα αυτό περιέχει τον μηχανολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό της Α/Γ. Το σώμα είναι μεταλλικό, κατασκευασμένο από αλουμίνιο (σχήμα 32). Η ακριβής χύτευση του μετάλλου αυξάνει την εφαρμογή των τμημάτων της Α/Γ δημιουργώντας μια στιβαρή και στερεή κατασκευή. Διαμέσου του αλουμινένιου καλουπιού, η θερμότητα που αναπτύσσεται στον στάτορα και τα ηλεκτρονικά στοιχεία αποβάλλεται στον αέρα του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα την φυσική ψύξη των εσωτερικών τμημάτων της Α/Γ. Η κατασκευή του είναι αεροδυναμική με ιδιόμορφο ουραίο πτερύγιο το οποίο κατευθύνει την Α/Γ στη διεύθυνση εκείνη του αέρα ώστε να εκμεταλλεύεται η γεννήτρια το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας του [11]. Τέλος, ενσωματωμένο στο σώμα της Α/Γ βρίσκεται ένα λαμπάκι (LED) το οποίο ανάβει όταν η Α/Γ περιστρέφεται με περισσότερες από 500 rpm, οπότε και παράγεται ικανή ποσότητα ρεύματος ώστε να φορτιστούν οι μπαταρίες του συστήματος. Επίσης υπάρχει μια βίδα η οποία λειτουργεί ως ποτενσιόμετρο από όπου γίνονται περαιτέρω ρυθμίσεις της λειτουργίας της Α/Γ [11].



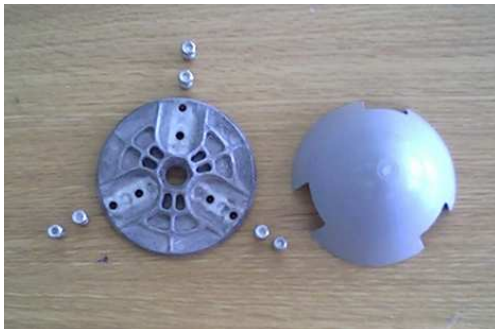
(σχήμα 32) AIR-X Land Το σώμα της Α/Γ (λεπτομέρεια ποτενσιόμετρο και LED).

- **Πτερύγια:** Η εν λόγω ανεμογεννήτρια έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με 3 πτερύγια (σχήμα 33). Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικό αλλά συνάμα και ελαστικό πλαστικό. Κατασκευάζονται με διαδικασίες ακριβούς έγχυσης του καλουπιού οι οποίες επιτρέπουν την δημιουργία πτερυγίων με εξαιρετική συνοχή. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η αθόρυβη λειτουργία τους και η ελάττωση των κραδασμών. Τα πτερύγια της AIR – X έχουν κατασκευαστεί με τέτοια κλίση η οποία βελτιώνει την έναρξη της κίνησης της περωτής καθώς και την μείωση των κραδασμών στις υψηλές ταχύτητες. Σε συνδυασμό με την βελτιωμένη κατασκευή των πτερυγίων, ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής της Α/Γ μειώνει την περιστροφή των πτερυγίων σε υψηλές ταχύτητες, ενώ η αύξηση της κλίσης τους επιτρέπει την μείωση του θορύβου σε καταστάσεις ταλαντώσεως [11].



(σχήμα 33) AIR-X Land Πτερύγια

- **Δίσκος πρόσδεσης πτερυγίων & κάλυμμα:** Πάνω στον άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας βιδώνεται ο δίσκος στον οποίο προσδένονται τα πτερύγια της Α/Γ (σχήμα 34). Ο δίσκος είναι κατασκευασμένος από χυτευμένο μέταλλο και διαθέτει ειδικές εσοχές όπου τοποθετούνται τα πτερύγια, τα οποία εν συνεχεία βιδώνονται πάνω του με ειδικά παξιμάδια ασφαλείας. Τα παξιμάδια αυτά επιτρέπουν την ελεγχόμενη σύσφιξη των τμημάτων ώστε να μην καταστραφούν τα πλαστικά πτερύγια. Τέλος πάνω στον δίσκο κουμπώνει το πλαστικό κάλυμμα που επιτρέπει την περιφερειακή κίνηση του αέρα. Ο αέρας γλιστρά πάνω στο κάλυμμα χάρις το αεροδυναμικό του σχήμα. Το σύστημα δίσκου – καλύμματος αποτελεί το επονομαζόμενο Hub της ανεμογεννήτριας.

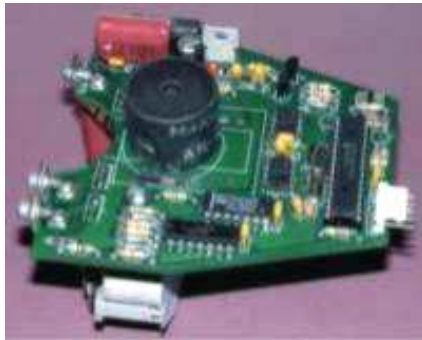


(σχήμα 34) AIR-X Land Δίσκος πρόσδεσης πτερυγίων & κάλυμμα.

- **Κλειδιά σύσφιξης, βίδες & παξιμάδια, φυλλάδιο οδηγιών:** Απαραίτητα για την συναρμολόγηση της Α/Γ είναι τα κλειδάκια τύπου ALEN που περιέχονται στο κουτί της Α/Γ. Επίσης περιλαμβάνονται οι βίδες και τα παξιμάδια ασφαλείας που επιτρέπουν την μερική αλλά αποτελεσματική σύσφιξη των τμημάτων χωρίς να επιτρέπουν τη ρήξη τους. Τέλος περιλαμβάνεται το φυλλάδιο οδηγιών που περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την εγκατάσταση και λειτουργία της Α/Γ.

3.1.3 Ηλεκτρονικός εξοπλισμός

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της ανεμογεννήτριας είναι εγκατεστημένος επάνω σε μια πλακέτα (σχήμα 35). Ανάμεσα στις ηλεκτρονικές συσκευές βρίσκονται ένας ελεγκτής (controller) ο οποίος ελέγχεται από έναν προγραμματισμένο μικροεπεξεργαστή, ένας εναλλάκτης (alternator), ένας ανορθωτής ρεύματος (rectifier), ένας ρυθμιστής τάσης (voltage regulator) καθώς και διάφορες άλλες μικροσυσκευές.



AIR-X Internal Controller

(σχήμα 35) AIR-X Land Εσωτερικός ελεγκτής
(controller)

http://www.nwpwr.com/products/wind/air_x_land.htm

- **Ρυθμιστής τάσης (voltage regulator):** Ο ρυθμιστής τάσης της Α/Γ παρακολουθεί συνεχώς την τάση της μπαταρίας και τη συγκρίνει με την τάση στην οποία έχει ρυθμιστεί να έχει ως τάση αναφοράς. Η τάση αναφοράς μπορεί να μεταβληθεί, ενώ εργοστασιακά έχει οριστεί στα 28,2 Volts για την Α/Γ των 24 Volts. Όταν η τάση στις μπαταρίες ξεπεράσει την τάση αναφοράς, η Α/Γ μπαίνει αυτόματα σε λειτουργία ελέγχου. Κατά την λειτουργία αυτή η γεννήτρια σταματάει να περιστρέφεται και δεν παρέχεται ισχύς στο σύστημα. Αυτό συμβαίνει ώστε ο ρυθμιστής τάσης να διαβάσει την πραγματική τάση που αναπτύσσεται στα άκρα της μπαταρίας. Στη συνέχεια συγκρίνει την τάση με την τάση αναφοράς και έπειτα, αν η μπαταρία βρεθεί φορτισμένη, διακόπτεται η παροχή ρεύματος προς αυτή. Η όλη διαδικασία διαρκεί μερικά milliseconds και δεν γίνεται αντιληπτή από τον παρατηρητή. Όσο πιο κοντά στην κατάσταση πλήρους φόρτισης βρίσκεται η μπαταρία, τόσο περισσότερους ελέγχους πραγματοποιεί ο ρυθμιστής της Α/Γ και μ'αυτή τη διαδικασία εξασφαλίζεται ασφαλής φόρτιση για μπαταρίες με χωρητικότητα από 25 μέχρι 25000 Ah. Όταν η μπαταρία φορτιστεί πλήρως, η Α/Γ μειώνει σταδιακά τις περιστροφές της μέχρι στάσης, ενώ όταν η τάση στα άκρα της μπαταρίας πέσει κάτω από το επιτρεπτό όριο (25,5 volts για Α/Γ των 24 volts), η Α/Γ τίθεται αυτομάτως σε λειτουργία. Η ακρίβεια στην λειτουργία του ρυθμιστή τάσης επιτρέπει την επιμήκυνση της ζωής της μπαταρίας καθώς και την προστασία της από την υπερφόρτιση [11].
- **Εναλλάκτης (alternator):** Ο εναλλάκτης του συγκεκριμένου μοντέλου Α/Γ παρουσιάζει πληθώρα βελτιώσεων σε σύγκριση με προηγούμενα μοντέλα. Ο ρότορας του εναλλάκτη αποτελείται από 12 τοξωτούς μαγνήτες κατασκευασμένους από

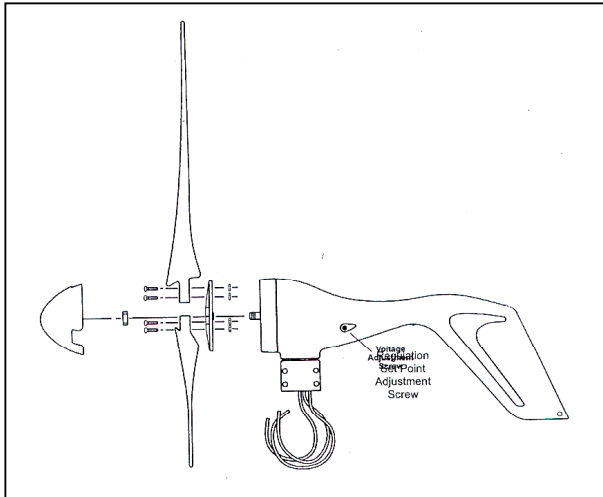
κράμα σιδήρου, βορίου και νεοδυμίου. Τα υλικά αυτά ανήκουν στην κατηγορία των πλέον ανθεκτικών μαγνητικών υλικών, συμβάλλοντας έτσι δραστικά στην μεγάλη διάρκεια ζωής του ρότορα και του εναλλάκτη κατ'επέκταση. Ο εναλλάκτης του συγκεκριμένου μοντέλου χρησιμοποιεί καλώδια μεγαλύτερης διατομής μειώνοντας έτσι την εσωτερική του αντίσταση. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, βελτιώνοντας έτσι την συνολική αξιοπιστία του συστήματος. Τέλος, αποστολή του εναλλάκτη είναι η ανόρθωση της ισχύος σε συνεχούς μορφής (D.C.) [11].

- **Ελεγκτής (controller):** Ο ελεγκτής της Α/Γ χρησιμοποιεί την κατανομή των αιχμών ισχύος συγκρίνοντας την καμπύλη ισχύος της με την διαθέσιμη από τον άνεμο ενέργεια. Έτσι γίνεται εφικτή η απόδοση της Α/Γ καθ'όλη την πορεία της καμπύλης. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η παροχή ικανοποιητικών ποσοτήτων ενέργειας από μια Α/Γ μικρής ισχύος. Η κατανομή των αιχμών ισχύος λειτουργεί προσαρμόζοντας συνεχώς το φορτίο του εναλλάκτη, αναγκάζοντας τα πτερύγια να κινούνται με την ευνοϊκότερη γωνία ως προς την πρόσκρουση του αέρα πάνω τους. Αποτέλεσμα της λειτουργίας είναι η υψηλή αποτελεσματικότητα των πτερυγίων και χαμηλό επίπεδο θορύβου. Ο έλεγχος της λειτουργίας επιτυγχάνεται μέσω ενός μικροεπεξεργαστή [11].

3.1.4 Συναρμολόγηση

Η συναρμολόγηση της Α/Γ είναι αρκετά εύκολη. Αφού βγει το προστατευτικό κάλυμμα του ρότορα, τοποθετείται ο δίσκος και πάνω του προσαρμόζονται τα πτερύγια της Α/Γ (σχήμα 36). Τα πτερύγια έχουν ένα κόκκινο σημάδι επάνω τους ώστε να τοποθετηθούν και τα 3 από την ίδια πλευρά. Στη συνέχεια τοποθετούνται τις βίδες και συσφίγγονται με τα παξιμάδια χρησιμοποιώντας τα ειδικά κλειδιά. Έπειτα βιδώνεται το μεγάλο παξιμάδι το οποίο συγκρατεί το δίσκο επάνω στον άξονα του ρότορα. Το παξιμάδι αυτό έχει την ιδιομορφία ότι βιδώνεται επάνω στον άξονα του ρότορα με τρόπο που κατά την δεξιόστροφη κίνηση ο άξονας το ρουφάει προς τα μέσα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η μέγιστη ασφάλεια του άξονα καθώς απαγορεύεται αυστηρά η πίεση του προς τα μέσα. Σε αυτή την περίπτωση θα καταστραφούν όλα τα ηλεκτρονικά μέρη της

Α/Γ. Τέλος τοποθετείται το πλαστικό κάλυμμα του δίσκου, το οποίο έχει τη μορφή ρύγχους αεροσκάφους [11].



(σχήμα 36) AIR-X Land
Συναρμολόγηση πτερυγίων
AIR-X Land Southwest Windpower
AIR-X Land Manual.

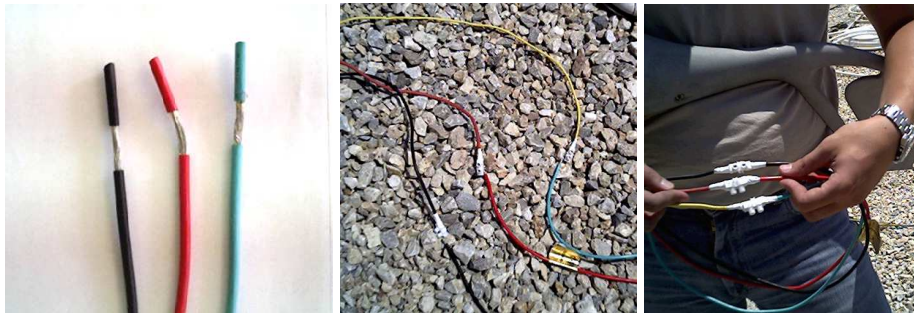
3.1.5 Επιλογή καλωδίωσης & ασφαλειών λειτουργίας

Η επιλογή της διαμέτρου των καλωδίων που θα μεταφέρουν το ρεύμα στις μπαταρίες έγινε με βάση τόσο το φυλλάδιο οδηγιών, όσο και την εμπειρία των τεχνικών που δραστηριοποιούνται σε παρόμοιες εγκαταστάσεις. Σημαντικός κριτήριο αποτελεί και η απόσταση από την Α/Γ μέχρι τις μπαταρίες. Κάθε σύστημα παρουσιάζει ένα ποσοστό απωλειών ενέργειας λόγω της αντίστασης που παρουσιάζει το μέταλλο της καλωδίωσης στην κίνηση του ρεύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του καλωδίου τόσο μικρότερες είναι οι απώλειες και τόσο περισσότερο αυξάνεται το κόστος. Ο παρακάτω πίνακας καλωδίων συνιστάται από την εταιρία που κατασκευάζει την Α/Γ και υπολογίζεται ότι οι απώλειες που θα παρουσιαστούν θα είναι μικρότερες του 5% σε περιπτώσεις που η μέση ταχύτητα ανέμου που πνέει στην περιοχή είναι 12 mph ή 5,4 m/s. Το σύστημα στο οποίο αναφέρονται τα μεγέθη του πίνακα είναι το αμερικάνικο AWG /mm² και αφορά την Α/Γ στα 24 volts [11].

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : Διατομή καλωδίων ανάλογα με την απόσταση (AIR-X Land Southwest Windpower AIR-X Land Manual).

24 volts Turbine	0-30ft	30-60ft	60-90ft	90-150ft	150-190ft	190-250ft	250-310ft	310-390ft	390-500ft
1	14g/2.7	12g/3.3	10g/5.3	8g/8	6g/13	4g/21	4g/21	4g/21	2g/34
2	12g/3.3	8g/8	6g/13	4g/21	4g/21	2g/34	2g/34	1g/44	0g/53
3	10g/5.3	8g/8	6g/13	4g/21	2g/24	2g/34	1g/44	0g/53	00g/67

Στην δεδομένη εγκατάσταση η απόσταση από την Α/Γ ως την μπαταρία υπολογίστηκε γύρω στα 20 – 25 m, οπότε και εμπίπτει στην κατηγορία 60-90ft που ορίζουν 10g/5,3. Το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί σε 16 mm² το οποίο όμως πρακτικά ήταν αδύνατο να χρησιμοποιηθεί στις υποδοχές των Φ/Β πλαισίων, μιας και θα τοποθετούσαμε το ίδιο καλώδιο για οικονομικούς λόγους καθώς και λόγους ευχρηστίας. Άλλωστε από την Α/Γ βγαίνουν 3 καλώδια (σχήμα 37) (κόκκινο = θετικό, μαύρο = αρνητικό, πράσινο = γείωση) των οποίων το μέγεθος είναι 6 mm². Οπότε ύστερα από διαβεβαίωση των τεχνικών ότι δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί πολύ χοντρό καλώδιο, επιλέχθηκε εκείνο των 6 mm². Μάλιστα από σχετικούς πίνακες βρέθηκε ότι αντέχει τη διέλευση ρεύματος μέχρι και 40 A, ρεύμα το οποίο ποτέ δεν πρόκειται να περάσει από την εγκατάσταση. Συνεπώς το μέγεθος που επιλέχθηκε κρίθηκε ικανοποιητικό και ασφαλές. Για την σύνδεση των καλωδίων που εξέρχονται από το σώμα της Α/Γ με τα καλώδια που οδηγούν στην μπαταρία χρησιμοποιήθηκαν κλέμες ανάλογου μεγέθους, ενώ στο τέλος το σημείο σύνδεσης και η κλέμα τυλίχθηκε με μονωτική ταινία για να αποφευχθεί οποιαδήποτε οξείδωση της σύνδεσης. Ως προς τα χρώματα, στο θετικό χρησιμοποιήθηκε κόκκινο, στο αρνητικό μαύρο ενώ στη γείωση κίτρινο χρώμα.



(σχήμα 37) AIR-X Land Σύνδεση καλωδίωσης

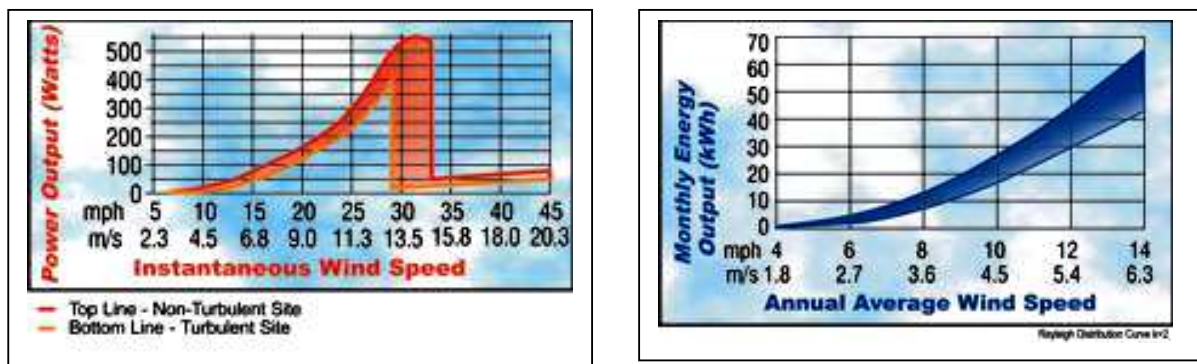
Σημαντικό στοιχείο στην λειτουργία της Α/Γ είναι η χρήση της κατάλληλης ασφάλειας. Από τον τύπο της ισχύος ($P = V \times I$), υπολογίστηκε ότι το μέγιστο ρεύμα που θα μας δίνει η Α/Γ είναι 16 Α σε περίπτωση που λειτουργεί στην ονομαστική της ταχύτητα. Λαμβάνοντας υπ'όψην αυτό χρησιμοποιήθηκε ασφάλεια των 25 Α ώστε να μπορούμε να λάβουμε το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει η Α/Γ [11]. Για μεγαλύτερη προστασία του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ασφαλειοδιακόπτης και όχι απλώς ασφάλεια. Η διαφορά τους είναι ότι η ασφάλεια διακόπτει μόνο την άνοδο του ρεύματος, ενώ ο ασφαλειοδιακόπτης διακόπτει τόσο την άνοδο όσο και την κάθοδο αποκόπτοντας τελείως την Α/Γ από την μπαταρία.

Η σωστή γείωση της Α/Γ είναι ένα επίσης σημαντικό σημείο στην εγκατάστασή της. Η γείωση επιτρέπει την μετακίνηση μεγάλων ποσοτήτων ρεύματος από την Α/Γ προς το έδαφος σε περίπτωση που κάποιος κεραυνός την χτυπήσει. Το καλώδιο της γείωσης αποτελεί μια άμεση και γρήγορη διέξοδο ώστε να μην καταστραφεί το σύστημα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε λίγο πιο χοντρό καλώδιο το οποίο συνδέθηκε με τη γείωση του κτηρίου [11]. Εκτός όμως από το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί, σημασία έχει και η θέση τοποθέτησης της Α/Γ αλλά και το ύψος στο οποίο θα φτάνει. Για το λόγο αυτό η Α/Γ τοποθετήθηκε σε μια γωνία της ταράτσας του κτηρίου η οποία είναι πολύ κοντά στον τρούλο της γειτονικής εκκλησίας όπου υπάρχει εγκατεστημένο αλεξικέραυνο σε πολύ μεγαλύτερο ύψος από εκείνο της Α/Γ. Συνεπώς η προστασία στο συγκεκριμένο σημείο είναι αυξημένη. Σε περίπτωση όμως που ένας κεραυνός χτυπήσει την Α/Γ, όσο χοντρό καλώδιο και αν χρησιμοποιηθεί, δεν μπορεί να προφυλαχθεί το

σύστημα καθώς ένας κεραυνός ελευθερώνει φορτία της τάξεως των χιλιάδων – εκατοντάδων χιλιάδων volts τα οποία είναι σχεδόν αδύνατο να μετακινηθούν μέσα από κανονικά καλώδια.

3.1.6 Απόδοση λειτουργίας

Η ανεμογεννήτρια AIR – X Land έχει κατασκευαστεί ώστε να λειτουργεί σε πολύ μικρές ταχύτητες ανέμου και να αποδίδει εύκολα την μέγιστη ισχύ της. Από την καμπύλη ισχύος (σχήμα 38) παρατηρούμε ότι η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας είναι τα 3 m/s, η ονομαστική ταχύτητα 12,5 m/s ενώ η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας είναι 13 m/s. Μεγάλη σημασία στην ομαλή λειτουργία και την απόδοση έχει η ροή του ανέμου. Όταν η ροή είναι ομαλή, τότε η ανεμογεννήτρια σταθεροποιείται εύκολα και φτάνει στην ονομαστική της ταχύτητα, ενώ όταν η ροή είναι τυρβώδης η Α/Γ δεν σταθεροποιείται με αποτέλεσμα η απόδοση να πέφτει [11]. Στην δεύτερη καμπύλη παρατηρούμε την μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανάλογα με την μέση ταχύτητα ανέμου.

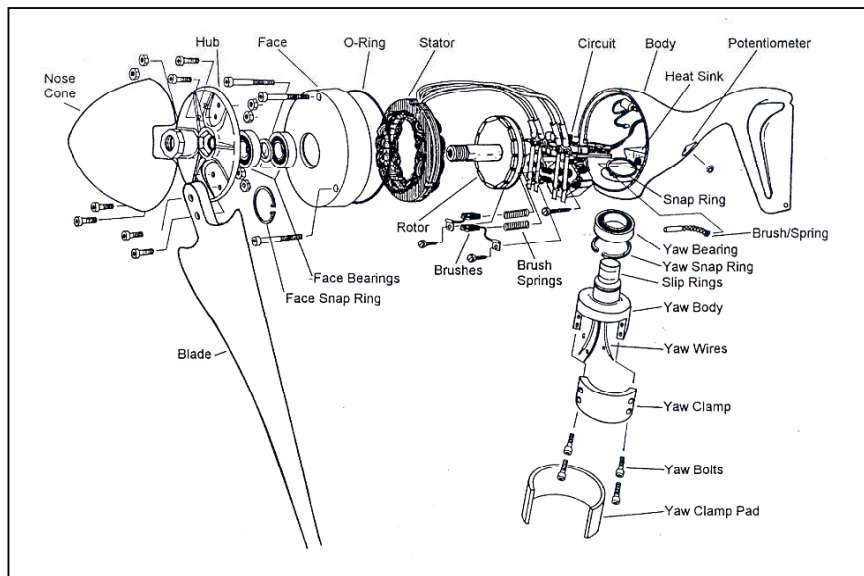


(σχήμα 38) AIR-X Land Καμπύλη ισχύος Α/Γ – Καμπύλη μηνιαίας ενεργειακής παραγωγής

http://www.nwpwr.com/products/wind/air_x_land.htm

Η ασφαλής και αποδοτική λειτουργία της Α/Γ είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων. Ανάμεσα σ'αυτούς είναι η θέση εγκατάστασης, το αιολικό δυναμικό της περιοχής, η διάμετρος των καλωδίων, η απόστασή τους από την μπαταρία, καθώς και η ίδια η μπαταρία. Η ύπαρξη ανεπτυγμένων ηλεκτρονικών συστημάτων στο εσωτερικό της Α/Γ φροντίζει για την σύγκριση της τάσης της μπαταρίας και της Α/Γ και συνεπώς για την σωστή φόρτιση της μπαταρίας. Όταν η Α/Γ συνδεθεί κατάλληλα με την μπαταρία, τότε για να ελέγξουμε την σωστή λειτουργία κοιτάμε το λαμπάκι που έχει στο κάτω μέρος του

κυρίως σώματος. Το LED που διαθέτει αναβοσβήνει δύο φορές μόλις εντοπίσει το κύκλωμα και κατ'επέκταση τις μπαταρίες. Έπειτα, μόλις οι στροφές της περωτής της Α/Γ φτάσουν τις 500 rpm, τότε η Α/Γ αρχίζει να φορτίζει τις μπαταρίες και το LED παραμένει αναμμένο. Η λειτουργία του LED είναι πιο ευδιάκριτη τη νύχτα. Για να περιοριστεί ο κίνδυνος επαναφοράς του ρεύματος από την μπαταρία προς τη γεννήτρια με κίνδυνο να την μετατρέψει σε προπέλα, έχουν τοποθετηθεί στο κύκλωμα που βρίσκεται στο εσωτερικό της Α/Γ δίοδοι οι οποίες επιτρέπουν μόνο μια συγκεκριμένη φορά κίνησης του ρεύματος [11].



(σχήμα 39) AIR-X Land Αναλυτική τομή

AIR-X Land Southwest Windpower AIR-X Land Manual.

3.1.7 Κίνδυνοι εγκατάστασης & λειτουργίας

Οι κίνδυνοι της συγκεκριμένης κατασκευής παρατηρούνται τόσο στην φάση της εγκατάστασης, όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας της Α/Γ. [11] Τα κυριότερα σημεία που χρήζουν μεγάλης προσοχής είναι τα παρακάτω:

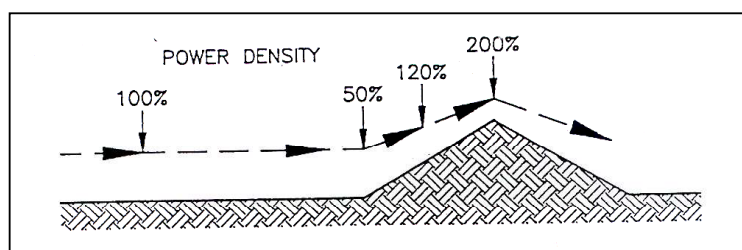
- Κατά τη τοποθέτηση του δίσκου της φτερωτής της Α/Γ επάνω στο κυρίως σώμα της, απαιτείται προσοχή ώστε να μην πιεστεί προς τα μέσα ο άξονας του ρότορα της Α/Γ. Σε αυτή την περίπτωση θα καταστραφούν όλα τα ηλεκτρονικά μέρη της που βρίσκονται στο εσωτερικό του κυρίως σώματος.
- Προσοχή απαιτείται στην εγκατάσταση της Α/Γ επάνω στον ιστό στήριξης. Το σημείο σύνδεσης πρέπει να σφικτεί καλά ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος πτώσης της Α/Γ από ισχυρούς ανέμους. Επίσης η θέση εγκατάστασης θα πρέπει να έχει επιλεγεί ώστε να μπορεί η Α/Γ να γυρίζει ελεύθερα και να μην προσκρούει σε αντικείμενα με κίνδυνο να καταστραφούν τόσο τα πτερύγια, όσο και το κυρίως σώμα της.
- Δεν θα πρέπει σε καμιά περίπτωση να τραβηχτούν τα καλώδια που εξέρχονται από την Α/Γ καθώς θα καταστραφούν τα ηλεκτρονικά μέρη που αυτή περιέχει.
- Κατά την εγκατάστασή της, η Α/Γ δεν θα πρέπει να είναι συνδεδεμένη με τους πόλους της μπαταρίας. Επίσης τα καλώδια μέσω των οποίων μετακινείται το παραγόμενο ρεύμα προς την μπαταρία, θα πρέπει να μονωθούν ώστε να μην είναι εκτεθειμένα στα καιρικά φαινόμενα, ενώ θα πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει ασφάλεια στο κύκλωμα ώστε να αποτραπούν φαινόμενα υπερφόρτωσης του κυκλώματος με κίνδυνο να καταστραφούν τα στοιχεία του και να ξεσπάσει πυρκαγιά.
- Οι χρήστες του συστήματος θα πρέπει να προσέχουν κατά την προσέγγιση προς την Α/Γ καθώς τα κινούμενα πτερύγια μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό. Γι'αυτό θα πρέπει η Α/Γ να έχει σταματήσει πλήρως πριν γίνει οποιαδήποτε εργασία και να έχει αποσυνδεθεί η γεννήτρια από την μπαταρία.
- Απαραίτητη είναι η περιοδική συντήρηση τόσο της Α/Γ, όσο και των συνδέσμων και του κυκλώματος.

- Τα ηλεκτρονικά τμήματα της Α/Γ περιλαμβάνουν διόδους ώστε να αποτρέπεται η επιστροφή του ρεύματος από την μπαταρία προς την γεννήτρια. Συνεπώς δεν θα πρέπει να τοποθετηθούν επιπλέον διόδοι στο κύκλωμα.

3.2 Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας

3.2.1 Επιλογή της θέσης εγκατάστασης

Ουσιαστικός παράγοντας για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας Α/Γ είναι οι ταχύτητες ανέμου που αναπτύσσονται στην περιοχή. Ο άνεμος εξαρτάται τόσο από την μορφολογία του εδάφους, όσο και από την ύπαρξη ή μη διαφόρων εμποδίων. Τα εμπόδια αυτά μπορεί να είναι θάμνοι, δέντρα, λόφοι ή κτήρια (παρ.2.2.3 Αιολικό δυναμικό). Εκτός από τον υπολογισμό με βάση το μήκος τραχύτητας και άλλες παραμέτρους, ένας άλλος τρόπος υπολογισμού των ταχυτήτων που πνέουν στην περιοχή είναι από την κλίση των δέντρων. Η ισχύς του αέρα μεταβάλλεται ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους. Σε περιοχές που δεν παρουσιάζουν μορφολογικές ανωμαλίες, αν κάνουμε την παραδοχή ότι δεν υπάρχουν εμπόδια, ο άνεμος δίνει το 100% της ισχύος του (σχήμα 40). Όταν ο άνεμος συναντήσει κάποιο λόφο, τότε η ισχύς μειώνεται στο 50% δημιουργώντας τυρβώδη ροή. Περνώντας πάνω από το λόφο η ισχύς του αυξάνεται σταδιακά μέχρι που στην κορυφή του η ισχύς φτάνει το 200% [11]. Συνεπώς οι κορυφές των λόφων αποτελούν ιδανικές τοποθεσίες για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών.



(σχήμα 40) AIR-X Land

Μεταβολή της ισχύος του ανέμου κοντά σε λόφο

AIR-X Land Southwest Windpower
AIR-X Land Manual.

Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει κάποιος λοφίσκος για την εγκατάσταση, όσο πιο ψηλά τοποθετηθεί η Α/Γ τόσο μεγαλύτερο ποσοστό του διατιθέμενου ανέμου θα εκμεταλλεύεται. Στην περίπτωση της AIR – X, με μέση ταχύτητα ανέμου τα 5,4 m/s, σε ύψος 8 – 9 m η Α/Γ μας δίνει 50 kWh/month, σε ύψος 15 – 17 m η Α/Γ μας δίνει 65 kWh/month, σε ύψος 30 m η Α/Γ μας δίνει 85 kWh/month [11]. Στην περίπτωση μας, η τοποθέτηση της Α/Γ έγινε στην οροφή του ιδρύματος. Συνεπώς η ισχύς του ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερη καθώς το κτίριο έχει ύψος 12 μέτρα και η Α/Γ τοποθετήθηκε άλλα 5 μέτρα πάνω από την οροφή αποδίδοντας ικανοποιητικά ανάλογα με την ένταση του ανέμου που πνέει κάθε φορά στην περιοχή.

3.2.2 Επιλογή ιστού στήριξης

Η επιλογή του ιστού στήριξης εξαρτάται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της περιοχής εγκατάστασης. Κτίρια, μορφολογία του εδάφους, διαθέσιμος χώρος, κόστος είναι οι βασικότεροι παράγοντες. Για τις μικρές ιδιωτικής χρήσεως ανεμογεννήτριες συνηθέστερη είναι η στήριξή τους σε ιστούς από 4 – 20 m και μάλιστα σε δύο παραλλαγές [11].

- Η πρώτη αφορά την στήριξή της σε κάποια πλευρά της κατοικίας ή του κτηρίου με πλάγια στήριξη. Στην περίπτωση αυτή ο ιστός της Α/Γ που δεν μπορεί να είναι πολύ μεγάλος σε ύψος στηρίζεται σε κάποια πλευρά του κτηρίου με δακτυλίδια που βιδώνονται κατάλληλα στον τοίχο εξαλείφοντας τους κραδασμούς από την ένταση του ανέμου.
- Η δεύτερη αφορά την στήριξη της Α/Γ σε μικρό ή μεγάλο ιστό με τη χρήση αντηρίδων. Ο ιστός στηρίζεται στο έδαφος με τη χρήση στρογγυλής μεταλλικής βάσης ή τρίποδο το οποίο βιδώνεται με κατάλληλο τρόπο. Στη συνέχεια τοποθετούμε μεταλλικούς δακτυλίους σε διάφορα σημεία του ιστού (ανάλογα με το ύψος χρησιμοποιούμε 1, 2 ή περισσότερους) και έπειτα χρησιμοποιούμε αντηρίδες από τις οπές των μεταλλικών δακτυλίων μέχρι το έδαφος. Με τον τρόπο αυτό προστατεύουμε την εγκατάσταση από τους κραδασμούς που μπορεί να ρίξουν τον ιστό με την Α/Γ.

Στην προκειμένη περίπτωση, αφού μελετήθηκε ο χώρος που θα τοποθετηθεί η Α/Γ, επιλέχθηκε η στήριξή της επάνω σε τρίποδο ιστό. Οι λόγοι που ώθησαν στην απόφαση αυτή ήταν οι εξής:

- Η Α/Γ δεν θα μπορούσε να τοποθετηθεί παραπλεύρως σε κάποια πλευρά του δωματίου που οδηγεί στην ταράτσα του κτιρίου καθώς επάνω σε αυτό βρίσκονται τοποθετημένες διάφορες κεραίες.
- Επίσης δεν επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ιστός στην οροφή του κτηρίου και να βιδωθεί κατάλληλα επάνω σε αυτή καθώς η επιφάνεια της ταράτσας καλύπτεται από γεωύφασμα και χαλίκι για την σωστή μόνωση και στεγάνωση του κτιρίου. Αν η μεμβράνη αυτή τρυπηθεί υπάρχει πιθανότητα διαρροής βρόχινου νερού προς το εσωτερικό του κτιρίου.
- Έπρεπε επίσης να ληφθεί υπ'όψη ότι η Α/Γ θα έπρεπε να τοποθετηθεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πρόσθια όψη του κτιρίου η οποία είναι ανοιχτή στον άνεμο μιας και δεν υπάρχουν μπροστά της άλλα κτίρια που να περιορίζουν την δραστηριότητα του ανέμου. Συνεπώς η πλευρά αυτή θα ήταν η καλύτερη για την τοποθέτηση της Α/Γ μιας και θα λειτουργούσε καλύτερα από ότι σε οποιαδήποτε άλλη θέση.

Δεδομένου ότι ούτε και το τρίποδο με τον ιστό μπορούσε για τους παραπάνω λόγους να βιδωθεί επάνω στην επιφάνεια της ταράτσας, κατασκευάστηκαν μεταλλικές γωνιές οι οποίες θα βιδώνονταν επάνω στο τοιχίο που βρίσκεται περιμετρικά της ταράτσας και μάλιστα σε μια γωνία που σχηματίζει αυτό ώστε να στηριχθούν οι 2 από τις 3 πλευρές του τρίποδου στήριξης της Α/Γ, ενώ η 3^η θα έμενε στον αέρα και οι ανοχές της στην κίνηση του ανέμου θα εξαλείφονταν με την χρήση αντηρίδων πολύ καλά στερεωμένων και συσφιγμένων.

3.2.3 Εγκατάσταση του ιστού και της Α/Γ

Η εγκατάσταση της Α/Γ ξεκίνησε με την εγκατάσταση του τρίποδου στήριξης του ιστού. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω επιλέχθηκε η στήριξη του τρίποδου στο πλευρικό περιμετρικό τοιχίο με τη χρήση μεταλλικών βάσεων (σχήμα 41).



(σχήμα 41) Στήριξη τρίποδου σε μεταλλικές γωνιές

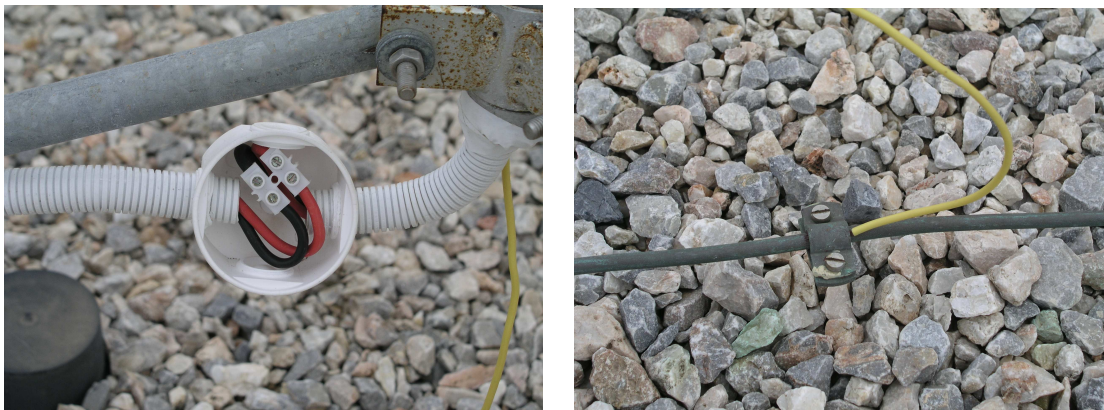
Οι αποστάσεις των ποδιών του τρίποδου μετρήθηκαν και με τη χρήση τρυπανιού τοποθετήθηκαν οι μεταλλικές γωνιές σε δύο διαφορετικούς τοίχους που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 90°. Οι μεταλλικές γωνιές στηρίχθηκαν στον τοίχο με τη χρήση μεγάλης διαμέτρου κοχλιών ενώ στο άλλο τμήμα της κάθε γωνιάς υπάρχουν οπές οπότε σε αυτές βιδώθηκαν με επίσης μεγάλης διαμέτρου κοχλιών τα δύο εκ των τριών ποδιών του τρίποδου. Στη συνέχεια η κατασκευή συσφιχθηκε σε κάθε άρθρωσή της (και στο ίδιο το τρίποδο και στο σημείο σύνδεσης με τις μεταλλικές γωνιές) ενώ παντού χρησιμοποιήθηκαν ροδέλες σύσφιξης ώστε να εξαλειφθούν όλες οι ανοχές στην μετακίνηση του τρίποδου εξαιτίας του ανέμου. Το τρίτο πόδι τοποθετήθηκε επάνω σε σκληρό υλικό (μάρμαρο) και κατόπιν της σύσφιξης όλων των συνδέσεων διαπιστώθηκε ότι δεν παρουσιάζει καμία μετακίνηση (σχήμα 42).



(σχήμα 42) Τελική τοποθέτηση τρίποδου στήριξης της Α/Γ

Ακολούθησε η συναρμολόγηση και η εγκατάσταση της Α/Γ επάνω στον ιστό στήριξης, ενώ το σύνολο βιδώθηκε επάνω στον ειδικό σύνδεσμο που υπάρχει επάνω στο τρίποδο. Αρχικά συναρμολογήθηκε η Α/Γ λαμβάνοντας υπ' όψην όλες τις συνθήκες ασφάλειας κάτω από τις οποίες πρέπει να γίνει αυτή η διαδικασία. 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 συσφίχθηκαν 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 (Hub). Η Α/Γ είναι από το εργοστάσιο ρυθμισμένη στα 24V και η οποία τάση εξόδου διαπιστώθηκε και με τη χρήση βολτομέτρου.

Αφού ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση της Α/Γ, περάστηκαν τα καλώδια που θα οδηγήσουν το παραγόμενο ρεύμα στις μπαταρίες του συστήματος μέσα από τον μήκος 4 m ιστό και συνδέθηκαν με αυτά που βγαίνουν από την Α/Γ με τη χρήση κατάλληλου μεγέθους κλεμών. Χρησιμοποιήθηκε κόκκινο καλώδιο για το θετικό, μαύρο για το αρνητικό και κίτρινο για τη γείωση (σχήμα 43). Στη συνέχεια τα καλώδια περάστηκαν μέσα από το τρίποδο και βγήκαν από την κάτω πλευρά όπου και διακόπηκαν για να τοποθετηθούν κλέμες για λόγους ευχρηστίας σε περίπτωση συντήρησης της Α/Γ.



(σχήμα 43) Υδατοστεγές κουτί με το σημείο σύνδεσης των καλωδίων της Α/Γ – Καλώδιο γείωσης

Το σημείο αυτό της καλωδίωσης τοποθετήθηκε μέσα σε υδατοστεγές κουτί (σχήμα 43), ενώ το καλώδιο της γείωσης συνδέθηκε με την κεντρική γείωση του κτιρίου. Όλα τα καλώδια μεταφοράς ρεύματος τοποθετήθηκαν μέσα σε στεγανό πλαστικό σωλήνα για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων από το νερό της βροχής και φθοράς τους από τον ήλιο.

Τελευταία τοποθετήθηκε η Α/Γ επάνω στον ιστό και κατόπιν ο ιστός βιδώθηκε επάνω στο τρίποδο. Η βάση της Α/Γ, η οποία κινείται ανεξάρτητα από το σώμα της Α/Γ χάρις στα ρουλεμάν που υπάρχουν τοποθετημένα σ' αυτή, είναι διαιρούμενη και διαθέτει αντικριστές οπές για να μπορεί να τοποθετηθεί επάνω σε ιστό και να συσφιχθεί με παξιμάδια ασφαλείας (σχήμα 44). Μεταξύ των 2 κομματιών τοποθετείται ένα κομμάτι σκληρό καουτσούκ το οποίο εξαλείφει και τις παραμικρές ανοχές στην κίνηση των 2 κομματιών όταν συσφιχθούν με αποτέλεσμα η Α/Γ να είναι ασφαλισμένη επάνω στον ιστό.



(σχήμα 44) Σύσφιξη Α/Γ επάνω στον ιστό με τη χρήση κοχλιών με παξιμάδια ασφαλείας.

Στη συνέχεια ο ιστός με την Α/Γ σηκώθηκε από το έδαφος και τοποθετήθηκε επάνω στο τρίποδο όπου και βιδώθηκε στην τελική της θέση (σχήμα 45). Ακολούθησε η τοποθέτηση του δακτυλίου με τις προεξοχές όπου θα περάσουν οι αντηρίδες (σχήμα 46). Ο δακτύλιος αυτός τοποθετήθηκε στα μέσα του ιστού περίπου και συσφίχθηκε κατάλληλα χρησιμοποιώντας μεγάλης διαμέτρου 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 στον τοίχο του διπλανού δωματίου ανοίχθηκαν τρύπες όπου και τοποθετήθηκαν ειδικά μεταλλικά στριφώνια που διογκώνονται με τη σύσφιξη συνεισφέροντας αποτελεσματικά στην ασφάλεια στήριξης των αντηρίδων. Αφού ο δακτύλιος τοποθετήθηκε επάνω στον ιστό και συσφίχθηκε κατάλληλα, οι αντηρίδες με τη βοήθεια γάντζων τοποθετήθηκαν στα μεταλλικά στριφώνια που είχαν τοποθετηθεί επάνω στον τοίχο και έπειτα συσφίχθηκαν τόσο ώστε να είναι απόλυτα σταθερή η κατασκευή χωρίς κανένα περιθώριο ταλάντωσης. Τέλος με τη χρήση αλφαδιού

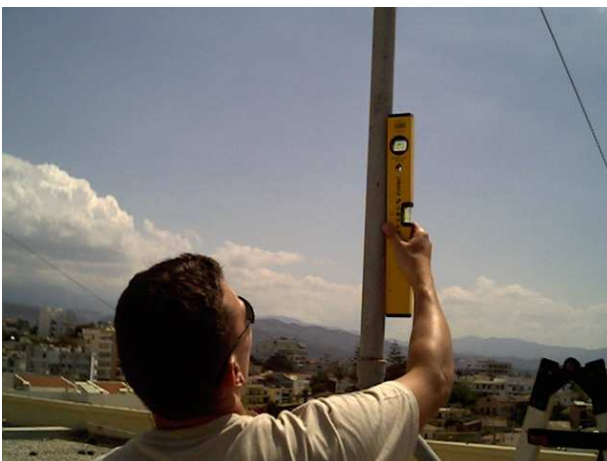
εντοπίστηκε και διορθώθηκε η τυχόν κλίση του ιστού προς κάποια πλευρά (σχήμα 47). Αυτή η διαδικασία σήμανε και την ολοκλήρωση της εγκατάστασης της Α/Γ.



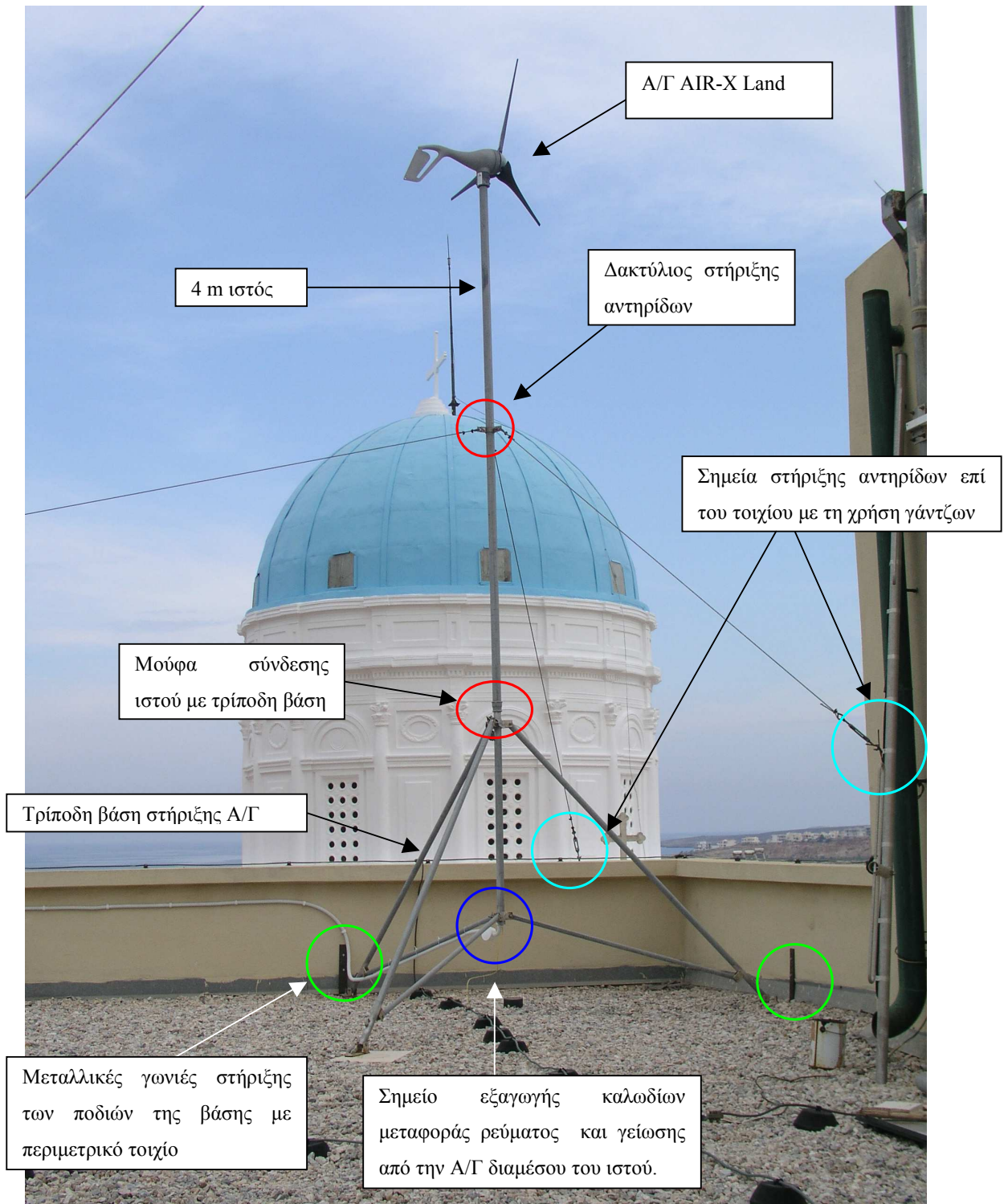
(σχήμα 45) Στήριξη της Α/Γ επάνω στο τρίποδο.



(σχήμα 46) Στερέωση του ιστού με τη χρήση αντηρίδων.



(σχήμα 47) Εξακρίβωση της ορθότητας της κατασκευής με τη χρήση αλφαδιού.



(σχήμα 48) Ολοκληρωμένη εγκατάσταση Α/Γ επάνω σε 4 m ιστό στηριζόμενο σε τρίποδη βάση.

3.3 Φωτοβολταϊκά πάνελ

3.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ (Φ/Β από εδώ και πέρα) του υβριδικού συστήματος επιλέχθηκαν σύμφωνα με την ποιότητα κατασκευής, την εγγύηση λειτουργίας, την παραγόμενη ενέργεια από την κάθε μονάδα καθώς και την εμπειρία από προηγούμενες εγκαταστάσεις. Η ηλιοφάνεια στην περιοχή των Χανίων είναι υψηλή. Επομένως η απόδοση αναφορικά με τις καιρικές συνθήκες δεν καθόρισε την επιλογή των Φ/Β. Από την εμπειρία προηγούμενων εγκαταστάσεων επιλέχθηκε η εταιρία ShellSolar και μάλιστα με το μοντέλο SM-100 ισχύος 100 Watt για έκαστη μονάδα (σχήμα 49). Η συγκεκριμένη εταιρία καλύπτει τα προϊόντα της με 25^η εγγύηση απόδοσης λειτουργίας ενώ την παρούσα στιγμή η συγκεκριμένη συσκευή αποτελούσε μια από τις καλύτερες επιλογές.

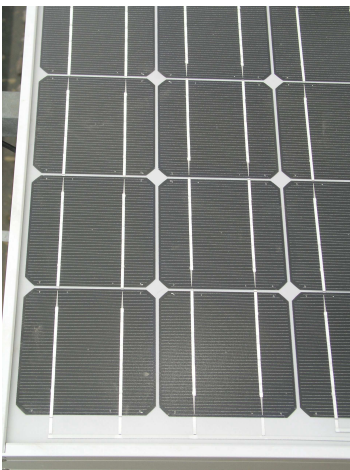


(σχήμα 49) Φ/Β πάνελ Shell Solar SM-100 τοποθετημένα ανά ζεύγος επάνω σε μεταλλική βάση.

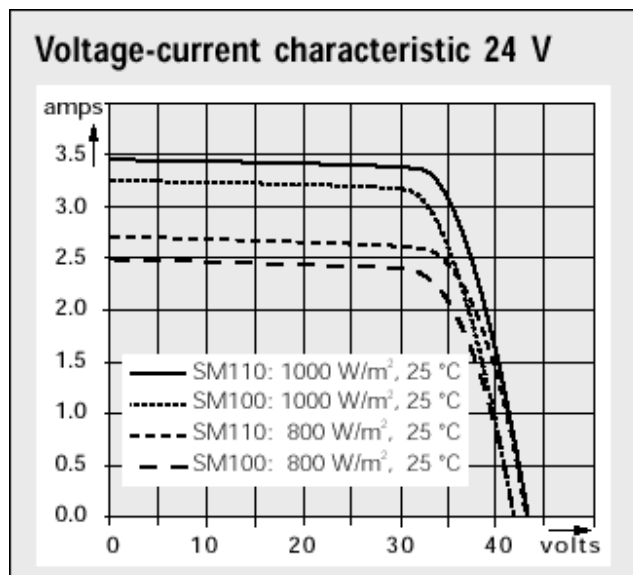
Τα πάνελ αποτελούνται από πλαίσια μονοκρυσταλλικής σιλικόνης τα οποία έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, ενώ η εταιρεία έχει ενσωματώσει υψηλή τεχνολογία στα υλικά προστασίας των πλαισίων (γυάλινη επιφάνεια) χρησιμοποιώντας την μορφή της πυραμίδας με αποτέλεσμα οι ηλιακές ακτίνες να εγκλωβίζονται στο εσωτερικό του πάνελ μεταξύ γυαλιού και πλαισίου αποδίδοντας έτσι αποτελεσματικότερα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και εμποδίζοντας την αντανάκλαση των ακτίνων προς το

περιβάλλον. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μέγιστη απορρόφηση κατά τη διάρκεια της ημέρας ακόμα και όταν επικρατούν συνθήκες χαμηλού ηλιακού φωτός [12].

Η έκδοση SM-100 είναι μια ιδιαίτερη έκδοση η οποία χρησιμοποιεί Φ/Β κυψέλες με υψηλή απόδοση λειτουργίας (σχήμα 50), ενώ η μεγάλη του επιφάνεια το καταστήνει ιδανική επιλογή για μέτριες ή υψηλής απόδοσης συνθήκες. Το συγκεκριμένο μοντέλο μας παρέχει την δυνατότητα επιλογής της σύνδεσης που θέλουμε ώστε να λαμβάνουμε 12V ή 24V στην έξοδο του συστήματος ενώ μπορεί να συνδεθεί τόσο με το εθνικό δίκτυο (υπό δεδομένες συνθήκες τάσης και έντασης ρεύματος), όσο και σε αυτόνομα δίκτυα. Το Φ/Β πάνελ αποτελείται από 72 ηλιακές κυψέλες οι οποίες έχουν τετράγωνο σχήμα και καλύπτουν σχεδόν όλη την επιφάνεια του πλαισίου. Οι κυψέλες αυτές καλύπτονται από ένα στρώμα EVA (αιθυλ-βύνηλ-ακετυλενίου) το οποίο προστατεύει το ευαίσθητο φιλμ της κυψέλης από τυχόν υγρασία ενώ παράλληλα διασφαλίζει την ηλεκτρική του απομόνωση. Το γυαλί που καλύπτει τις κυψέλες έχει υποστεί ειδική επεξεργασία για να αντέχει σε συνθήκες χαλαζόπτωσης και πάγου ενώ παρουσιάζει εξαιρετικά χαρακτηριστικά μετάδοσης του ηλιακού φωτός. Τέλος το πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο αλουμίνιο υψηλής μηχανικής αντοχής για να αντέχει σε συνθήκες εκτεταμένων ανέμων και χιονιού [12].



(σχήμα 50) Τμήμα του Φ/Β πάνελ με τις τετράγωνες κυψέλες οι οποίες το καλύπτουν.



(σχήμα 51) Καμπύλη λειτουργίας του Φ/Β πάνελ σε ακτινοβολία $1000W/m^2$ & $800W/m^2$

SIEMENS. (2004) *Solar Module SM-100 Manual*. U.S.A.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : Shell Solar Module SM-110/SM-100 (τεχνικά χαρακτηριστικά)

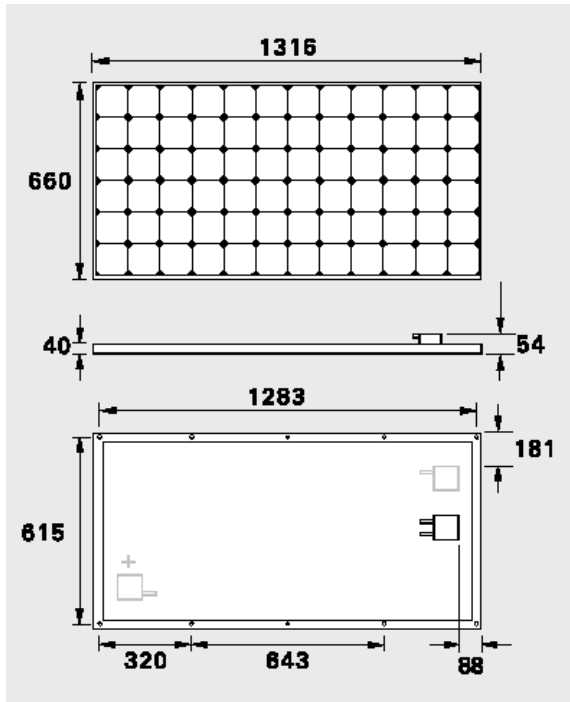
SIEMENS. (2004) Solar Module SM-100 Manual. U.S.A.

Electrical parameters	SM110	SM110-24	SM100	SM100-24
Rated power P_{max} ($\pm 5\%$) [W_p] ¹⁾	110	110	100	100
Configuration	12 V	24 V	12 V	24 V
Rated current I_{MPP} [A]	6.3	3.15	5.9	2.95
Rated voltage U_{MPP} [V]	17.5	35.0	17.0	34.0
Short circuit current I_{SC} [A]	6.9	3.45	6.5	3.25
Open circuit voltage U_{OC} [V]	21.7	43.5	21.0	42.0
Thermal parameters				
NOCT ²⁾ [°C]	45 \pm 2			
Temp. coefficient of the short-circuit current	+4 x 10 ⁻⁴ /K			
Temp. coefficient of the open-circuit voltage	-3.4 x 10 ⁻³ /K			
Limit values / Qualifications				
Max. permitted module temperature [°C]	-40 to +85			
Max. permitted ambient temperature				
Module under solar irradiation [°C]	-40 to +50			
Module shaded (storage temperature) [°C]	-40 to +85			
Maximum permitted system voltage ³⁾ [V]	1000			
Surface pressure [N/m ²]	2400			
Maximum distortion ⁴⁾ [°]	1.2			
Humidity at 85 °C [%]	85 relative			
Hailstorm / hailstones [mm]	\varnothing 25			
[m/s]	v = 23			
Weight (with / without frame) [kg]	11.5 / 9.5			
¹⁾ W_p (Watt peak) = Peak power under standard test conditions: (minimum power 104.5 W_p / 95 W_p) Air Mass AM = 1.5 Irradiance E = 1000 W/m ² Cell temperature T_c = 25 °C		²⁾ Normal Operating Cell Temperature at: Irradiance E = 800 W/m ² Ambient temperature T_A = 20 °C Wind speed v_W = 1 m/s ³⁾ Protection class II 820 V ⁴⁾ Diagonal lifting of the module plane		

Στον παραπάνω πίνακα καθώς και το διάγραμμα με την καμπύλη ισχύος του Φ/Β πάνελ (σχήμα 51) εμφανίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι τιμές ρεύματος και τάσης που αποδίδει το πάνελ του συστήματος. Η ισχύς του είναι 100 W με μια απόκλιση $\pm 5\%$, η μέγιστη τάση που δίνει 24V ενώ το ρεύμα φτάνει τα 2,95 A. Σε περίπτωση που δεν έχουμε καταναλωτές στο κύκλωμα το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{SC}) φτάνει τα 3,25 A, ενώ η τάση ανοιχτοκύκλωσης (V_{OC}) τα 42V. Από τον πίνακα αποδεικνύεται η υψηλή αντοχή σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, ατμοσφαιρική πίεση αλλά και σε καιρικά φαινόμενα (χαλάζι, άνεμος). Κάθε Φ/Β πριν εξέλθει από τη γραμμή παραγωγής υφίσταται αρκετά μηχανικά και ηλεκτρικά τεστ διασφαλίζοντας έτσι την υψηλή απόδοση και ποιότητά του.

3.3.2 Εγκατάσταση Φ/Β πάνελ

Για την εγκατάσταση των Φ/Β στην οροφή του κτιρίου το πρώτο βήμα ήταν η μελέτη των βάσεων πάνω στις οποίες θα στηρίζονταν, καθώς και η διάταξή τους στο χώρο λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπ'όψη την κίνηση του ηλίου ώστε να έχουμε την αναμενόμενη απόδοση λειτουργίας τους.



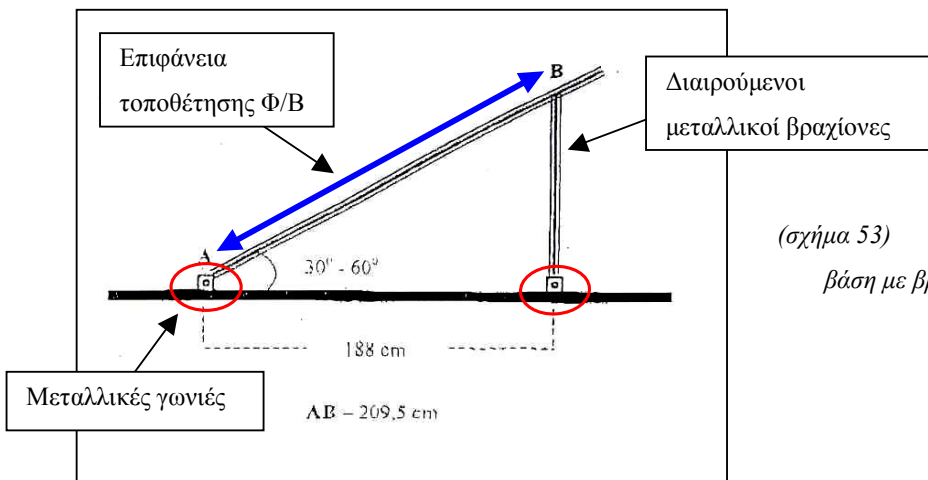
(σχήμα 52) Διαστάσεις Φ/Β πάνελ

SM-100

SIEMENS. (2004) Solar Module SM-100

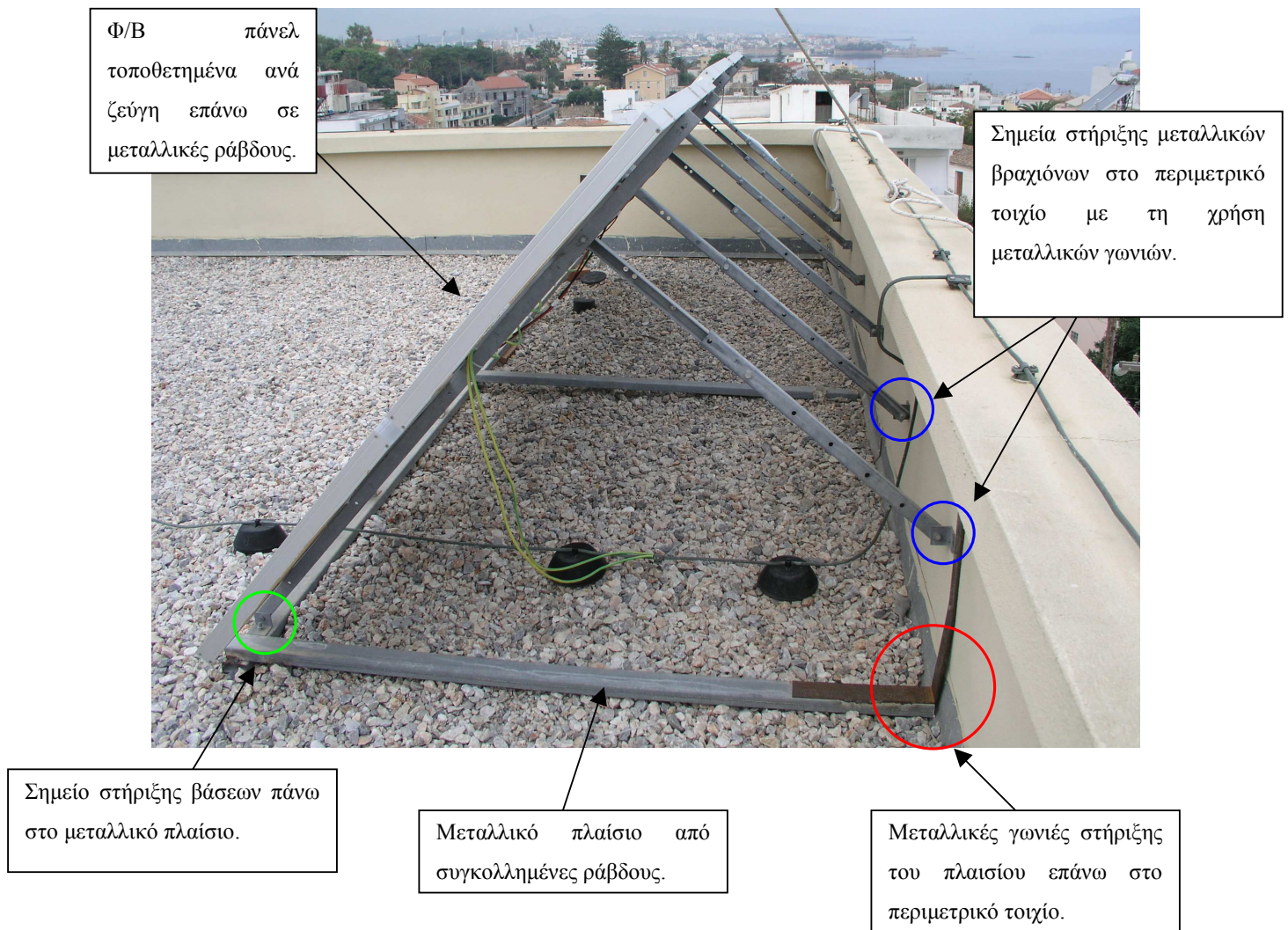
Manual. U.S.A.

Μελετώντας τις διαστάσεις του Φ/Β πάνελ (σχήμα 52) προμηθευτήκαμε αρθρωτές βάσεις στις οποίες τοποθετούνται τα Φ/Β ανά ζεύγος και οι οποίες αποτελούνται από μεταλλικές ράβδους επάνω στις οποίες βιδώνονται τα Φ/Β εκμεταλλευόμενοι τις οπές που διαθέτουν και τις αντίστοιχες των ράβδων. Αφού ολοκληρωθεί η τοποθέτηση του ζεύγους των πάνελ, ακολουθεί η τοποθέτηση δύο μεταλλικών βραχιόνων που βιδώνονται σε κάθε μια εκ των δύο πλευρών της βάσης και επιτρέπουν να τοποθετηθεί με κλίση επάνω στην οροφή του κτιρίου (σχήμα 53). Μάλιστα οι πρόσθετοι βραχίονες διαθέτουν οπές οι οποίες μας δίνουν την επιλογή να αλλάξουμε την κλίση του ζεύγους των Φ/Β ανάλογα με την εποχή ώστε να εκμεταλλεύονται όσο το δυνατόν καλύτερα τις ηλιακές ακτίνες και συνεπώς να έχουμε μέγιστη απόδοση ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



(σχήμα 53) Αρθρωτή μεταλλική βάση με βραχίονες για ζεύγος Φ/Β

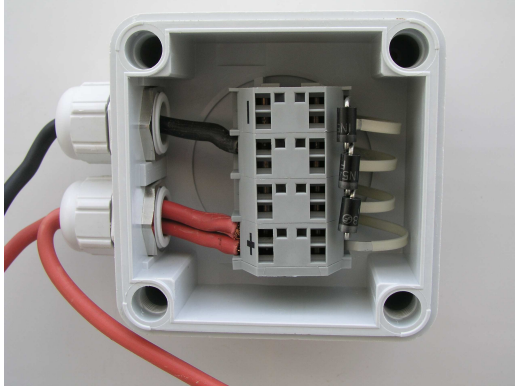
Η ολοκληρωμένη κατασκευή διαθέτει μεταλλικές γωνιές με οπές οι οποίες βιδώνονται επάνω στο σύνολο της βάσης σε 4 σημεία και επιτρέπουν την τοποθέτησή της στο έδαφος σχηματίζοντας ένα ορθογώνιο τρίγωνο (σχήμα 53). Παρά την ορθότητα της κατασκευής, η βάση δεν μπορούσε να τοποθετηθεί απευθείας επάνω στην οροφή του κτιρίου και να βιδωθεί κατάλληλα επάνω 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 όπως και η τρίποδη βάση της Α/Γ. Συνολικά αγοράστηκαν 6 Φ/Β πάνελ τα οποία τοποθετήθηκαν σε τρεις βάσεις σχηματίζοντας αντίστοιχα ζεύγη. Συνεπώς αφού κατασκευάστηκε το μεταλλικό πλαίσιο πάνω στο οποίο θα βιδωθούν οι βάσεις, επιλέχθηκε η θέση τοποθέτησης η οποία έχει προσανατολισμό προς Νότο για να έχουμε την όσο δυνατόν υψηλότερη απόδοση των Φ/Β. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν και συσφίχθηκαν κατάλληλα με τη χρήση ροδελών ασφαλείας τα ζεύγη των βάσεων ενώ οι μεταλλικοί βραχίονές τους βιδώθηκαν με τη χρήση στριφονιών στο περιμετρικό τοίχιο καταστρώντας την κατασκευή σταθερή ενώ παράλληλα επιτρέπουν την αλλαγή της κλίσης των βάσεων και κατ'επέκταση και των Φ/Β (σχήμα 54).



(σχήμα 54) Φ/Β πάνελ τοποθετημένα ανά ζεύγη σε βάσεις στηριζόμενες σε μεταλλικό πλαίσιο και στο περιμετρικό τοίχιο.

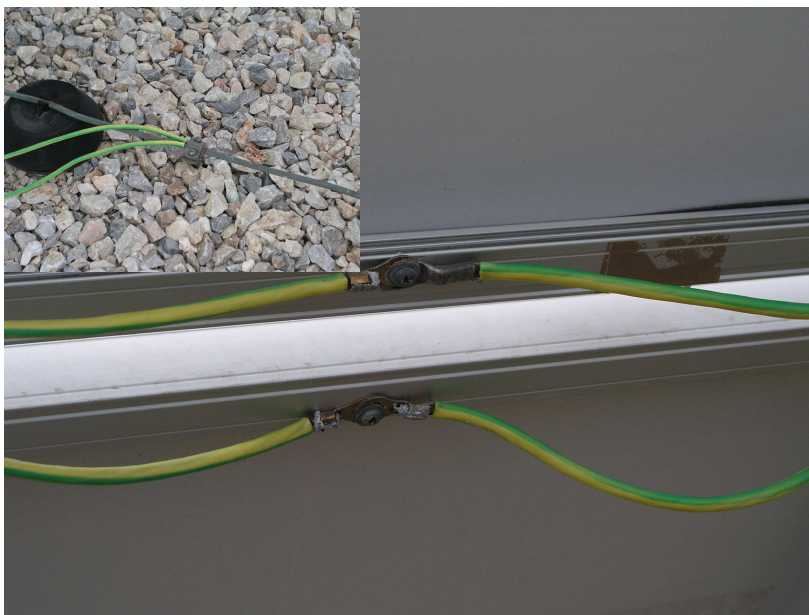
Τα Φ/Β πάνελ SM-100 που προμηθευτήκαμε διαθέτουν τρεις τάσεις εξόδου (12V, 24V, 36V) ανάλογα με το σημείο σύνδεσης στο κουτί που βρίσκεται στο πίσω μέρος του. Για να μην αυξηθεί το ρεύμα που θα διατρέχει το κύκλωμα συνδέοντας τα 6 Φ/Β παράλληλα μεταξύ τους (πολύ υψηλές και επικίνδυνες τιμές ρεύματος), επιλέχθηκε να συνδεθούν τα πάνελ 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 $6 \times 100\text{W} = 600\text{ W}$. Από τον τύπο της ισχύος έχουμε $P = V \times I \Rightarrow I = P/V = 600\text{ W} / 24\text{ V} = 25\text{ A}$ που είναι και το ρεύμα που λαμβάνουμε στην έξοδο του συστήματος.



(σχήμα 55) Υδατοστεγές κουτί στο πίσω μέρος του Φ/Β με τις υποδοχές των καλωδίων και τις διόδους προστασίας.

Αφού ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση των βάσεων και των Φ/Β επάνω σε αυτές και κάθε άρθρωση της κατασκευής ελέγχθηκε και συσφίχθηκε, ακολούθησε η σύνδεση των Φ/Β μεταξύ τους δημιουργώντας μια συνολική μονάδα 600 W. Όπως προαναφέρθηκε τα πάνελ συνδέθηκαν ανά δύο σε σειρά και οι τρεις σειρές παράλληλα μεταξύ τους. Η έξοδος του συστήματος οδηγήθηκε μέσα από πλαστικό στεγανό σωλήνα σε υδατοστεγές κουτί όπου και θα κατευθύνονταν μετά προς το εργαστήριο για να καταλήξουν διαμέσου αισθητηρίων και άλλων συσκευών να φορτίσουν τους συσσωρευτές. Τα πάνελ γειώθηκαν μεταξύ τους με τη χρήση κίτρινου καλωδίου διαμέτρου 6 mm^2 και στη συνέχεια η γείωση συνδέθηκε με την κεντρική γείωση του κτιρίου (σχήμα 56).



(σχήμα 56) Γείωση Φ/Β μεταξύ τους και σύνδεση γείωσης με την κεντρική του κτιρίου.

Τα καλώδια που συνδέουν τα Φ/Β μεταξύ τους μονώθηκαν στις συνδέσεις για την αποφυγή δυσάρεστων βραχυκυκλωμάτων, ενώ με ειδικές πλαστικές θηλιές διασφαλίστηκε η σταθερότητά τους για να μην παρουσιάζουν ταλαντώσεις σε περίπτωση ισχυρών ανέμων. Σημαντικό στοιχείο σε μια Φ/Β εγκατάσταση είναι ο σωστός αερισμός των Φ/Β πάνελ από την πίσω μεριά κάτι που λόγω της κατασκευής δεν χρειάστηκε να επέμβουμε παραπάνω, ενώ η τάση και ένταση ρεύματος εξόδου διαπιστώθηκαν 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 εγκατάστασης (σχήμα 57).



(σχήμα 57) Ολοκληρωμένη Φ/Β εγκατάσταση.

3.4 Ελεγκτής (Controller)

3.4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά



(σχήμα 58) Ελεγκτής ρεύματος Tarom 245 οίκου Steca.

Ο ελεγκτής ρεύματος Tarom 245 του οίκου Steca (σχήμα 58) αποτελεί ιδανική επιλογή για μια τέτοιου είδους εγκατάσταση προοριζόμενος ειδικά για υβριδικά συστήματα. Αρμοδιότητά του είναι να επιτρέπει την διέλευση ρεύματος από και προς τους συσσωρευτές του συστήματος κατά την φόρτισή και εκφόρτισή τους, ελέγχοντας κάθε φορά την ποσότητα του ρεύματος που διακινείται και εμποδίζοντας την υπερβολική φόρτιση και εκφόρτιση. Με τον τρόπο αυτό συμβάλει στην προστασία των συσσωρευτών καθώς η πλήρης εκφόρτιση ή υπερφόρτισή, εκτός από καταστροφή των στοιχείων, μπορεί να επιφέρει βλάβες στο εργαζόμενο προσωπικό.

Η συγκεκριμένη συσκευή διαθέτει ασφάλειες λειτουργίας οι οποίες καταστρέφονται με τη διέλευση υπερβολικής ποσότητας ρεύματος διαμέσου του ελεγκτή προστατεύοντάς τον. Στο εσωτερικό υπάρχει ένας μικροελεγκτής και πολλές άλλες διατάξεις (τρανζίστορ, δίοδοι και άλλα) οι οποίες ελέγχουν κάθε δευτερόλεπτο την ροή του ρεύματος και την κατάσταση των συσσωρευτών. Ο ελεγκτής έχει προγραμματιστεί κατάλληλα για να εκτελεί αυτόματα κάποιες λειτουργίες. Έτσι όταν καταναλώνουμε την αποθηκευμένη στους συσσωρευτές ηλεκτρική ενέργεια και το ποσοστό εκφόρτισης πέσει επικίνδυνα, αυτόματα διακόπτει την παροχή ενέργειας από τον συσσωρευτή προς τον καταναλωτή προφυλάσσοντας τους συσσωρευτές από υπερβολική εκφόρτιση. Αντίστοιχα όταν το ποσοστό φόρτισης ξεπεράσει το όριο, τότε ο ελεγκτής διακόπτει τη ροή ρεύματος από

τον παραγωγό προς τον συσσωρευτή. Παράλληλα οι εγκατεστημένες εσωτερικά δίοδοι εμποδίζουν την μετακίνηση του ρεύματος από τον συσσωρευτή προς το Φ/Β που αποτελεί και τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ο μικροελεγκτής διενεργεί και άλλες λειτουργίες ελέγχοντας την θερμοκρασία της συσκευής και γενικότερα ακολουθώντας τον προγραμματισμό του μας πληροφορεί για το ρεύμα που εισέρχεται στο συσσωρευτή, αυτό που εξέρχεται, το ποσοστό φόρτισής του και άλλα στοιχεία εμφανίζοντας τις τιμές σε μια μικρή οθόνη που είναι εγκατεστημένη στο επάνω μέρος του [13].

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : Χαρακτηριστικά λειτουργίας ελεγκτή Tarom 245 της Steca

Steca. *Tarom 245 Manual*

Type of controller	235	245	430
System voltage	12/24V	12/24V	48V
Nominal load current at 20°C	35A	45A	30A
Nominal discharge current at 20°C	35A	45A	30A
max. current for 10s	45A	66A	40A
Surge current for 0.5s	58A	75A	50A
max. pulse current (200ms)	135A	180A	120A
Temp. range during operation	-10°C...60°C		
storage temperature	-10°C...80°C		
Connecting screws	16/25mm ²		
Weight	400g		
Dimensions	188x128x49mm		
Type of protection	IP22		

Η συγκεκριμένη συσκευή μπορεί να λειτουργεί με 12V ή 24V DC ενώ υπό φυσιολογικές συνθήκες επιτρέπει την διέλευση φορτίου μέχρι και 45A. Για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (s, ms) επιτρέπει την διέλευση πολύ μεγαλύτερων ρευμάτων προστατεύοντας πάντα τις συνδεδεμένες σε αυτή συσκευές, ενώ μπορεί να λειτουργεί σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Για την αποφυγή υπερθέρμανσής του ο ελεγκτής διαθέτει ενσωματωμένη ψήκτρα στο πίσω μέρος του ενώ συνίσταται η τοποθέτησή του με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται εύκολα ο αερισμός του πίσω μέρους [13].

Ο ελεγκτής διαθέτει τρεις θύρες όπου στην πρώτη τοποθετείται ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας (Φ/Β πάνελ) στη μεσαία ο συσσωρευτής ενώ η τελευταία είναι η έξοδος δηλαδή εκεί μπορούν να συνδεθούν οι καταναλωτές. Το ρεύμα που εξέρχεται από τον ελεγκτή είναι συνεχές (DC) καθώς προέρχεται είτε από τα Φ/Β είτε από τον συσσωρευτή, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από συσκευές που λειτουργούν με

συνεχές ρεύμα (DC). Για να μπορέσουμε να λειτουργήσουμε συσκευές που χρειάζονται εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που είναι και πιο διαδεδομένες στην αγορά, πρέπει να μετατρέψουμε το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Τη διαδικασία αυτή αναλαμβάνει μια άλλη συσκευή που ονομάζεται μετασχηματιστής.

3.5 Μετασχηματιστής (Inverter)

3.5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά



(σχήμα 59) Μετασχηματιστής Fronius SOLARIX 900I οίκου Steca.

Ο μετασχηματιστής του υβριδικού συστήματος μετασχηματίζει το προερχόμενο από τους συσσωρευτές ρεύμα από συνεχές (DC) σε εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα 230V/50Hz με το οποίο λειτουργούν οι περισσότερες συσκευές. Το συγκεκριμένο μοντέλο (SOLARIX 900I) (σχήμα 59) δεν διαθέτει εσωτερικό ρυθμιστή φόρτισης, επομένως λειτουργεί αποκλειστικά ως μετασχηματιστής. Η ισχύς του είναι 900 W ενώ μπορεί να λειτουργεί επιτρέποντας τη διέλευση ρευμάτων μέχρι και 38A (DC), ενώ σε AC ρεύμα μεταφράζεται σε 3,6 A. Η θερμοκρασιακό του εύρος λειτουργίας είναι -15 – 45 °C, ενώ διαθέτει τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές ψήκτρες για τη σωστή του λειτουργία χωρίς να υπερθερμαίνεται [14].

Στο επάνω μέρος της συσκευής υπάρχει ένας μικρός λαμπτήρας ο οποίος με την εναλλαγή χρώματος (κόκκινο-πράσινο) μας 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 μετασχηματιστής 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 εναλλασσόμενη έξοδος του συστήματος όπου και μπορούμε να συνδέσουμε συσκευές που λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση. Η συγκεκριμένη συσκευή λόγω της μικρής της ισχύος δεν μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία συσκευών όπως ψυγεία, θερμοσίφωνες ή κουζίνες καθώς αυτές απαιτούν μεγάλα φορτία για να λειτουργήσουν [14].

3.6 Συσσωρευτές



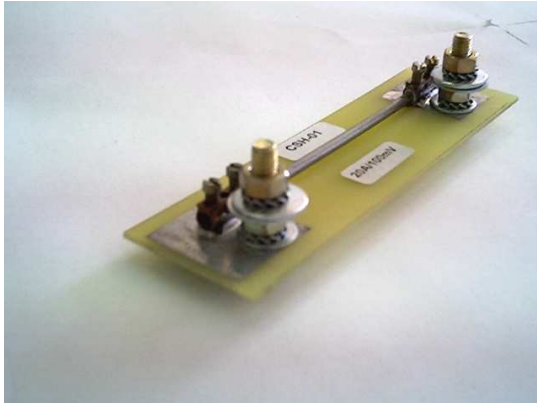
(σχήμα 60) Συσσωρευτές EpzS
240 Solar 2V οίκου Ceac-Fulmen
Solar.

Οι συσσωρευτές (σχήμα 60) είναι πλάκες χαμηλού αντιμονίου, μεγάλης βύθισης, πολλών κύκλων φόρτισης εκφόρτισης και ενδείκνυνται για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις. Η ονομαστική του τάση είναι 2V έκαστη φέτα, με χωρητικότητα 300Ah / C₇₂. Ο συνολικός αριθμός τους ήταν 24 φέτες των 2V και συνδέθηκαν ώστε να μας δίνουν 24V στην έξοδό τους. Συνεπώς συνδέθηκαν ανά 12 σε σειρά δίνοντάς μας 24V και οι δύο σειρές συνδέθηκαν παράλληλα μεταξύ τους. Για την σύνδεσή τους λόγω του μεγάλου φορτίου που αποθηκεύεται και διακινείται, χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί σύνδεσμοι από μολύβι οι οποίοι βιδώθηκαν κατάλληλα με μεγάλης διαμέτρου βίδες. Οι δύο σειρές συνδέθηκαν μεταξύ τους με ακροδέκτες που ενώνοντας με πολύκλωνο μονοπολικό καλώδιο μεγάλης

διατομής, ενώ επάνω στα άκρα συνδέθηκαν και τα καλώδια από την Α/Γ και τα Φ/Β ώστε να φορτίζουν τους συσσωρευτές.

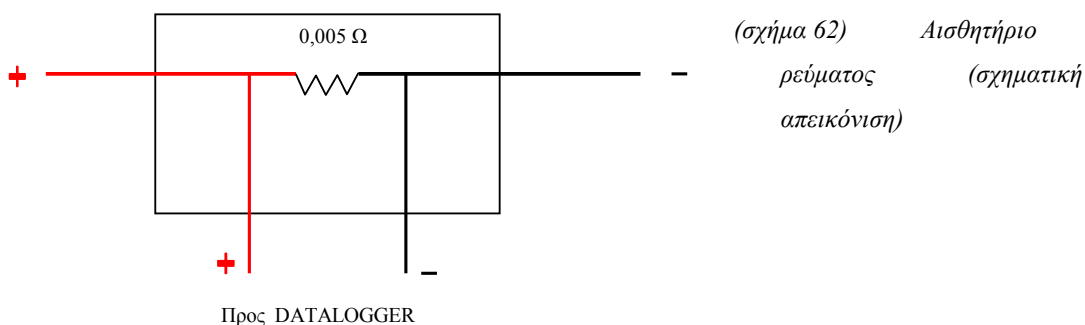
3.7 Αισθητήρια

3.7.1 Αισθητήρια ρεύματος



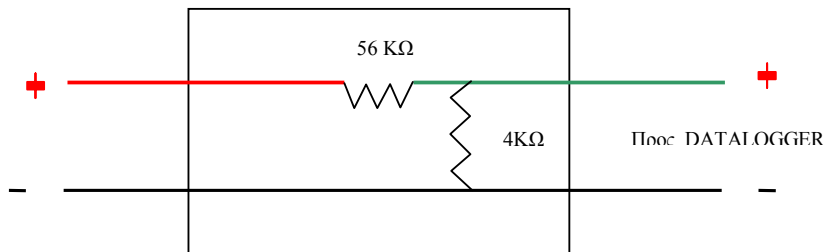
(σχήμα 61) Αισθητήριο ρεύματος

Τα αισθητήρια ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν δεν είναι παρά μια πολύ μικρή αντίσταση η οποία παρεμβάλλεται στο καλώδιο του κυκλώματος (στο θετικό ή το αρνητικό) (σχήμα 61). Παίρνοντας μέτρηση στα άκρα της αντιστάσεως μετράμε την τάση στην οποία αντιστοιχεί το ρεύμα που διέρχεται από το κύκλωμα εκείνη τη στιγμή εξαιτίας της αντίστασης που παρεμβάλαμε. Το διερχόμενο ρεύμα δηλαδή, με βάση το νόμο του Ohm ($I=V/R$), πολλαπλασιάζεται με την αντίσταση των $0,005 \Omega$ και μας δίνει μια τάση της τάξης των mV (σχήμα 62). Τα αισθητήρια (4 στον αριθμό) είναι τύπου CSH-01 με ανοχή DC 20A/100mV και τοποθετήθηκαν σε 4 σημεία του κυκλώματος για να βλέπουμε διαμέσου των τιμών τάσης που μας δίνουν, το ρεύμα που δίνει η Α/Γ, το σύνολο των Φ/Β, οι συσσωρευτές και το ρεύμα που καταναλώνεται. Οι μετρήσεις αυτές λαμβάνονται ταυτόχρονα δίνοντάς μας τη δυνατότητα της σύγκρισης μεταξύ καιρικών συνθηκών και λειτουργίας του συστήματος.



(σχήμα 62) Αισθητήριο
ρεύματος
(σχηματική
απεικόνιση)

3.7.2 Αισθητήρια τάσης



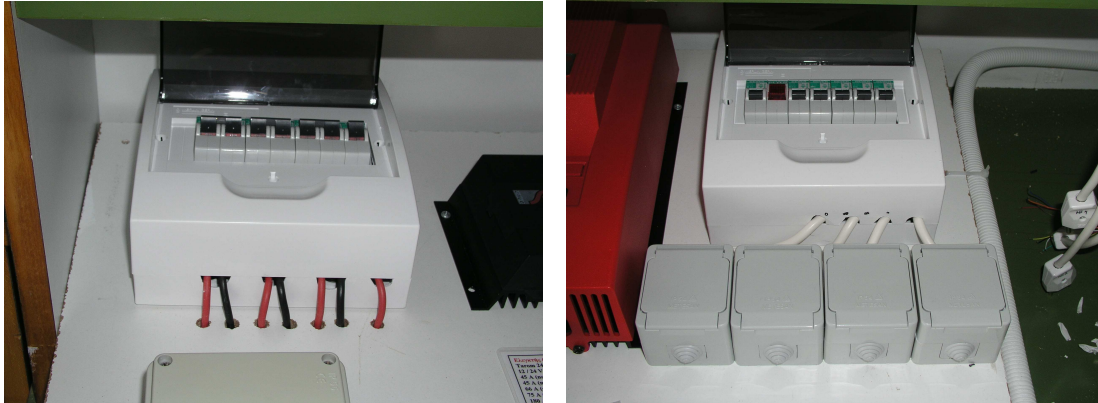
(σχήμα 63) Αισθητήριο τάσης (σχηματική απεικόνιση)

Το αισθητήριο τάσης είναι ουσιαστικά ένας διαιρέτης τάσης που υποβιβάζει την τάση λειτουργίας του κυκλώματος από 24V σε 2 V (σχήμα 63). Τα αισθητήρια αυτά τοποθετήθηκαν στα αντίστοιχα 4 σημεία όπου τοποθετήθηκαν και τα αισθητήρια ρεύματος δίνοντάς μας τις μεταβολές της υποβιβασμένης πλέον τάσης. Τα αισθητήρια είναι τύπου VAT-04 και ο υποβιβαστής τάσεως είναι 15:1.

3.8 Ασφάλειες και λαμπτήρες

Για να προστατευθεί το κύκλωμα από δυσάρεστα βραχυκυκλώματα και για να υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης κάποιου εκ των τμημάτων, χρησιμοποιήθηκε πληθώρα ασφαλειών και ασφαλειοδιακοπών. Σε δύο ξεχωριστούς πίνακες τοποθετήθηκαν οι ασφάλειες και οι ασφαλειοδιακόπτες. Ο πρώτος πίνακας (σχήμα 64) περιέχει 4 ασφαλειοδιακόπτες οι οποίοι αφορούν τα επιμέρους τμήματα του συστήματος. Αυτά είναι η Α/Γ, τα Φ/Β, οι συσσωρευτές και ο μετασχηματιστής. Το ρεύμα που τα διαρρέει είναι συνεχές. Τοποθετώντας ασφαλειοδιακόπτες αποκόπτεται τόσο η άνοδος αλλά και η κάθοδος του ρεύματος με αποτέλεσμα να τίθεται ολοκληρωτικά εκτός κυκλώματος το συγκεκριμένο τμήμα. Η τιμή των ασφαλειών είναι ανάλογη με το μέγιστο ρεύμα που μπορούμε να λάβουμε από τα επιμέρους τμήματα χωρίς να γίνει υπέρβαση των τιμών αυτών οπότε και πέφτει η ασφάλεια. Ο δεύτερος πίνακας (σχήμα 64) αφορά την έξοδο του συστήματος όπου έχουμε εναλλασσόμενο ρεύμα. Περιέχει μια γενική ασφάλεια και ένα γενικό διακόπτη με λαμπάκι στα 10 A που αποκόπτουν τις εξόδους ρεύματος και 4 ασφάλειες των 6 A, μια για κάθε έξοδο του συστήματος. Η χρήση των ασφαλειών σ' αυτό

το σημείο μας προφυλάσσει από την υπέρμετρη κατανάλωση ρεύματος καθώς το ρεύμα που μπορεί να παρέχει ο μετασχηματιστής είναι συγκεκριμένο.



(σχήμα 64) Ασφαλειοδιακόπτες (αριστερά) και ασφάλειες (δεξιά)

Το παραγόμενο από την Α/Γ και τα Φ/Β ρεύμα χρησιμοποιείται για τον φωτισμό του εργαστηρίου Α.Π.Ε. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 4 λαμπτήρες 15W έκαστος (σχήμα 65) οι οποίοι τοποθετήθηκαν μέσα σε κουβούκλιο προβολέα το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο του εργαστηρίου. Εκτός από τον φωτισμό του εργαστηρίου, το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει και τη λειτουργία διαφόρων μικροσυσκευών για την εκτέλεση πειραματικών ασκήσεων.



(σχήμα 65) Προβολείς με λαμπτήρες 15W για τον φωτισμό του εργαστηρίου

- [11] Southwest Windpower. (2002). *AIR-X Land Manual*. U.S.A.
- [12] SIEMENS. (2004) *Solar Module SM-100 Manual*. U.S.A.
- [13] Steca. *Tarom 245 Manual*
- [14] Steca. *Fronius SOLARIX 900I Manual*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Συνδέσεις

4.1 Εισαγωγή

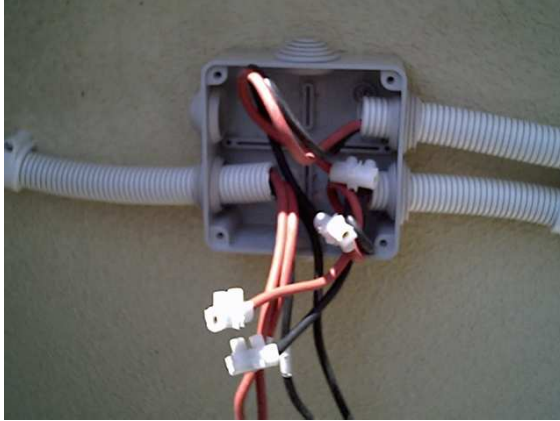
Η ηλεκτρολογική σύνδεση των τμημάτων του υβριδικού συστήματος απαιτεί σωστή σχεδίαση ώστε να αποφευχθούν τυχόν βραχυκυκλώματα που μπορεί να έχουν δυσάρεστα αποτελέσματα. Σημαντικό στοιχείο στην διασύνδεση των συστημάτων είναι η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους καλωδίου. Για το λόγο αυτό αγοράστηκε καλώδιο που υπερκαλύπτει τις ανάγκες του συστήματος καθώς η διατομή του είναι μεγαλύτερη από αυτή που προτείνει ο κατασκευαστής των συσκευών. Τόσο για τις συνδέσεις των Φ/Β, όσο και για την Α/Γ ο κατασκευαστής προτείνει χρήση καλωδίου διατομής 4 mm². Για ακόμα μεγαλύτερη ασφάλεια στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκε πολύκλωνο μονοπολικό καλώδιο διατομής 6 mm² και 8 mm² για τις γειώσεις. Το καλώδιο διαμέτρου 6 mm² επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος μέχρι και 35 Α ποσά που δεν θα περάσουν από την δεδομένη εγκατάσταση. Συνεπώς η διατομή αυτή κρίθηκε ικανοποιητική. Γενικά οι συνδέσεις χωρίστηκαν στις εξωτερικές που αφορούν την σύνδεση Α/Γ και Φ/Β μέχρι τον κεντρικό πίνακα συσκευών και τις εσωτερικές συνδέσεις που αφορούν ασφάλειες, αισθητήρια, συσσωρευτές και συσκευές που ελέγχουν και μετασχηματίζουν το παραγόμενο ρεύμα (ρυθμιστής φόρτισης και μετασχηματιστής).

4.2 Εξωτερικές συνδέσεις

Ξεκινώντας τις εξωτερικές συνδέσεις του υβριδικού συστήματος και αφού στήθηκαν τα Φ/Β και η βάση της Α/Γ, ορίστηκαν τα σημεία που το κύκλωμα θα κόβεται και θα τοποθετείται εκεί υδατοστεγές κουτί ώστε να είναι εύκολος ο έλεγχος και ο εντοπισμός βλαβών καθώς και η αποκατάστασή τους. Τα παραγωγά τμήματα του συστήματος είναι η Α/Γ και τα Φ/Β πάνελ. Ορίστηκε λοιπόν ένα σημείο όπου θα κατέληγαν τα καλώδια και από τα δύο τμήματα και από εκεί θα οδηγούνταν στο εργαστήριο.

Πριν η Α/Γ τοποθετηθεί πάνω στον ιστό και ο ιστός βιδωθεί στο τρίποδο, με τη χρήση κλεμών συνδέσαμε τα καλώδια που εξέρχονται από αυτή με το καλώδιο της εγκατάστασης το οποίο πρώτα είχε περαστεί μέσα σε υδατοστεγή πλαστικό σωλήνα. Η Α/Γ τοποθετήθηκε στην τελική της θέση και στη βάση της όπου εξέρχονται τα καλώδια το κύκλωμα διακόπηκε και τοποθετήθηκε υδατοστεγές κυκλικό κουτί. Τα καλώδια μέσα

από τον υδατοστεγή πλαστικό σωλήνα καταλήγουν στο κεντρικό υδατοστεγές κουτί (σχήμα 66) όπου η στεγάνωση εξασφαλίζεται με ειδικές πλαστικές ροδέλες.

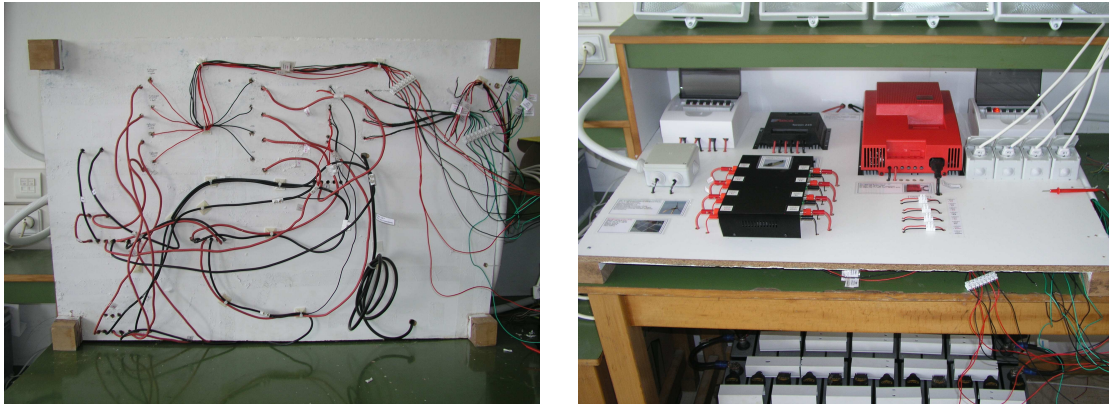


(σχήμα 66) Κεντρικό υδατοστεγές κουτί με τα καλώδια Φ/Β και Α/Γ.

Τα Φ/Β συνδέθηκαν μεταξύ τους με τη χρήση καλωδίων δίνοντάς μας στην έξοδό τους τάση 24V (παρ. 2.2.2). Τα τελικά καλώδια που προέκυψαν από τις μεταξύ τους συνδέσεις περάστηκαν μέσα από πλαστικό σωλήνα και κατέληξαν και αυτά με τη σειρά τους στο κεντρικό υδατοστεγές κουτί. Στη συνέχεια τα δύο ζεύγη καλωδίων, πάντα προστατευμένα μέσα σε υδατοστεγή πλαστικό σωλήνα, έφτασαν στον από κάτω όροφο του κτιρίου και κατέληξαν, διαμέσου μιας οπής στο αλουμίνιο πλαίσιο του παραθύρου, στο εργαστήριο των ΑΠΕ. Η τρύπα που διανοίχτηκε με τρυπάνι μεγάλης διατομής μονώθηκε κατάλληλα με σιλικόνη αποφεύγοντας έτσι την εισροή υδάτων.

4.3 Εσωτερικές συνδέσεις

Στο εσωτερικό του εργαστηρίου τοποθετήθηκαν οι συσσωρευτές, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που αφορά τον έλεγχο και τον μετασχηματισμό του παραγόμενου ρεύματος, οι καταναλωτές καθώς και ο Η/Υ όπου καταγράφονται οι μετρήσεις των αισθητηρίων κατά τη λειτουργία του συστήματος. Για την συναρμολόγηση της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε ένας πίνακας ο οποίος διαμορφώθηκε κατάλληλα. Αρχικά έγινε η χωροθέτηση των συσκευών (σχήμα 67), ασφαλειών και αισθητηρίων και στη συνέχεια ανοίχθηκαν τρύπες όπου χρειαζόταν για την είσοδο και έξοδο των καλωδίων. Το τελικό κύκλωμα σχεδιάστηκε και με βάση το σχέδιο αυτό τοποθετήθηκαν οι συσκευές επάνω στον πίνακα ο οποίος διαθέτει μικρά ξύλινα πόδια για την υπερύψωσή του ώστε στο επάνω μέρος να βρίσκονται οι συσκευές και από κάτω τα καλώδια που τις συνδέουν.

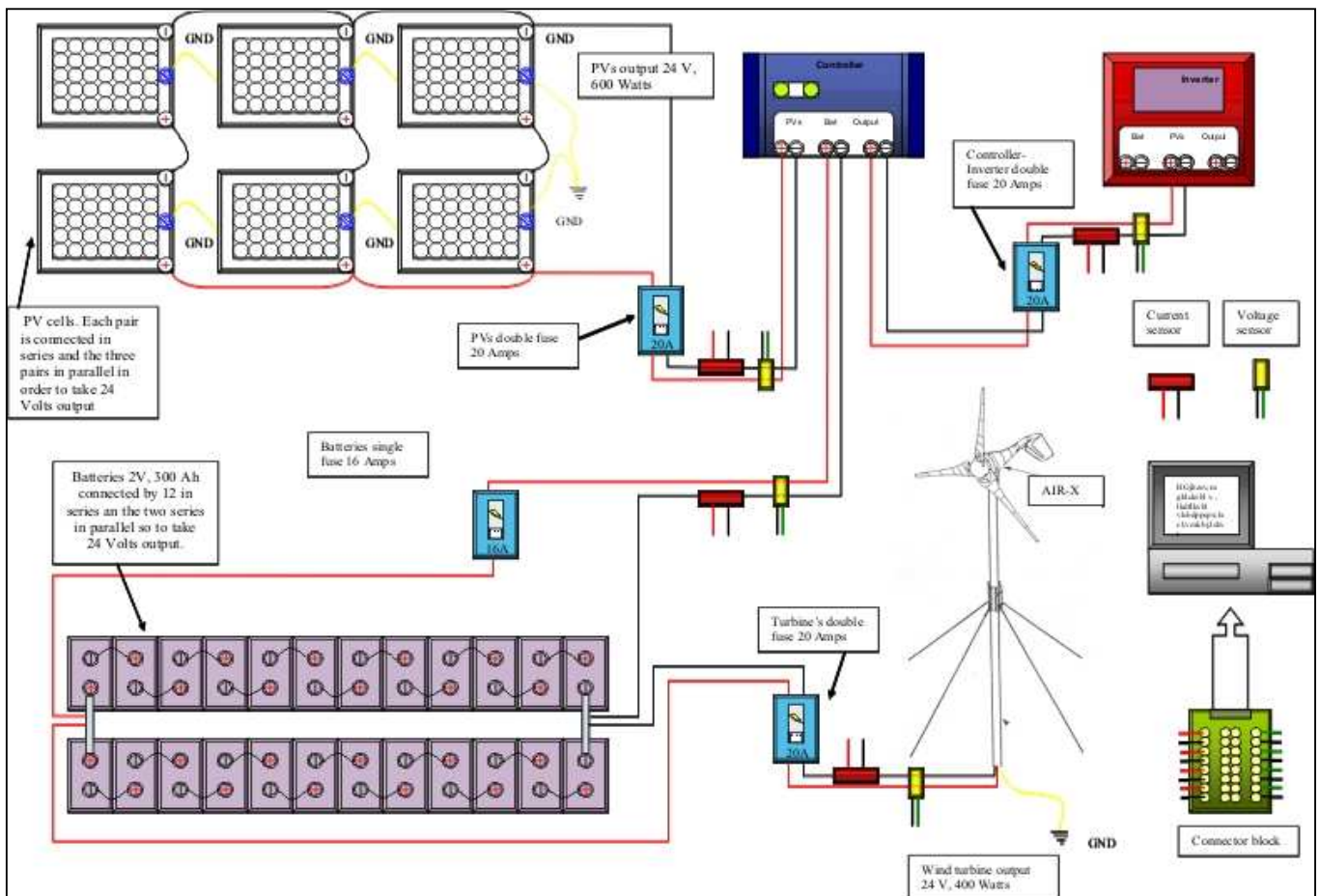


(σχήμα 67) Ο πάγκος με τις συσκευές και τις συνδέσεις στο κάτω μέρος του.

Αρχικά συνδέθηκαν οι συσσωρευτές έτσι ώστε να μας εξασφαλίζουν την επιθυμητή τάση. Για τη σύνδεσή τους χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί σύνδεσμοι από μολύβι, ενώ για την ολική έξοδό τους χρησιμοποιήθηκε καλώδιο πολύ μεγάλης διατομής με ακροδέκτες. Οι συσσωρευτές τοποθετήθηκαν κάτω από τον πάγκο όπου τοποθετήθηκε ο πίνακας με τις συσκευές. Επάνω στον πίνακα τοποθετήθηκαν οι δύο πίνακες με τις ασφάλειες, τα αισθητήρια ρεύματος και τάσης, ο ρυθμιστής φόρτισης και ο μετασχηματιστής. Οι συσκευές ενώθηκαν μεταξύ τους και με τα άλλα τμήματα του συστήματος (Φ/Β και Α/Γ) χρησιμοποιώντας το ίδιο καλώδιο που χρησιμοποιήθηκε και στις εξωτερικές συνδέσεις. Για τα αισθητήρια μόνο, όπου οι τιμές ρεύματος είναι πολύ μικρές, χρησιμοποιήθηκε ψιλό πολύκλωνο μονοπολικό καλώδιο. Τα δε καλώδια που εξέρχονται από τα αισθητήρια καταλήγουν σε μια πλακέτα και από εκεί στον Η/Υ όπου μέσω ειδικού λογισμικού καταγράφει τις μετρήσεις παρατηρώντας έτσι τη λειτουργία του συστήματος.

Το συνολικό κύκλωμα απεικονίζεται παρακάτω (σχήμα 68), όπου εμφανίζονται με κάθε λεπτομέρεια οι συνδέσεις του συστήματος. Επάνω δεξιά βρίσκονται τα Φ/Β όπου η έξοδος περνά από τον ασφαλειοδιακόπτη και καταλήγει στο ρυθμιστή φόρτισης. Κάτω δεξιά βρίσκονται οι συσσωρευτές πάνω στους οποίους συνδέεται απευθείας η έξοδος της Α/Γ μιας και διαθέτει εσωτερικό ρυθμιστή φόρτισης και διόδους επιστροφής ρεύματος. Η ολική έξοδος από την μπαταρία, διαμέσου ασφάλειας και του ρυθμιστή φόρτισης του Φ/Β (η διαδρομή αυτή είναι αμφίδρομη ανάλογα με το αν εισέρχεται ή εξέρχεται ρεύμα),

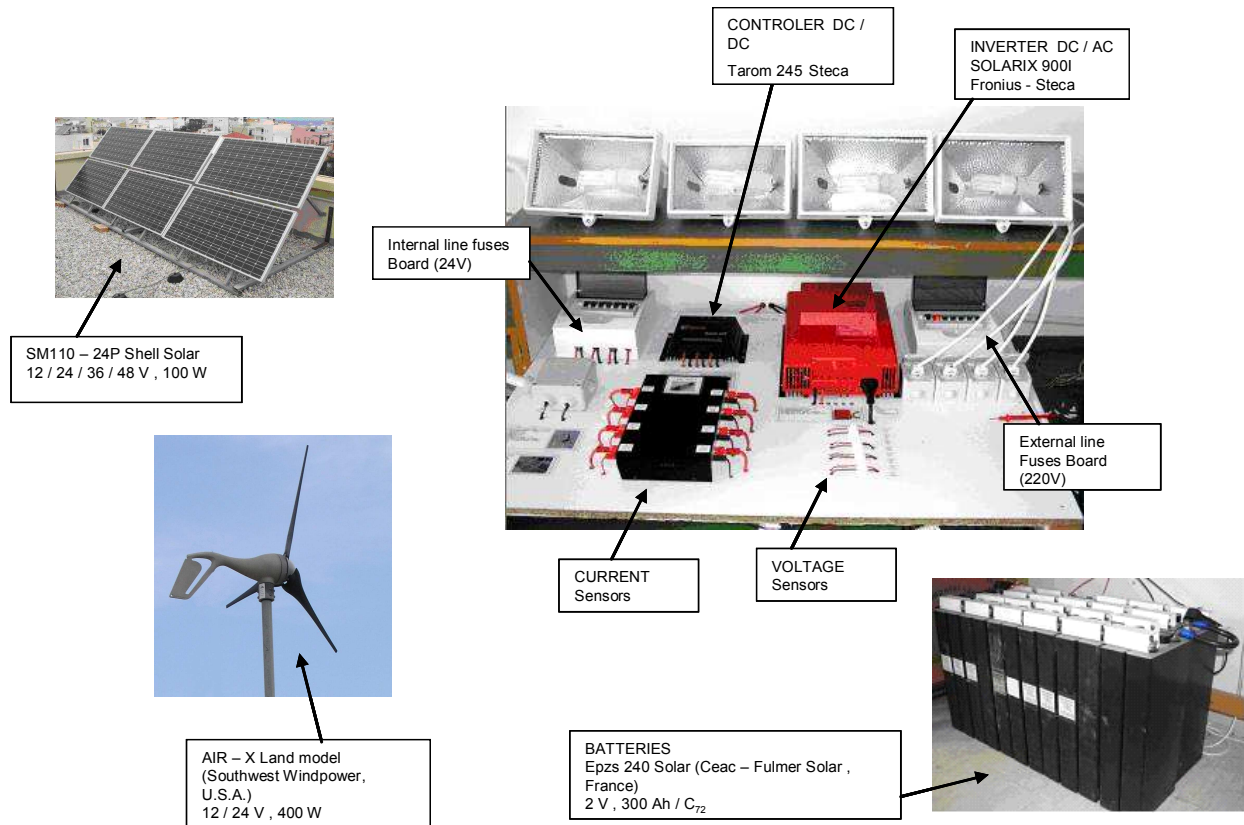
καταλήγει στον μετασχηματιστή ο οποίος μετασχηματίζει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και από εκεί τροφοδοτεί την έξοδο του υβριδικού συστήματος. Τα αισθητήρια (κόκκινα και κίτρινα κουτάκια) παρεμβάλλονται σε επιλεγμένα σημεία και το σήμα τους καταλήγει στον Η/Υ.



(σχήμα 68) Σχέδιο καλωδίωσης του υβριδικού συστήματος Φ/Β – Α/Γ

Παρακάτω (σχήμα 69) εμφανίζονται τα κυριότερα τμήματα του υβριδικού συστήματος και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους, καθώς επίσης και η χωροθέτησή τους εντός του εργαστηρίου.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Φ/Β – Α/Γ



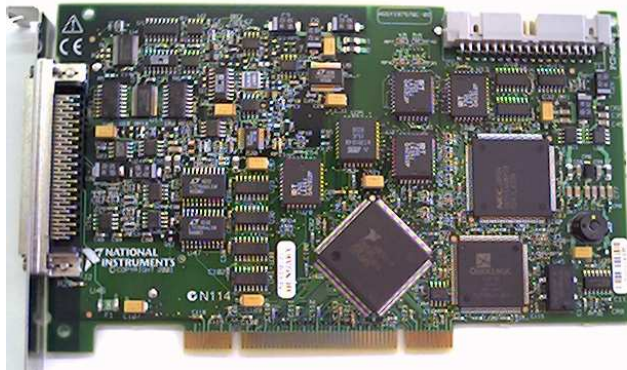
(σχήμα 69) Βασικά τμήματα του υβριδικού συστήματος Φ/Β – Α/Γ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Ηλεκτρονικός εξοπλισμός - λογισμικό ελέγχου και καταγραφής μετρήσεων

5.1 Εισαγωγή

Μετά την ολοκλήρωση του ηλεκτρολογικού κομματιού του υβριδικού συστήματος ακολούθησε το ηλεκτρονικό. Για τον σωστό έλεγχο του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρια που είτε υποβιβάζουν την τάση λειτουργίας (αισθητήρια τάσης), είτε μετατρέπουν το ρεύμα σε τάση μιας και όλες οι κάρτες καταγραφής μετρήσεων διαβάζουν μόνο τάση και όχι ένταση ρεύματος. Για να καταγράφονται οι μετρήσεις του συστήματος από τα επιλεγμένα σημεία, πρέπει το αναλογικό αυτό σήμα να μετατραπεί σε ψηφιακό και μετά να μεταβεί στην κάρτα καταγραφής η οποία βρίσκεται εγκατεστημένη σε κάποιο Η/Υ. Με την χρήση κατάλληλου λογισμικού, οι μετρήσεις που λαμβάνουμε εμφανίζονται στην οθόνη του Η/Υ. Παράλληλα με διάφορες ρυθμίσεις ή χρήση συμβατού λογισμικού μπορούν να αποθηκευτούν ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση του συστήματος.

5.2 PCI κάρτα καταγραφής μετρήσεων



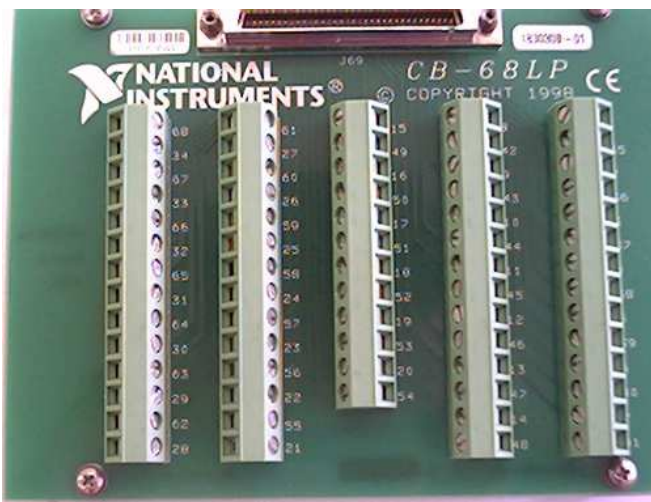
(σχήμα 70) Κάρτα καταγραφής μετρήσεων.

Για την καταγραφή των μετρήσεων τάσης που έχουμε από τα αισθητήρια του συστήματος χρησιμοποιήθηκε μια ειδική PCI κάρτα (σχήμα 70). Η κάρτα είναι της εταιρείας National instruments τύπου 6024E και διαθέτει 8 διαφορεικές (16 απλές) αναλογικές εισόδους των 16bits, 8 ψηφιακά κανάλια I/O και 2 απαριθμητικά. Η κάρτα διαθέτει έναν ανεξάρτητο μικροεπεξεργαστή ο οποίος θέτει σε λειτουργία ένα σύστημα “real time” μετρήσεων απεικονίζοντας έτσι στην οθόνη του Η/Υ τις τιμές που

λαμβάνουμε εκείνη τη στιγμή από τα αισθητήρια. Με την πληθώρα καναλιών που διαθέτει μπορούν να ληφθούν μετρήσεις από διάφορους αισθητήρες (αναλογικό, ψηφιακό ή I/O σήμα), ενώ η λήψη μετρήσεων μπορεί να γίνεται από 50 ns μέχρι μερικά seconds ανάλογα με την δειγματοληψία που θέλουμε να έχουμε [15].

Η κάρτα διατίθεται με το λογισμικό της, μια DAQ κάρτα και το καλώδιο μεταφοράς δεδομένων από την DAQ κάρτα στην PCI στον Η/Υ.

5.3 DAQ κάρτα (connector block)

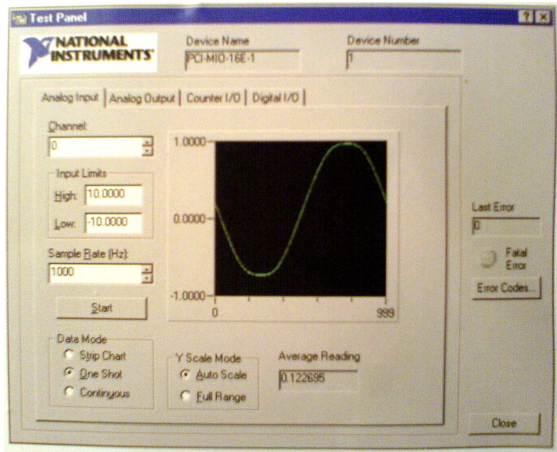


(σχήμα 71) Κάρτα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

Η κάρτα που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό είναι της εταιρείας National Instruments (σχήμα 71). Διαθέτει 68 πινάκια πάνω σε 5 κονέκτορες. Είναι τύπου CB-68LP και διαθέτει πληθώρα καναλιών συμβατά πάντα με την PCI κάρτα όπου και καταλήγουν οι μετρήσεις [15]. Στην λήψη μετρήσεων από τα αισθητήρια χρησιμοποιήθηκαν 8 αναλογικά κανάλια (4 για τα αισθητήρια τάσης και 4 για τα αισθητήρια ρεύματος).

5.4 Λογισμικό ελέγχου μετρήσεων

5.4.1 National Instruments NI-DAQ SOFTWARE



(σχήμα 72) NI-DAQ SOFTWARE.

Παράθυρο εμφάνισης real time μετρήσεων.

National Instruments DAQ Quick Start Guide

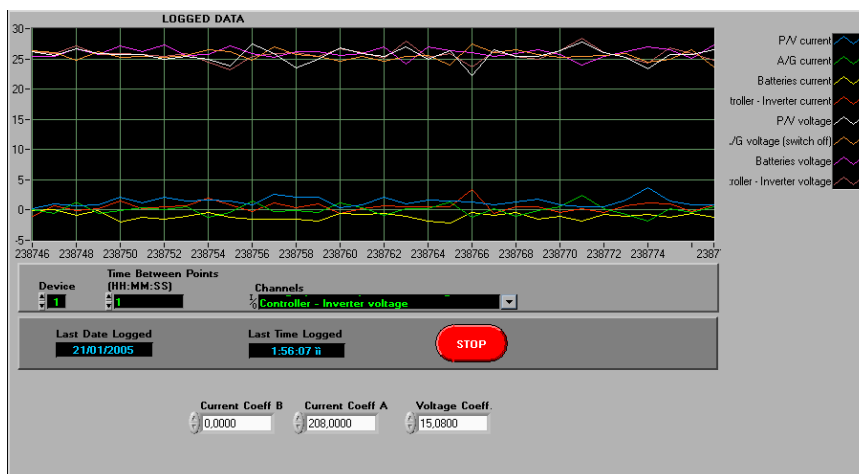
Το λογισμικό που συνοδεύει την PCI κάρτα είναι της ίδιας εταιρίας και διαμέσου αυτού οι μετρήσεις που λαμβάνει η κάρτα εμφανίζονται στην οθόνη του Η/Υ (σχήμα 72). Αφού γίνει η εγκατάσταση του λογισμικού και εντοπιστεί η κάρτα καταγραφής μετρήσεων, ακολουθεί η δημιουργία των καναλιών που θέλουμε να ελέγχουμε μέσω του λογισμικού, η ονομασία τους, ο τρόπος λήψης της μέτρησης, ο χρόνος δειγματοληψίας και το εύρος του σήματος που θα διαβάζει το κάθε κανάλι. Οι τιμές αυτές μπορούν να αλλάξουν και αυτό βοηθά ιδιαίτερα στην λήψη πολύ καλών μετρήσεων ανάλογα με το τι επιθυμούμε να παρατηρήσουμε και να εντοπίσουμε κάθε φορά. Η τιμές των μετρήσεων εμφανίζονται στο ειδικό παράθυρο του προγράμματος ως κυματομορφή που συνεχώς μεταβάλλεται καθώς λαμβάνονται συνεχώς νέες μετρήσεις. Στην δεδομένη περίπτωση το δείγμα μέτρησης αποτελούταν από 1000 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο και στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζεται ο μέσος όρος των τιμών αυτών αποδίδοντάς μας με αυξημένη ακρίβεια την αληθή τιμή τάσης που λαμβάναμε κάθε δευτερόλεπτο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : Κανάλια μετρήσεων

Όνομασία καναλιού	Άνοδος σήματος (+)	Κάθοδος σήματος (-)
P/V current	ACH0 68	ACH8 34
A/G current	ACH1 33	ACH9 66
Batteries current	ACH2 65	ACH10 31
Controller – Inverter current	ACH3 30	ACH11 63
P/V voltage	ACH4 28	ACH12 61
A/G voltage	ACH5 60	ACH13 26
Batteries voltage	ACH6 25	ACH14 58
Controller – Inverter voltage	ACH7 57	ACH15 23

5.4.2 LabVIEW™ SOFTWARE

Το λογισμικό της PCI κάρτας είναι συμβατό και με το λογισμικό LabVIEW™ που λειτουργεί σε συνεργασία με την κάρτα και μπορεί μέσα από διάφορες συναρτήσεις και μεταβλητές να λαμβάνει τις μετρήσεις από την κάρτα και να τις αποθηκεύει σε κάποιο φάκελο που ορίζεται από τον χρήστη. Η δυνατότητα αποθήκευσης μετρήσεων είναι σημαντική για την μετέπειτα αξιολόγηση του υβριδικού συστήματος και είναι μια δυνατότητα που μας παρέχει αποκλειστικά το συγκεκριμένο λογισμικό και όχι εκείνο της ίδιας της κάρτας.



(σχήμα 73) LabVIEW. Παράθυρο εμφάνισης real time μετρήσεων.

Για τους παραπάνω λόγους δημιουργήθηκε στο LabVIEW™ μια φόρμα όπου εμφανίζονται οι μετρήσεις που λαμβάνονται από την κάρτα καθώς και άλλες παράμετροι (σχήμα 73). Στο κέντρο της φόρμας υπάρχει ένα διάγραμμα όπου εμφανίζονται οι κυματομορφές των 8 καναλιών που αντιστοιχούν στα 8 αισθητήρια. Στο επάνω τμήμα του εμφανίζονται τα κανάλια τάσης με τιμές γύρω στα 24 V όπου είναι η τάση λειτουργίας του συστήματος. Στο κάτω μέρος εντοπίζονται τα κανάλια ρεύματος που κινούνται σε πολύ μικρές τιμές γύρω από το μηδέν καθώς οι τιμές ρεύματος είναι πολύ μικρές στο κύκλωμα ανάλογα με τις καταναλώσεις και τις εισροές ρεύματος που μπορεί να έχουμε. Στα δεξιά της φόρμας βρίσκονται τα κανάλια και το χρώμα κυματομορφής στο οποίο αντιστοιχούν, ενώ στο κάτω μέρος της φόρμας υπάρχουν μικρά παράθυρα με πληροφορίες για τα κανάλια, την ώρα και ημερομηνία και το ρυθμό δειγματοληψίας. Τέλος υπάρχουν τρία παράθυρα με τιμές οι οποίες παραπέμπουν σε συναρτήσεις στις οποίες μπαίνουν ως τιμή αγνώστου οι τιμές τάσης που λαμβάνουμε από τα αισθητήρια και έτσι στο διάγραμμα εμφανίζονται οι πραγματικές τιμές τάσης και ρεύματος του συστήματος. Οι τιμές αυτές αποθηκεύονται σε έναν φάκελο για την σωστή αξιολόγηση του συστήματος.

[15] www.ni.com/daq/322072c.pdf (DAQ 6023E/6024E/6025E USER MANUAL)

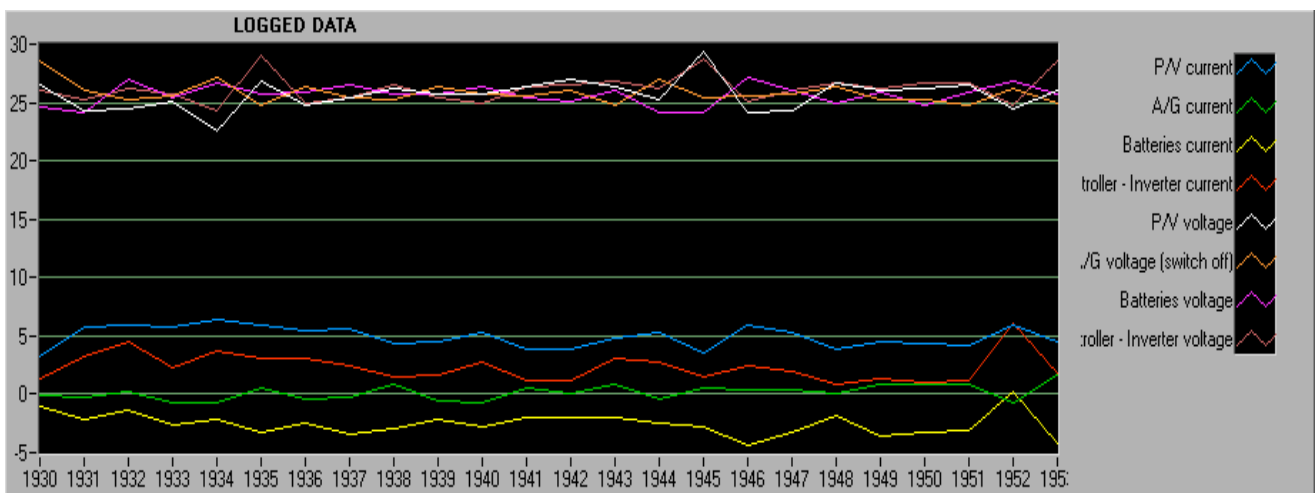
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Πειραματικά αποτελέσματα

6.1 Εισαγωγή

Μετά την εγκατάσταση του συστήματος και αφού επιβεβαιώθηκε η αρμονική λειτουργία όλων των τμημάτων και η συνεργασία μεταξύ τους, ακολούθησε η καταγραφή και αποθήκευση μέσω του λογισμικού LabVIEW™ μετρήσεων που προέρχονται από τα εγκατεστημένα στο κύκλωμα αισθητήρια τάσης και έντασης ρεύματος. Αν και από τα αισθητήρια λαμβάνονται τιμές τάσης (βλέπε κεφ 4), με τη χρήση συναρτήσεων διαμέσου του λογισμικού, η μέτρηση μετατρέπεται στην πραγματική τάση και ένταση ρεύματος που υπάρχει στο σύστημα. Οι τιμές αυτές αποθηκεύονται και παρακάτω παρατίθενται κάποια χαρακτηριστικά διαγράμματα.

6.2 Μετρήσεις

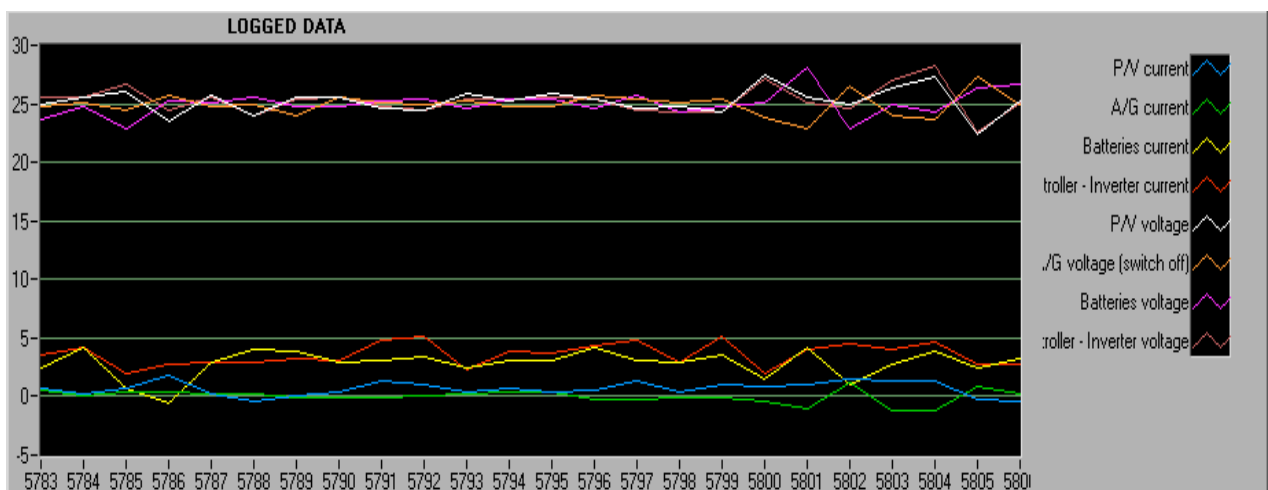
6.2.1 “Real time” μετρήσεις



(σχήμα 74) Τα Φ/Β με το παραγόμενο ρεύμα τροφοδοτούν την κατανάλωση ενώ παράλληλα φορτίζουν τους συσσωρευτές.

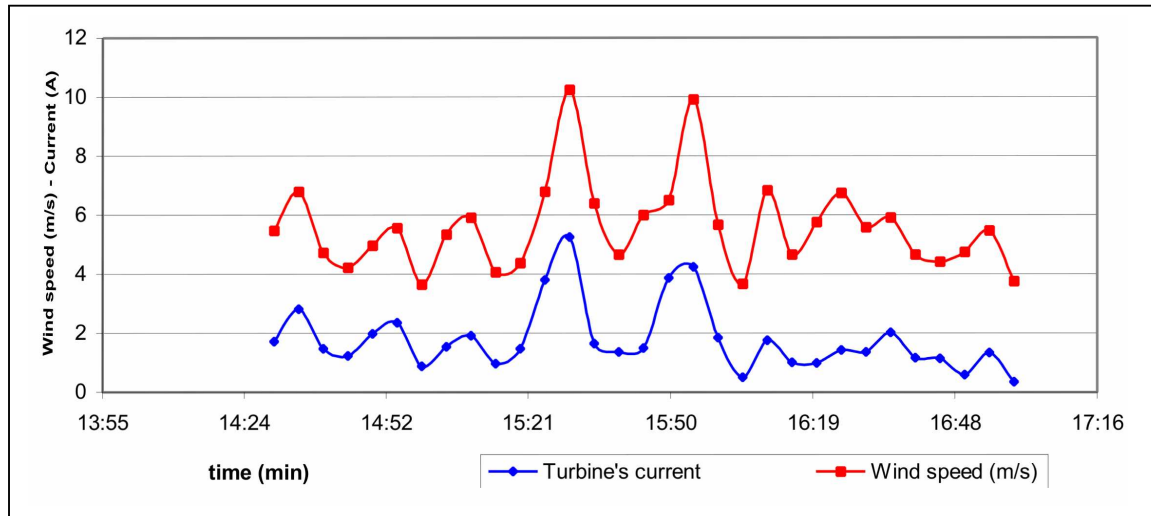
Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 74) εμφανίζονται οι real time τιμές που των αισθητηρίων του κυκλώματος. Η τάση λειτουργίας του συστήματος είναι 24 V και δεν παρουσιάζει παρά μικρές διακυμάνσεις. Για το λόγο αυτό δεν ενδιαφέρει η παρατήρηση

των τιμών τάσεως αλλά της έντασης του ρεύματος. Η δειγματοληψία στο παραπάνω διάγραμμα είναι μία μέτρηση ανά δευτερόλεπτο. Παρατηρώντας τις κυματομορφές της έντασης του ρεύματος, βλέπουμε ότι τα Φ/Β (μπλε γραμμή) παράγουν τη δεδομένη στιγμή ρεύμα εντάσεως περίπου 5 A. Η δε Α/Γ (πράσινη γραμμή), λόγω νηνεμίας, δεν παράγει ρεύμα και γ'αυτό κινείται σε μηδενικές τιμές. Το καταναλισκόμενο ρεύμα (κόκκινη γραμμή) προέρχεται από τη λειτουργία των Φ/Β και είναι περίπου 2,5 A. Παράλληλα το ρεύμα που περισσεύει (2,5 A) φορτίζει τους συσσωρευτές (κίτρινη γραμμή), οπότε λόγω αλλαγής της φοράς του ρεύματος, η φόρτιση των συσσωρευτών εμφανίζεται με αρνητικές τιμές.



(σχήμα 75) Τα Φ/Β και η Α/Γ δεν παράγουν ρεύμα και η κατανάλωση γίνεται από το αποθηκευμένο ρεύμα των συσσωρευτών.

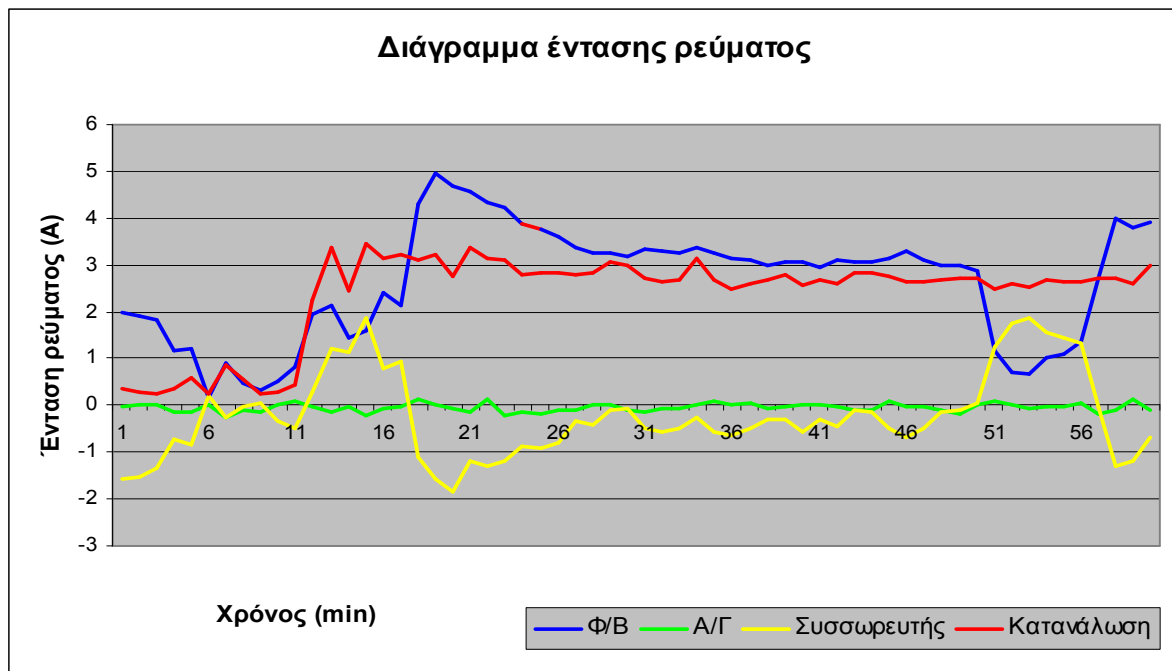
Στην περίπτωση που ούτε τα Φ/Β, λόγω συννεφιάς, ούτε η Α/Γ, λόγω νηνεμίας, παράγουν ρεύμα, αναλαμβάνουν οι συσσωρευτές να καλύψουν την ζήτηση (σχήμα 75) από την αποθηκευμένη σε αυτούς ενέργεια.



(σχήμα 76) Λειτουργία της Α/Γ συγκρινόμενη με την ταχύτητα του ανέμου.

Η Α/Γ του συστήματος αρχίζει να παράγει ρεύμα όταν οι στροφές της ξεπεράσουν τις 500 rpm. Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 76) απεικονίζεται η παραγωγή ρεύματος της Α/Γ σε συνδυασμό με την ταχύτητα του ανέμου τη δεδομένη χρονική στιγμή. Όσο πιο έντονη δραστηριότητα έχουμε από ανέμους που πνέουν στην περιοχή τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που μας παρέχει η Α/Γ αποδεικνύοντας έτσι την αλληλεπίδρασή της με τις καιρικές μεταβολές.

6.2.2 Χαρακτηριστική ώρα

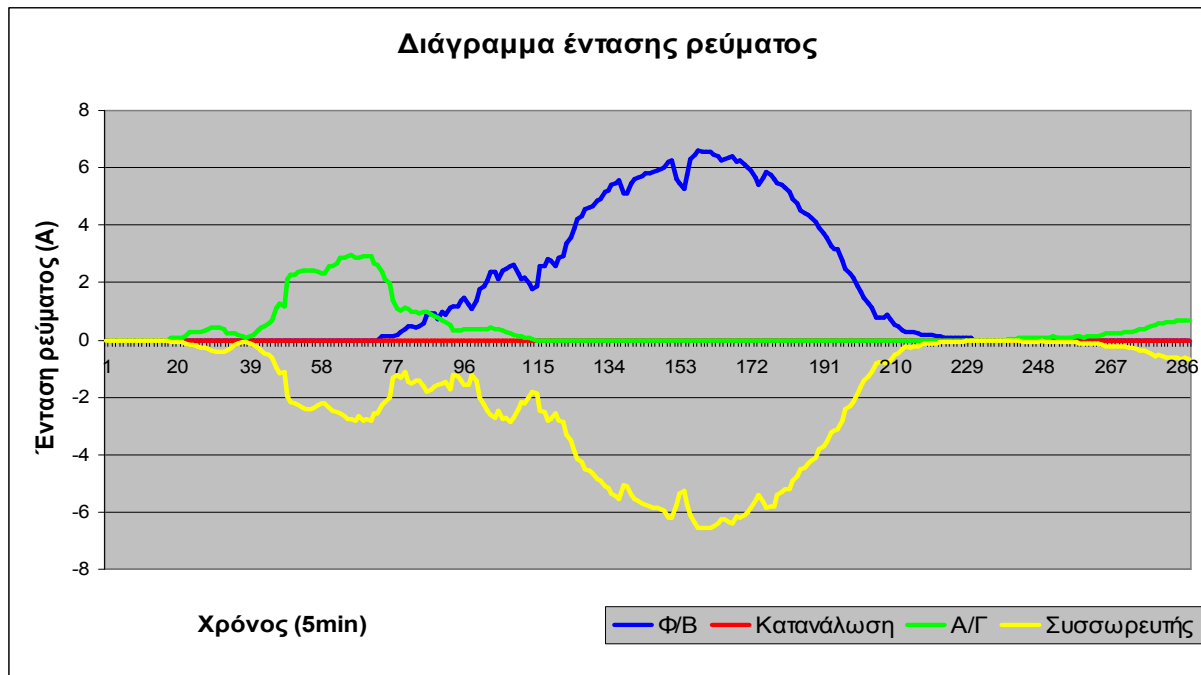


(σχήμα 77) Διάγραμμα χαρακτηριστικής ώρας

Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 77) εμφανίζεται η δραστηριότητα του συστήματος σε μια «χαρακτηριστική ώρα» λειτουργίας του. Η δειγματοληψία στην προκειμένη περίπτωση είναι μία μέτρηση ανά δευτερόλεπτο. Καθώς σε μια ώρα αντιστοιχούν 3600 μετρήσεις πράγμα που είναι ανέφικτο να παρουσιαστεί σε διάγραμμα ενώ περιέχει και πολλές διακυμάνσεις, οι μετρήσεις φιλτραρίστηκαν με κατάλληλα λογισμικά εργαλεία απομακρύνοντας όλες τις ακραίες τιμές, δίνοντάς μας μια καθαρότερη εικόνα λειτουργίας. Παρατηρώντας τις κυματομορφές βλέπουμε ότι η Α/Γ δεν λειτουργεί οπότε η παραγωγή ρεύματος είναι μηδενική, ενώ τα Φ/Β παράγουν ρεύμα αρκετό για να τροφοδοτήσουν τη ζήτηση αλλά και να αποθηκευτεί ενέργεια στους συσσωρευτές. Στα 50 περίπου λεπτά εμφανίζεται μια πτώση του παραγόμενου από τα Φ/Β ρεύματος λόγω κάποιου νεφελώματος στην ατμόσφαιρα. Στο σημείο αυτό οι συσσωρευτές αναλαμβάνουν να καλύψουν τη ζήτηση παρέχοντας όση ενέργεια υπολείπεται. Το παράδειγμα αυτό αποδεικνύει την άμεση ανταπόκριση τόσο των παραγωγικών τμημάτων

στις καιρικές μεταβολές, αλλά και την συνεργασία των τμημάτων του συστήματος καθώς σε κάθε περίπτωση η ζήτηση σε ενέργεια πρέπει να καλυφθεί.

6.2.3 Χαρακτηριστική ημέρα



(σχήμα 78) Διάγραμμα χαρακτηριστικής ημέρας

Στο διάγραμμα μιας «χαρακτηριστικής ημέρας» λειτουργίας (σχήμα 78), αν και δεν υπάρχει κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας, ωστόσο υπάρχει σημαντική παραγωγή. Η δειγματοληψία είναι και πάλι μία μέτρηση ανά δευτερόλεπτο γι'αυτό η χρονοσειρά έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία. Το αποτέλεσμα είναι μια χρονοσειρά 288 5λέπτων που αντιστοιχούν σε χρονική διάρκεια 24 ωρών με έναρξη της χρονοσειράς τα μεσάνυχτα. Κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία τα Φ/Β δεν παράγουν ρεύμα. Καθώς ξημερώνει, γύρω στις 7 – 8 το πρωί (70° – 80° 5λεπτο) τα πάνελ αρχίζουν να παράγουν ρεύμα και η λειτουργία κορυφώνεται τις μεσημβρινές ώρες (2 – 4 το μεσημέρι, 150° – 160° 5λεπτο). Στην φάση αυτή τα Φ/Β παράγουν ρεύμα έντασης που ξεπερνά τα 6 Α. Στη συνέχεια και καθώς πλησιάζει το βράδυ η παραγωγή ρεύματος από Φ/Β μειώνεται και τελικά μηδενίζεται.

Η Α/Γ που αποτελεί το άλλο παραγωγικό τμήμα του υβριδικού συστήματος παρουσιάζει και αυτή σημαντική λειτουργία. Τις πρώτες πρωινές ώρες, πριν ακόμα ξημερώσει, έχουμε έντονη δραστηριότητά της. Η κορύφωση της λειτουργίας της εντοπίζεται στο 50° – 70° 5λεπτο οπότε η ένταση του παραγόμενου ρεύματος φτάνει τα 3 Α. Στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της ημέρας επικρατεί νηνεμία οπότε η Α/Γ παύει να λειτουργεί, ενώ τις βραδινές ώρες αρχίζει και πάλι μια μικρή δραστηριότητα η οποία θα κορυφωθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η κυματομορφή της Α/Γ προσεγγίζει την λειτουργία του μηχανισμού των ανέμων (βλέπε κεφ 1) η οποία είναι εντονότερη κατά τις νυχτερινές ώρες.

Καθώς δεν υπάρχουν συσκευές που να καταναλώνουν την παραγόμενη ενέργεια, αποθηκεύεται στους συσσωρευτές του συστήματος. Κατά την κίνηση του ρεύματος προς τους συσσωρευτές, το πρόσημο είναι αρνητικό και γι'αυτό η φόρτισή τους εμφανίζεται στον αρνητικό ημιάξονα. Τις βραδινές ώρες μετά τα μεσάνυχτα δεν υπάρχει παραγωγή ρεύματος οπότε δεν φορτίζονται οι συσσωρευτές. Κατά την διάρκεια λειτουργίας τόσο της Α/Γ όσο και των Φ/Β παρατηρείται ότι η κυματομορφή των συσσωρευτών είναι σχεδόν αντίστοιχη των παραγωγικών τμημάτων της εγκατάστασης μόνο που βρίσκεται στον αρνητικό ημιάξονα. Στο σημείο μάλιστα που λειτουργούν τόσο τα Φ/Β όσο και η Α/Γ, η κυματομορφή των συσσωρευτών αντιστοιχεί στο άθροισμα του ρεύματος που παράγεται και από τα δύο παραγωγικά τμήματα αποδεικνύοντας έτσι την μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

6.2.4 Αξιολόγηση – Συμπεράσματα

Με την περάτωση των εργασιών γύρω από την εγκατάσταση του συστήματος αλλά και με την εγκατάσταση του λογισμικού ελέγχου και την καταγραφή μετρήσεων από την λειτουργία του, ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος. Τα διαγράμματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις που καταγράφει ο Η/Υ, μαρτυρούν την συνεργασία και ορθή λειτουργία των τμημάτων που απαρτίζουν το σύστημα. Τα Φ/Β και η Α/Γ αποτελούν τα παραγωγικά τμήματα του συστήματος που τροφοδοτούν τους καταναλωτές με ενέργεια. Παράλληλα οι συσσωρευτές αποτελούν την αποθήκη του συστήματος αποθηκεύοντας την ενέργεια η οποία δεν καταναλώνεται.

Από τις πρώτες μέρες λειτουργίας του συστήματος και με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια και πνοή ανέμων), οι συσσωρευτές έφτασαν σε υψηλό επίπεδο φόρτισης. Παρατηρήθηκε ότι τα επιμέρους τμήματα του συστήματος αλληλεπιδρούν μεταξύ τους καλύπτοντας το καθένα τα κενά που δημιουργεί κάποιο άλλο, αποδεικνύοντας πρακτικά την βασικότερη αρχή της υβριδικής τεχνολογίας. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα δεν σταματά ποτέ να διαρέεται από ενέργεια και να ανταποκρίνεται στην ζήτησή της καθώς είτε αυτή παράγεται άμεσα από τα Φ/Β και την Α/Γ, είτε παρέχεται από τους συσσωρευτές στους οποίους καταλήγει όταν δεν καταναλώνεται από κάποια συσκευή. Το συγκεκριμένο σύστημα αποδείχθηκε ότι ανταποκρίνεται πλήρως στις ανάγκες τις οποίες καλείται να καλύψει και οι οποίες είναι ο φωτισμός του εργαστηρίου ΑΠΕ και η λειτουργία κάποιων μικροσυσκευών. Με κατάλληλη διαστασιολόγηση ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να καλύψει ακόμα μεγαλύτερα ποσά ζητούμενης ενέργειας καθιστώντας τον καταναλωτή ανεξάρτητο και αυτόνομο. Τα συστήματα αυτά βρίσκουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές ισχυροποιώντας ακόμα περισσότερο την θέση των ΑΠΕ στην παγκόσμια αγορά ενέργειας συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην μείωση των ρύπων προς το περιβάλλον.

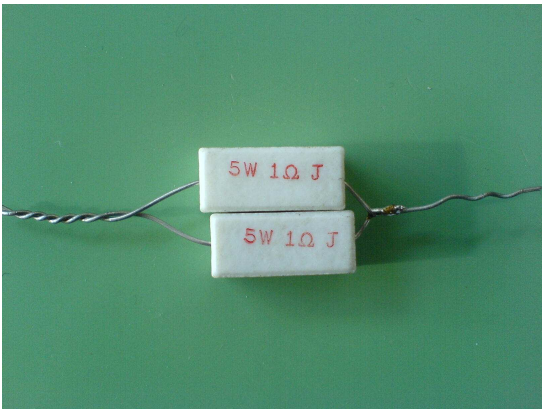
6.3 Προβληματισμοί – μελλοντικές επεκτάσεις

6.3.1 Προβληματισμοί

Αν και υπήρξαν αρκετοί προβληματισμοί σχετικά με τεχνικής φύσεως θέματα που αφορούσαν την θέση εγκατάστασης των παραγωγικών τμημάτων, τον τρόπο σύνδεσής τους, την ασφαλή μεταφορά καλωδίων και άλλα, εντούτοις τα σημαντικότερα προβλήματα αναφέρονται στην αμφίδρομη λειτουργία του λογισμικού καταγραφής των μετρήσεων και των αισθητηρίων. Αν και τα αισθητήρια τάσεως με τιμές μετρήσεων περίπου στα 2 V δεν παρουσίασαν κανένα πρόβλημα και οι τιμές εμφανίζονταν αρκετά σταθερές, δεν συνέβη το ίδιο και με τα αισθητήρια έντασης ρεύματος. Λόγω της πολύ μικρής αντίστασης που διαθέτουν, το σήμα που εξέρχεται είναι πολύ αδύναμο της τάξης των μερικών δεκάδων mV. Συνεπώς με ένα σήμα που είναι 1000 φορές μικρότερο από εκείνο των αισθητηρίων τάσης και με πληθώρα συσκευών που προκαλούν ηλεκτρονικό θόρυβο στο εργαστήριο, δεν ήταν δυνατό να ληφθούν αληθείς και αντικειμενικές

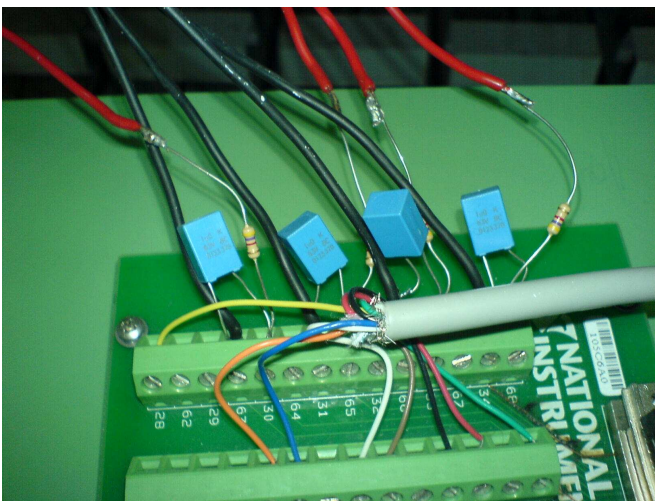
μετρήσεις. Για να διορθωθεί το πρόβλημα θα έπρεπε το σήμα να ενισχυθεί κατά αρκετές εκατοντάδες έως χιλιάδες φορές για να μπορεί να διαβασθεί χωρίς την προσθήκη ηλεκτρονικού θορύβου.

Μελετήθηκαν αρκετές λύσεις γύρω από το θέμα που άλλες αφορούσαν την χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που προγραμματίζονται για να ενισχύσουν το σήμα που δέχεται η κάρτα, ενώ άλλες πιο απλές αφορούσαν την αντικατάσταση της πολύ μικρής αντίστασης των αισθητηρίων ρεύματος με άλλη μεγαλύτερη (σχήμα 79).



(σχήμα 79) Αντιστάσεις χωρητικότητας 1Ω και αντοχής ισχύος 5 W

Ωστόσο καμία από τις παραπάνω λύσεις δεν επέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα και έτσι το σήμα εξακολούθησε να περιέχει αρκετό θόρυβο και συνεπώς να μην μπορούν να ληφθούν μετρήσεις για την αξιολόγηση του συστήματος. Η οριστική λύση στο πρόβλημα προήλθε από την χρήση ειδικών φίλτρων τύπου RC αποτελούμενων από έναν πυκνωτή χωρητικότητας $1\mu\text{F}$ παράλληλα στην έξοδο του σήματος και μια αντίσταση $4,7\text{ K}\Omega$ συνδεδεμένη σε σειρά με τον πυκνωτή (σχήμα 80).



(σχήμα 80) Φίλτρο RC στις εξόδους των αισθητηρίων ρεύματος.

Το φίλτρο αυτό καθάρισε το σήμα από τους ηλεκτρονικούς θορύβους και έτσι χωρίς διακυμάνσεις μέσα από το λογισμικό ενισχύθηκε και απέδωσε τις πραγματικές τιμές ρεύματος που λαμβάνονται από τα αισθητήρια.

6.3.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Υπάρχει πληθώρα τεχνολογιών που μπορούν να λειτουργήσουν στα πλαίσια μια υβριδικής εγκατάστασης. Αυτές μπορεί είναι είτε τεχνολογίες ΑΠΕ, είτε συμβατικές τεχνολογίες καυσίμων:

- Η παρούσα υβριδική εγκατάσταση θα μπορούσε να συνδεθεί με σύστημα αντλιών που με τη βοήθεια μια ειδικά διαμορφωμένης δεξαμενής θα ανέβαζαν το νερό ψηλά αποθηκεύοντας την ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή δυναμικής του νερού. Όταν θα υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση για ενέργεια, αυτή θα καλυπτόταν από την απελευθέρωση του νερού και η καθοδική του πορεία διαμέσου ενός υδροστροβίλου.
- Η σύνδεση του υβριδικού συστήματος με ένα σύστημα κυψελών καυσίμου. Η παραγόμενη από το υπάρχον σύστημα ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτρόλυση του νερού και την συλλογή του υδρογόνου ως καύσιμο μέσα σε ειδικά κατασκευασμένες κυψέλες καυσίμου.
- Η σύνδεση του συστήματος με μια ντιζελογεννήτρια η οποία θα ετίθετο σε λειτουργία όταν το σύστημα θα αδυνατούσε να ανταποκριθεί στις αυξημένες ανάγκες ζήτησης.

Πρακτικά το υβριδικό σύστημα Φ/Β – Α/Γ μπορεί να συνδεθεί με οποιοδήποτε άλλο σύστημα παραγωγής ενέργειας και όλο μαζί να αποτελέσει ένα νέο υβριδικό σύστημα που με τη χρήση κατάλληλων ρυθμιστών θα ανταποκρίνεται σε ακόμη μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις. Συνεπώς θα μπορούσαν να ενσωματωθούν και άλλες τεχνολογίες όπως οι κυψέλες καυσίμου, η γεωθερμία, η υδροδυναμική, η βιομάζα αυξάνοντας έτσι την αυτονομία του καταναλωτή και εξυπηρετώντας όλο και περισσότερες ανάγκες.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η υβριδική τεχνολογία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ στην παροχή άφθονης ανανεώσιμης και καθαρής ενέργειας. Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων τεχνολογιών ενισχύει το σύστημα ενεργειακά ενώ παράλληλα κάθε τεχνολογία καλύπτει τα τρωτά σημεία της άλλης με αποτέλεσμα το σύστημα να διαθέτει πάντα αποθέματα ενέργειας. Η παρούσα πτυχιακή εργασία που αφορά την εγκατάσταση και λειτουργία ενός υβριδικού συστήματος Φ/Β – Α/Γ αποδεικνύει έμπρακτα τα πλεονεκτήματα τέτοιων συστημάτων. Με την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος ο καταναλωτής αποκτά ενεργειακή αυτονομία, ενώ παράλληλα ανεξαρτητοποιείται από το εθνικό δίκτυο της ΔΕΗ ελέγχοντας μόνος του τόσο την παραγωγή, όσο και την κατανάλωση της ενέργειας. Τα πλεονεκτήματα αυτά σε συνδυασμό με το ότι συστήματα που ενσωματώνουν τεχνολογίες ΑΠΕ είναι φιλικά στο περιβάλλον καθώς δεν εκλύουν ρύπους, καθιστούν τα υβριδικά συστήματα πρωτοπόρα στην εξασφάλιση φθηνής, ανανεώσιμης και καθαρής ενέργειας. Ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές και σε νησιά τα συστήματα αυτά μπορούν να καλύψουν μεγάλο μέρος των αναγκών ή ακόμα και να αντικαταστήσουν τις πετρελαϊκές μονάδες που κοστίζουν πολύ περισσότερο σε συντήρηση, λειτουργία και επιδείνωση του περιβάλλοντος.

Τις προσεχείς δεκαετίες αναμένεται ραγδαία αύξηση των αναγκών σε ενέργεια με αποτέλεσμα η ανθρωπότητα να στραφεί σε συστήματα ΑΠΕ. Η επιστημονική κοινότητα ασχολείται με την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων παρουσιάζοντας συνεχώς νέες βελτιωμένες ιδέες. Με αφορμή την σκέψη αυτή και την γενική δραστηριότητα στο χώρο των ΑΠΕ, η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκε τον Ιούλιο του 2005 στο συνέδριο που πραγματοποίησε η παγκόσμια κοινότητα επιστημόνων και μηχανικών (WSEAS) που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα με τίτλο *“Integration and Testing of P/V – A/G Hybrid System in the Technological Educational Institute of Crete’s Building in Chania”* και έτυχε θερμής αντιμετώπισης από το σύνολο των παρευρισκομένων καθώς το μέλλον στην ενέργεια βρίσκεται σε τέτοιου είδους συστήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ:

J. F. Manwell – J. G. McGowan – A. L. Rogers (2002). *Wind Energy Explained*. West Sussex England: John Wiley & Sons Ltd

Godfrey Boyle (1996). *Renewable Energy Power for a Sustainable Future*. The Open University Oxford England : Oxford University Press

David A. Spera (1994). *Wind Turbine Technology*. New York U.S.A.: ASME PRESS

Tony Burton – David Sharpe – Nick Jenkins – Ervin Bossanyi (2001). *Wind Energy Handbook*. West Sussex England : John Wiley & Sons Ltd

Γ. Μπαργελές Καθηγητής Ε.Μ.Π. *Ανεμοκινητήρες*. Αθήνα : Εκδόσεις Συμεών Ο.Ε.

Α.Νεοκλέους – Σ. Π. Κωνσταντινίδη (1999) *Φωτοβολταϊκά Συστήματα* Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.

Ιωάννης Κ. Καδέλλης – Κοσμάς Α. Καββαδίας. (2001). *Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας*. Αθήνα : Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

PAPERS:

Μπέτζιος Γεώργιος (2001) *Ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ στα αυτόνομα δίκτυα*.

REFOCUS, www.re-focus.net (2001) *Micro-Hybrids in Rural China*.

Rajendra Prasadra – E. Natarajan (2005) *Optimization of integrated photovoltaic – wind power generation systems with battery storage*.

Thanaa F. El-Shatter, Mona N. Eskander, Mohsen T. El-Hagry (2005). *Energy flow and managment of a hybrid wind/PV/fuel cell generation system*.

D.B. Nelson, M.H. Nehrir, C. Wang (2005). *Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems.*

Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis (2003) *Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics.*

A.Zahedi (2005). *Solar photovoltaic (PV) energy; Latest developments in the building integrated and hybrid PV systems.*

J.K. Kaldellis, G.Th. Vlachos (2005). *Optimum sizing of an autonomus wind-diesel hybrid system for various representative wind-potential cases.*

MANUALS:

Southwest Windpower. (2002). *AIR-X Land Manual.* U.S.A.

SIEMENS. (2004) *Solar Module SM-100 Manual.* U.S.A.

Steca. *Tarom 245 Manual*

Steca. *Fronius SOLARIX 900I Manual*

ΦΥΛΛΑΔΙΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ:

Enercon (2005). *E-70 Booklet* Bremen Germany : Enercon Gmbh International Dept.

Enercon (2005). *E-48 Booklet* Bremen Germany : Enercon Gmbh International Dept

SCHÜCO International KG, (2004) *PVs Instalation manual.* Germany : Shuco International Dept.

VESTAS (2004). *V-52 Booklet* Denmark : VESTAS International Dept

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ INTERNET:

www.ni.com/daq/322072c.pdf (DAQ 6023E/6024E/6025E USER MANUAL)