



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

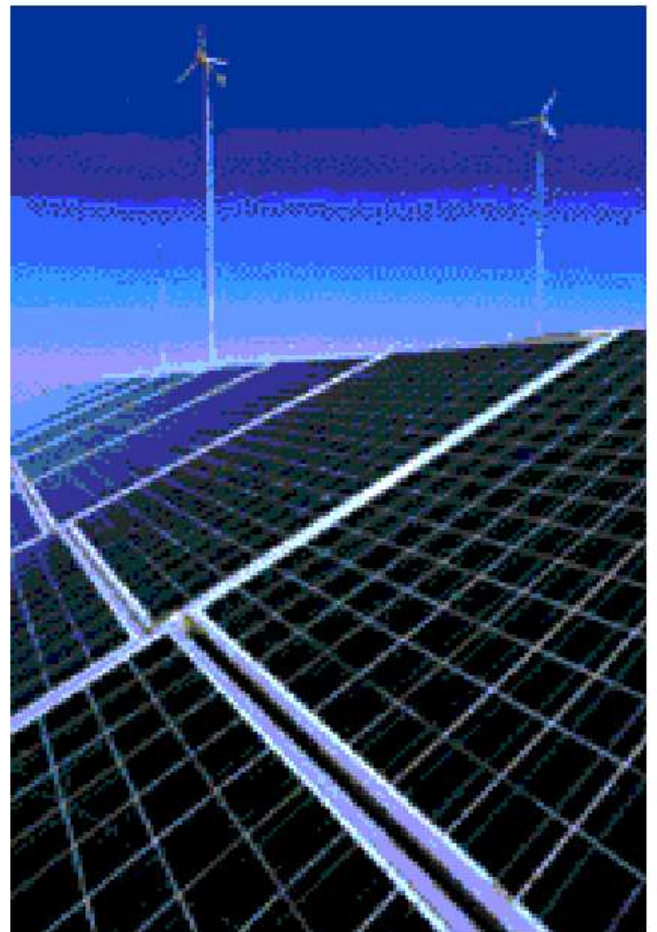
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σπουδαστές :

Γεωργιάδης Γεώργιος

Εισηγητής :

Ιωάννης Φραγκιαδάκης



ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΟ

Θερμά ευχαριστώ τον κ. Γιάννη Φραγκιαδάκη για την επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια υλοποίησης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΟ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	8
ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ :	9
1) Υδατόπτωση.....	9
2) Γεωθερμική ενέργεια	9
3) Βιομάζα	9
4) Αιολική ενέργεια	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
1.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το ΦΒ φαινόμενο	11
1.1.1 Τρόποι εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας.....	11
1.2 Δίοδος p - n	12
1.3 Ημιαγωγοί	12
1.3.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί.....	12
1.3.2 Ημιαγωγοί πρόσμειξης	13
1.4 Θεωρία των ζωνών	13
1.5 Επαφή p – n ημιαγωγών	15
1.6 Ηλεκτρική συμπεριφορά της επαφής p-n	16
1.6.1 Εφαρμογή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης στην επαφή p-n	16
1.6.2 Φορείς πλειονότητας και μειονότητας	16
1.7 Δράση της H-M ακτινοβολίας στην επαφή p-n	17
1.8 Δημιουργία του φωτοβολταϊκού φαινομένου	17
1.9 Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα και στην Κρήτη.....	18
1.10 Αιολική ενέργεια.....	18
1.10.1 Γενικά για την αιολική ενέργεια	18
1.11 Αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής	19
1.11.1 Ανεμολογικές μετρήσεις	19
1.11.2 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού.....	19
1.12 Αιολική ενέργεια και ισχύς του ανέμου	20
1.13 Ταχύτητα ανέμου	20
1.14 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος	21
1.15 Η πυκνότητα του αέρα	21
1.16 Μεταβλητότητα του ανέμου	22
1.17 Το ρόδο του ανέμου	22
1.18 Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	23
1.19 Γενική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στην Κρήτη	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	26
2.1 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο	26
2.1.1 Κατασκευαστικά στοιχεία	26
2.2 Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων	27
2.2.1 ΦΒ πλαίσια συγκεντρωτικού τύπου	27
2.2.2 Επίπεδα ΦΒ πλαίσια με ανακλαστήρες.....	29
2.3 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών.....	29

2.3.1 Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης. Γωνία κλίσης για βέλτιστη ενεργειακή απολαβή συλλέκτη.	30
2.3.2 Στήριξη με δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης του συλλέκτη.	31
2.3.3 Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από ένα ή δύο άξονες.....	31
A) Στροφή γύρω από ένα άξονα.....	31
B) Στροφή γύρω από δύο άξονες.....	31
2.4 Η ονομαστική ισχύς ενός ΦΒ πλαισίου και οι συνθήκες κανονικής λειτουργίας.....	32
2.5 Σημείο λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου κάτω από διαφορετικές πυκνότητες ισχύος φωτός.....	33
2.6 Τρόποι σύνδεσης ΦΒ πλαισίων και τα ΦΒ συστήματα.....	34
2.7 Βασική μορφή ΦΒ τροφοδοσίας.....	35
2.8 Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές.....	37
2.9 Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή.....	37
2.10 Τα ηλεκτρονικά των φωτοβολταϊκών.....	38
2.10.1 Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή.....	38
A) Ελεγκτής φόρτισης για ΦΒ σύστημα.....	39
B) Ελεγκτής φόρτισης για ΦΒ, ΑΓ και Η/Ζ.....	39
2.10.2 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC.....	40
A) Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC – DC)......	40
B) Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη (DC – AC).	41
.....	41
Γ) Μετατροπέας εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές.....	42
2.11 Η ανεμογεννήτρια.....	42
2.11.1 Γενικά για την ΑΓ.....	42
2.12 Κυριότερες κατηγορίες ΑΓ.....	43
2.12.1 ΑΓ οριζοντίου άξονα.....	43
2.12.2 ΑΓ κατακορύφου άξονα.....	44
2.13 Βασικά τμήματα ΑΓ οριζοντίου άξονα.....	46
2.14 Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική.....	49
2.15 Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη ΑΓ.....	51
2.16 Πρότυπη καμπύλη λειτουργίας ΑΓ.....	54
2.17 Προβλήματα στη βιομηχανική κατασκευή των ΑΓ.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	57
3.1 Μεθοδολογία υπολογισμού υβριδικού συστήματος.....	57
3.1.1 Γενικά για τα υβριδικά συστήματα.....	57
3.2 Μεθοδολογία καθορισμού της ονομαστικής ισχύος ΑΓ.....	58
3.3 Διαδοχικά βήματα προσδιορισμού της ονομαστικής ισχύος ΑΓ. Περίπτωση πλήρους κάλυψης φορτίου.....	61
3.4 Μεθοδολογία υπολογισμού των χαρακτηριστικών ενός ΦΒ συστήματος.....	61
3.5 Υπολογισμός της ονομαστικής ισχύος της ΦΒ γεννήτριας.....	63
3.6 Σχεδιασμός υβριδικού ΦΒ συστήματος.....	64
3.7 Ονοματολογία.....	65
3.8 Ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα ΑΠΕ.....	65
3.9 Τοπικά μετεωρολογικά δεδομένα.....	65
3.9.1 Στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας και ανέμου.....	65

3.10 Υπολογισμός των συντελεστών ισχύος, με βάση τα ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης.....	66
3.10.1 Υπολογισμός του συντελεστή ισχύος της ΦΒ συστοιχίας	66
3.10.2 Υπολογισμός του συντελεστή ισχύος της απαιτούμενης ανεμογεννήτριας.....	67
3.11 Βασικές μεθοδολογίες υπολογισμού ενός ΦΒ υβριδικού συστήματος.....	68
3.11.1 ΦΒ υβριδικό σύστημα με ΑΓ και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.....	69
3.11.2 ΦΒ υβριδικό σύστημα, ΑΓ και συσσωρευτής με παρουσία βοηθητικής συμβατικής ενεργειακής πηγής. Μέθοδος ελαχιστοποίησης κόστους κύκλου ζωής του ΦΒ υβριδικού συστήματος (LCC).....	71
3.1.2 Παραδείγματα υπολογισμού ΦΒ συστημάτων	75
Παρακάτω παρουσιάζονται αποτελέσματα βάση ηλιακών και ανεμολογικών δεδομένων με τη μεθοδολογία που αναφέρεται στην επόμενη παράγραφο. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με τα αποτελέσματα μιας δημοσιευμένης εργασίας βάση πάλι της ίδιας μεθοδολογίας και των δεδομένων που μας έδινε αυτή η εργασία.	75
3.12.1 Παράδειγμα ΦΒ υβριδικού συστήματος, ΑΓ και συσσωρευτή χωρίς την παρουσία βοηθητικής συμβατικής ενεργειακής πηγής.	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	78
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΦΒ ΚΑΙ ΑΓ	78
4.2 Επεξεργασία δεδομένων. Έμμεσος και άμεσος υπολογισμός των <ηΦΒ> και <ηΑΓ>.....	81
4.2.1 Υπολογισμός του <ηΦΒ>	81
4.2.2 Υπολογισμός του <ηΑΓ>	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	84
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΦΒ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΑΓΡΟΙΚΙΑΣ ΣΤΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ.....	84
5.1 Περιγραφή της εφαρμογής.....	84
5.1.1 Ενεργειακά δεδομένα της κατοικίας	84
5.1.2 Ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.....	85
5.1.3 Επεξεργασία ηλιακών και ανεμολογικών δεδομένων.....	85
5.1.3.1 Επεξεργασία ηλιακών δεδομένων	86
5.1.3.2 Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων.....	86
5.1.4 Χαρακτηριστικά λειτουργίας ανεμογεννήτριας.....	88
5.1.5 Συγκεντρωτικός πίνακας ηλιακών και ανεμολογικών στοιχείων της περιοχής εγκατάστασης και των πηγών ΑΠΕ καθώς και της μηνιαίες μέσης ημερήσιας ισχύος κατανάλωσης της εφαρμογής.....	89
5.1.6 Οικονομικά δεδομένα	89
5.1.7 Αποτελέσματα υπολογισμού ΦΒ υβριδικού συστήματος	89
5.2 Συμπεράσματα - Σχόλια.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	92

Ηράκλειο 19/5/2004

Προς το τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΓΙΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : “ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ”

Τόπος εκπόνησης: Εργαστήριο φωτοβολταϊκών συστημάτων και
εφαρμογών, «Φωτοβολταϊκό Πάρκο»

Υπεύθυνος: Ιωάννης Φραγκιαδάκης, Καθηγητής ΓΤΘΕ

Σπουδαστής: Γιώργος Γεωργιάδης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται σε φάση σημαντικών αλλαγών. Η διείσδυση του φυσικού αερίου, η κατασκευή των διευρωπαϊκών δικτύων, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας, οι διαπιστούμενες αποκλίσεις από την κατάσταση του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας και τέλος η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τα νέα δεδομένα του. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ιδανική μακροχρόνια λύση για το σύνολο των στόχων του μακροχρόνιου ενεργειακού σχεδιασμού. Η χώρα διαθέτει τεράστιο πλούτο ανεκμετάλλευτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Η προέλευση των κύριων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι από τον ήλιο.

ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το 1994, μετά από μια 10ετία θεσμικής εμπλοκής και πολιτικής αδράνειας, υιοθετήθηκε από τον τότε Υπουργό Ανάπτυξης ένα καινοτόμο και πρωτοπύλο πολιτικό πλαίσιο, ικανό να προωθήσει αποτελεσματικά τη χρήση των ΑΠΕ, ως στοιχείο της πορείας της χώρας προς σύγχρονες μορφές βιώσιμης ανάπτυξης, φιλικής για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει πλήθος μέτρων, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι: ο καθορισμός σταθερών και ικανοποιητικών τιμών, η δέσμευση πλήρους απορρόφησης της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, η άνετη συγχρηματοδότηση των επενδύσεων από εθνικούς και κοινοτικούς πόρους. Επί πλέον, η πολιτεία εγγυήθηκε ότι το πλαίσιο αυτό θα ισχύσει τουλάχιστον για μία 10ετία.

Το θεσμικό και χρηματοοικονομικό πλαίσιο αυτό δηλαδή, της ιδιωτικής επιχειρηματικής δράσης στον τομέα της Ενέργειας στην Ελλάδα, έχει υποστηρίξει την υλοποίηση ενός σημαντικού αριθμού επενδυτικών σχεδίων στις ΑΠΕ και τη μικρή συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Βασικός στόχος της πολιτικής υποστήριξης των πρωτοβουλιών αυτών υπήρξε η ωρίμανση των νέων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας (συμπαραγωγή, τεχνολογίες εκμετάλλευσης ΑΠΕ κ.α.).

Το θεσμικό πλαίσιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) στην Ελλάδα καθορίζεται από το νόμο 2244/94. Ο νόμος αυτός άλλαξε σημαντικά το τοπίο επιχειρώντας να δώσει ισχυρά οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα με την προσέλκυση ιδιωτικών κεφαλαίων. Η βασική κατεύθυνση του ν. 2244/94 εναρμονίζεται με τα μέτρα και τις διατάξεις που ισχύουν σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ε.Ε. με σκοπό την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Τέλος, προετοιμάζεται νέος νόμος, ο οποίος θα ενισχύει όλους τους προηγούμενους, καθώς και την επενδυτική δραστηριότητα των μη κρατικών φορέων.

ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ :

1) Υδατόπτωση

Η υδατόπτωση είναι ένας από τους καλύτερους και συγχρόνως πιο φυσικούς τρόπους παραγωγής μεγάλης ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας με ανανεώσιμη συμπεριφορά. Το μειονέκτημα της υδατόπτωσης είναι ότι έχει περιορισμένη εφαρμογή και σε αρκετές περιπτώσεις με το να δημιουργείται κατάλληλος χώρος εγκατάστασης για την εκμετάλλευση της, καταστρέφει εύφορες εκτάσεις που σχετίζονται με την ύπαρξη του υδάτινου αυτού πλούτου. Καλύπτει περίπου το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

2) Γεωθερμική ενέργεια

Ίσως η πιο ενδιαφέρουσα ανάπτυξη στα ερχόμενα έτη θα είναι στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας. Οι επιστήμονες αρχίζουν ακριβώς να ερευνούν τη δυνατότητα των φυσικών πηγών καυτού ύδατος για την ενεργειακή παραγωγή και η Ελλάδα έχει διάφορες περιοχές που είναι κατάλληλες, συμπεριλαμβανομένων της Μήλου, της Νίσυρου και της βόρειας Ελλάδας. Αυτή τη στιγμή η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας περιορίζεται στις εγκαταστάσεις θέρμανσης περιοχής και τους γεωργικούς σκοπούς, όπως τα θερμοκήπια, ενώ δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

3) Βιομάζα

Σύμφωνα με τη σύμβαση, η παραγωγή βιομάζας αναφέρεται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αλλά το κάψιμο του ξύλου για την οικιακή θέρμανση δεν είναι. Η παραγωγή βιομάζας αποτελεί το μέγιστο μέρος των συμβατικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα. Για την παραγωγή βιομάζας πολλές βιομηχανίες καίνε το γεωργικό υπόλειμμα ή τα δημοτικά απόβλητα για να παραγάγουν τη θερμότητα. Η χρήση των ίδιων των καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια σχετικά νέα ανάπτυξη στην Ελλάδα και οι νέες εγκαταστάσεις βιομαζών αρχίζουν να συνδέονται με το πλέγμα της ηλεκτρικής ενέργειας.

4) Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι επίσης ένας ελπιδοφόρος πόρος στην Ελλάδα. Τα νησιά προσφέρουν τους ιδανικούς όρους για την παραγωγή της δύναμης αέρα, και η τεχνολογία αέρα είναι φτηνότερη από τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα. Τα αιολικά πάρκα έχουν καθιερωθεί στην Κρήτη που είναι απομονωμένη από το πλέγμα ηλεκτρικής ενέργειας των ηπειρωτικών χωρών. Οι εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας εμφανίζονται και σε άλλα νησιά και οι μελέτες προσδιορίζουν τα νησιά του αιγαίου ότι έχουν τους ιδανικούς όρους για την ενεργειακή παραγωγή αέρα.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων ανέρχεται σε ~246 MW, που αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό ποσοστό του δυνατού ενεργειακού αιολικού δυναμικού της χώρας μας. Πάντως, σύμφωνα με τη νομοθεσία, και για λόγους ευστάθειας του δικτύου, τέτοιες εγκαταστάσεις συνδεδεμένες στο δίκτυο ΔΕΗ των νησιών του αιγαίου, μπορούν να καλύπτουν μέχρι το 30% της αντίστοιχα εγκαταστημένης ισχύος της ΔΕΗ.

Οι ιδιωτικοί επενδυτές αρχίζουν να εκμεταλλεύονται τα οικονομικά κίνητρα, που παρέχονται από την ελληνική κυβέρνηση και την ΕΕ, για τη σύσταση των γεννητριών δύναμης. Δεδομένου ότι η παραγωγή του εξοπλισμού στροβίλων αναπτύσσεται στην Ελλάδα, θα υπάρξουν περαιτέρω επιχειρησιακές ευκαιρίες στις εξαγωγές του εξοπλισμού.

Τέλος για την Κρήτη συγκεκριμένα έχουν δοθεί άδειες εγκατάστασης ~100 MW στα πλαίσια των οποίων ήδη λειτουργούν αιολικά πάρκα σε αρκετά μέρη του νησιού.

5) Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

Ενώ η Ελλάδα και ιδιαιτέρως η νότια και νησιωτική περιοχή της, χαρακτηρίζεται ως τόπος υψηλής ηλιοφάνειας, η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται προς το παρόν, κυρίως για τη θέρμανση του ύδατος (30% της ηλιακής θερμικής ικανότητας της ΕΕ βρίσκεται εγκαταστημένο στην Ελλάδα). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με σκοπό να μετατρέψουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια είναι ακόμα σε μικρά σχετικά επίπεδα εξαιτίας του υψηλού κόστους της παραγόμενης κιλοβατώρας ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικά συστήματα υπάρχουν στα νησιά του Αιγαίου και σε μεμονωμένες εσωτερικές εγκαταστάσεις, αλλά η συνολική ικανότητα αυτών των συστημάτων είναι ακόμα μικρή. Δεδομένου ότι η τεχνολογία βελτιώνεται, για τις επόμενες δαπάνες των πέντε έως 10 ετών αναμένεται να μειωθεί το κόστος τους δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για την ηλιακή ηλεκτρική παραγωγή. Το πρώτο φωτοβολταϊκό εγκαταστάθηκε το 1982 στην Αγία Ρουμέλη (Κρήτης) ισχύος 50 kWp. Μέχρι τώρα έχουν εγκατασταθεί 70 φωτοβολταϊκά συστήματα σε 24 νησιά, η χρήση των οποίων έχει παραχωρηθεί στους κατοίκους (η ιδιοκτησία παραμένει στη ΔΕΗ), ενώ τους δόθηκε μαζί και εξοπλισμός, ψυγείο, τηλεόραση και λάμπες χαμηλής κατανάλωσης. Η συνολική ισχύς όλων των φωτοβολταϊκών συστημάτων στη χώρα μας, φτάνει, σήμερα, τα ~2,5 MWp. Είναι εγκατεστημένα σ' όλη την Ελλάδα τόσο στην ηπειρωτική όσο και στα νησιά, όπως: στην Κύθνο, στη Γαύδο, στα Αντικύθηρα, στους Αρκούς, στις Οινούσσες, στη Σαμιοπούλα, στον Άγιο Μηνά, στο Αντίκερι, στο Κάτω Κουφονήσι, στη Δονούσα, στον Κίναρο, στη Λέβιθα, στο Μάραθο, στη Σάρια, στο νησί της Ρω, στη Στρογγύλη, στη Νίμο, στην Αλυμιά, στο Σίσκλι, στην Περιστέρα, στην Κυρά Παναγιά, στα Γιούρα, στη Λήμνο και στον Άγιο Ευστράτιο και φυσικά στην Κρήτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το ΦΒ φαινόμενο

1.1.1 Τρόποι εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Η μέση ετησίως, ημερήσια ενέργεια ανά m^2 , που φτάνει από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι μεταξύ 2-7 kWh/ m^2 η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τις καιρικές συνθήκες, την ημέρα του χρόνου και αρκετές φορές από την κατάσταση της ατμόσφαιρας.

Ο πιο διαδεδομένος σήμερα, τρόπος εκμεταλλεύσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι με θερμοσιφωνικά συστήματα και με φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία θα μας απασχολήσουν περισσότερο, στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Τα πρώτα λειτουργούν με απευθείας θέρμανση μαύρων επιφανειών συλλέκτη στις οποίες εφάπτονται, με καλή θερμική επαφή, σωληνώσεις με νερό το οποίο θερμαίνεται και αποθηκεύεται σε ειδικά θερμομονωμένα δοχεία από τα οποία μετά μπορούμε να πάρουμε αυτό το νερό. Ένας άλλος τρόπος είναι με ανακλαστικές επιφάνειες οι οποίες κινούνται με κινητήρες (ηλιοστατικά συστήματα) έτσι ώστε να συγκεντρώνουν τις ακτίνες του ηλίου σε ένα σημείο, όπου βρίσκεται το θερμικό ρευστό, ενός εργοστασίου.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούν το δεύτερο τρόπο εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, στον οποίο θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στη συνέχεια. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μια δίοδος n-p ημιαγωγού.

Το κύριο πρόβλημα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σήμερα είναι το σχετικά υψηλό κόστος παραγόμενης KWh σε σχέση με αυτό της κιλοβατώρας Δ.Ε.Η. Οπωσδήποτε, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας δίδει τη δυνατότητα κάλυψης, τουλάχιστον μέρους των ενεργειακών αναγκών σήμερα. Αρχίζει επίσης να καταλαμβάνει ένα ρεαλιστικό ποσοστό στην αντικατάσταση ενός μέρους της ενέργειας από συμβατικά καύσιμα και επιπλέον αποτελεί μια οικολογική λύση στο πρόβλημα της ενέργειας σήμερα.

1.2 Δίοδος p - n

Όταν φέρουμε δυο σώματα σε επαφή μεταξύ τους αναπτύσσεται μια τάση που λέγεται τάση επαφής η οποία οφείλεται στο πέρασμα ηλεκτρονίων από το ένα σώμα στο άλλο λόγω της τάσης των φορέων οι οποίοι περνούν σε χώρο όπου έχουν μικρότερη συγκέντρωση. Έτσι δημιουργείται μεταξύ τους ένα ηλεκτρικό πεδίο τόσο ισχυρό που να σταματά η παραπάνω μετακίνηση ηλεκτρονίων.

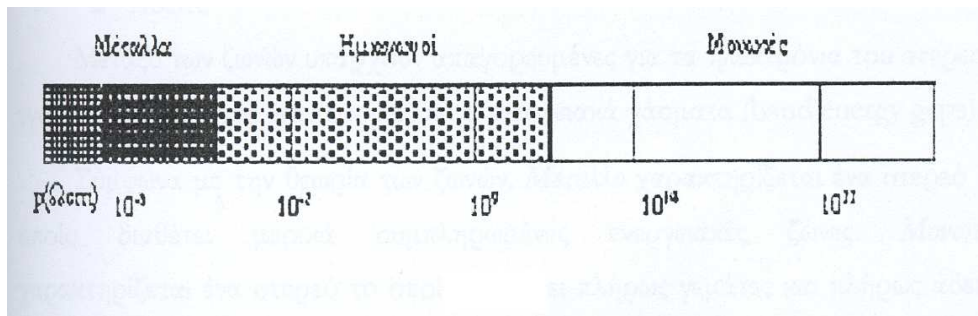
Τα σώματα τα οποία είναι σε επαφή δεν διαρρέονται από ρεύμα. Αν όμως πέσει φως πάνω σε αυτή τη διάταξη τότε δημιουργείται στο εσωτερικό της ηλεκτρικό ρεύμα. Η απορρόφηση του φωτός, προκαλεί φόρτιση των σωμάτων τα οποία είναι σε επαφή και σε μέγεθος τόσο ώστε να μπορεί η διάταξη αυτή να λειτουργήσει ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος με μια ένταση η οποία εξαρτάται από την ροή ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κυρίως, αλλά και από την έκταση και φύση των σωμάτων που την αποτελούν. Ο συνδυασμός τώρα της τάσης στα άκρα της επαφής και της έντασης αυτής δίνουν τέτοια τιμή που μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε αρκετές πρακτικές εφαρμογές.

Η ομοιότητα των ηλεκτρικών συσσωρευτών και του φωτοβολταϊκού στοιχείου έγκειται στο ότι και οι δύο διατάξεις δίνουν ηλεκτρική ενέργεια. Η διαφορά είναι ότι στους ηλεκτρικούς συσσωρευτές η δημιουργία ρεύματος μέσα από εξωτερική αντίσταση οφείλεται στην αλλοίωση των ηλεκτροδίων ενώ στα ΦΒ στοιχεία στην επίδραση του φωτός. Αυτή η μετατροπή του φωτός σε ρεύμα γίνεται με φιλικό τρόπο προς το περιβάλλον και είναι ανεξάντλητη αφού πηγή της ενέργειάς μας είναι ο ήλιος.

1.3 Ημιαγωγοί

1.3.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί

Ένας καθαρός κρυσταλλικός ημιαγωγός ονομάζεται ενδογενής. Διακρίνεται από τα μέταλλα και από τους μονωτές, με βασικό κριτήριο την ηλεκτρική του συμπεριφορά. Σε κανονικές συνθήκες οι μονωτές δεν άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, χαρακτηριζόμενοι από μια ειδική αντίσταση από 10^{14} έως 10^{22} Ωcm. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατάταξη των υλικών ανάλογα με την ειδική τους αντίσταση.



Σχήμα 1

Η ηλεκτρική αντίστασή των ημιαγωγών μειώνεται έντονα με την αύξηση της θερμοκρασίας τους, πράγμα που δείχνει πως, με την θέρμανση, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού αυξάνονται σε πλήθος, ενισχύοντας έτσι την αγωγιμότητά του.

1.3.2 Ημιαγωγοί πρόσμειξης

Μεταξύ των ημιαγωγών αυτοί που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον είναι οι ημιαγωγοί πρόσμειξης, οι οποίοι μέσα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα περιέχουν διασπαρμένα άτομα από επιλεγμένο διαφορετικό υλικό. Τους ημιαγωγούς πρόσμειξης τους χωρίζουμε σε δύο τύπους : τους ημιαγωγούς τύπου n και τύπου p.

Ο ημιαγωγός τύπου n είναι αντικατάσταση μερικών από των ατόμων του με άτομα άλλου υλικού τα οποία έχουν μεγαλύτερο σθένος. Το αποτέλεσμα αυτής της αντικατάστασης είναι να μείνει ένα ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμειξης που δεν συμμετέχει σε δεσμό και όπου στη θερμοκρασία περιβάλλοντος το ηλεκτρόνιο αυτό, εύκολα, με ενέργεια της τάξης των 50meV περίπου, εγκαταλείπει το άτομό του και γίνεται ελεύθερο. Τα άτομα αυτής της πρόσμειξης λέγονται δότες και οι ηλεκτρονικές τους στάθμες βρίσκονται λίγο πιο κάτω από τη ζώνη της αγωγιμότητας.

Αντιστοίχως για τον ημιαγωγό τύπου p οι δότες είναι άτομα με μικρότερο σθένος με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εδώ πέρα οπές. Όπως γίνεται αντιληπτό αντί να αναφερόμαστε στην κίνηση των ηλεκτρονίων σθένους από άτομο σε άτομο, χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη και αρκετά πρακτική εικόνα της οπής. Σύμφωνα με την εικόνα της οπής οι ηλεκτρικοί φορείς ενός ημιαγωγού που μπορούν να συμβάλλουν σε ρεύμα είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας και οι οπές της ζώνης σθένους. Τα άτομα των προσμείξεων αυτών ονομάζονται αποδέκτες και οι ηλεκτρονικές τους στάθμες βρίσκονται αμέσως πάνω από τη ζώνη σθένους.

1.4 Θεωρία των ζωνών

Η ηλεκτρική και οπτική συμπεριφορά των ημιαγωγών εξηγείται μέσα από την εικόνα των ενεργειακών ζωνών των ηλεκτρονίων του στερεού. Σύμφωνα με αυτή οι ενεργειακές ζώνες είναι περιοχές ενέργειας όλων των ηλεκτρονίων του

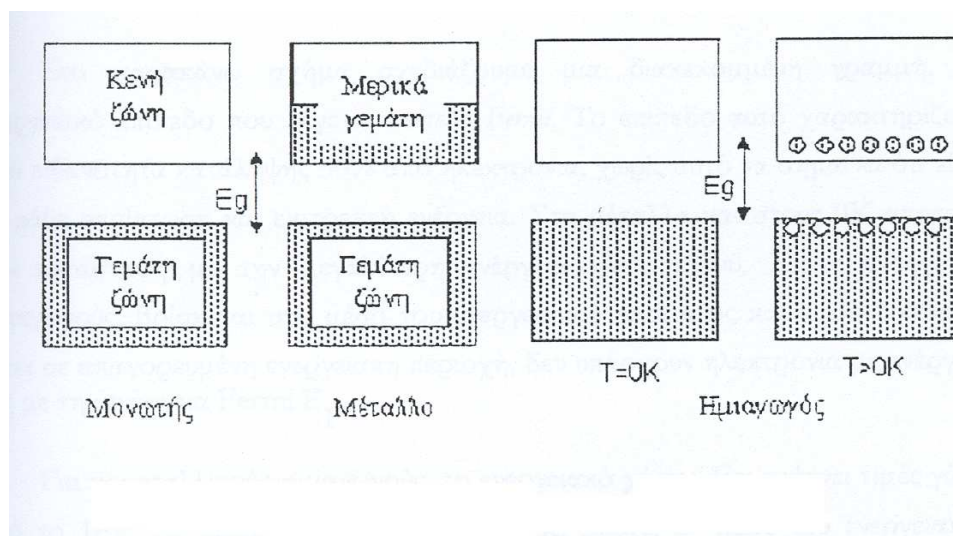
στερεού, μέσα στο δυναμικό πεδίο του συστήματος των δομικών λίθων του. Οι ενεργειακές ζώνες θα μπορούσαν να θεωρηθούν διαπλατυσμένες ενεργειακές στάθμες όταν πολλά άτομα έρχονται το ένα κοντά στο άλλο έτσι ώστε να δημιουργηθεί το στερεό. Σε ένα απομονωμένο άτομο δηλαδή οι ενεργειακές στάθμες του ηλεκτρονίου είναι το αντίστοιχο των ενεργειακών ζωνών.

Η κάθε ενεργειακή ζώνη τώρα αποτελείται από ενεργειακά επίπεδα, τα οποία τα ηλεκτρόνια μπορούν να κατέχουν, αρκετά κοντά μεταξύ τους έτσι ώστε η ζώνη να μοιάζει συνεχής. Οι ζώνες που υπάρχουν είναι οι παρακάτω :

- A) Ζώνες πλήρως κατειλημμένες από ηλεκτρόνια
- B) Μερικά κατειλημμένες ζώνες
- Γ) Άδειες ζώνες

Μεταξύ των ζωνών αυτών υπάρχουν ενεργειακές περιοχές που είναι απαγορευμένες για τα ηλεκτρόνια του στερεού και ονομάζονται ενεργειακά χάσματα.

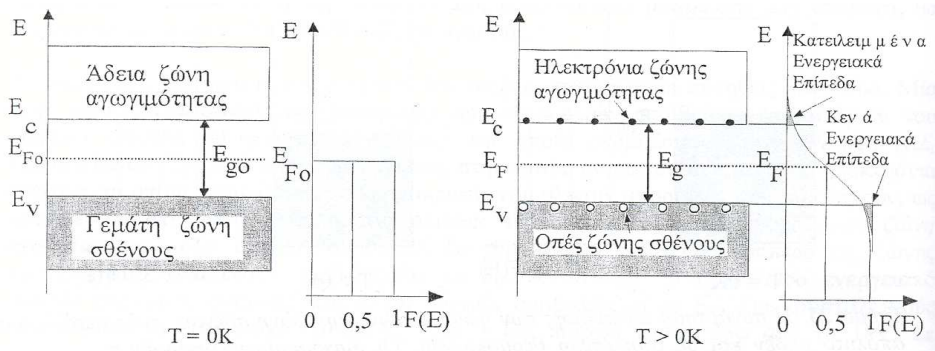
Σύμφωνα με τη θεωρία των ζωνών, μέταλλο χαρακτηρίζεται ένα στερεό που διαθέτει μερικά συμπληρωμένες ενεργειακές ζώνες. Μονωτής ονομάζεται ένα στερεό το οποίο διαθέτει πλήρως γεμάτες και πλήρως άδειες ζώνες. Ημιαγωγός ονομάζεται ένα στερεό το οποίο κοντά στο απόλυτο μηδέν διαθέτει ζώνες γεμάτες από τις οποίες η υψηλότερη βρίσκεται σε μικρή ενεργειακή απόσταση από την επόμενη άδεια δημιουργώντας έτσι ελεύθερα ηλεκτρόνια.



Σχήμα 2 : Ενεργειακές ζώνες στις διάφορες κατηγορίες σωμάτων

Συνήθως, από τις ζώνες που αντιστοιχούν σε ένα στερεό σχεδιάζονται μόνο δύο. Στην μια εντάσσονται τα ηλεκτρόνια των εξωτερικών στοιβάδων των ατόμων του στερεού, δηλαδή τα ηλεκτρόνια σθένους και την οποία ονομάζουμε ζώνη σθένους. Η επόμενη ζώνη στην οποία εντάσσονται τα ηλεκτρόνια σθένους τα οποία μπορούν να συμμετάσχουν ως ελεύθερα σε δεδομένη θερμοκρασία του υλικού ονομάζεται ζώνη αγωγιμότητας.

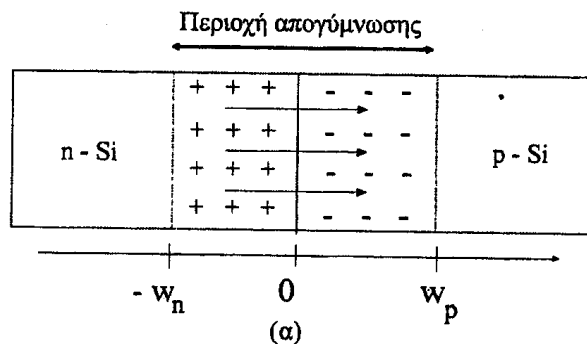
Στο σχήμα 3 διακρίνουμε το ενεργειακό χάσμα E_g και το επίπεδο Fermi το οποίο είναι ενεργειακό επίπεδο και σημειώνεται με μια διακεκομμένη γραμμή. Αυτό το επίπεδο χαρακτηρίζεται από πιθανότητα κατάληψης 50% από ηλεκτρόνια.



Σχήμα 3 : Ζώνες σθένους και αγωγιμότητας ενός ενδογενούς ημιαγωγού. Το επίπεδο Fermi $E(0)$, του ενδογενούς ημιαγωγού, στην κατάσταση $T = 0\text{ K}$ βρίσκεται στο μέσον του ενεργειακού χάσματος. Σε θερμοκρασία $T > 0\text{ K}$, μερικά ηλεκτρόνια μεταβαίνουν, στην ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας κενές θέσεις (οπές) στη ζώνη σθένους. Η ενέργεια Fermi του ενδογενούς έχει αλλάξει σε $E_i(T)$.

1.5 Επαφή p – n ημιαγωγών

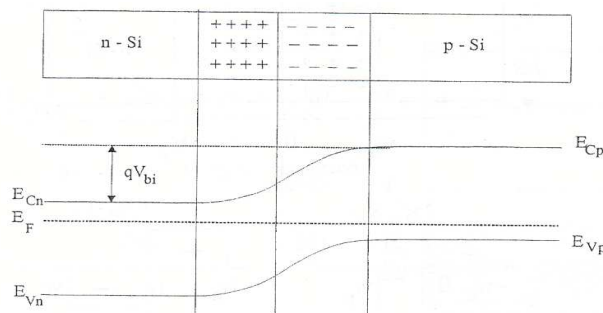
Το φαινόμενο της διάχυσης λαμβάνει χώρα όταν δύο ημιαγωγοί, ο ένας τύπου n και ο άλλος τύπου p του ίδιου κυρίως υλικού έρθουν σε επαφή με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια από το n να μεταβαίνουν στον ημιαγωγό p. Με τη διάχυση το αποτέλεσμα είναι στο τμήμα n, εκεί δηλαδή όπου έφυγαν τα ηλεκτρόνια, παραμένουν θετικά φορτισμένα ιόντα. Συγχρόνως, οπές του χώρου p περνούν με διάχυση στην άλλη μεριά δημιουργώντας στον χώρο που αφήσανε, ακάλυπτα αρνητικά στοιχεία. Έτσι έχουμε μια εικόνα όπου από τη μια μεριά της επιφάνειας επαφής υπάρχουν θετικά ιόντα, ενώ από την άλλη αρνητικά.



Σχήμα 4 : Επαφή ημιαγωγών τύπων n και p

Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η λεγόμενη περιοχή φορτίων χώρου ή περιοχή απογύμνωσης. Παρακάτω φαίνεται ένα σχήμα όπου η στάθμη Fermi, στη

Θερμοδυναμική ισορροπία, βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο σε όλη την έκταση των δύο ημιαγωγών.



Σχήμα 5 : Διάταξη ενεργειακών ζωνών όταν δεν εφαρμόζεται τάση στα άκρα της επαφής p – n. Η στάθμη Fermi στη θερμοδυναμική ισορροπία βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο σε όλη την έκταση των δύο ημιαγωγών.

Αποτέλεσμα αυτής της επαφής είναι η δημιουργία μιας τάσης επαφής V_{bi} , η οποία ανάλογα με το υλικό και τις συγκεντρώσεις, κυμαίνεται γύρω από το 1V.

Αυτή η τάση δεν μπορεί να μετρηθεί με βολτόμετρο, επειδή με τη σύνδεση του βολτομέτρου εισάγουμε νέες επαφές δημιουργώντας βρόχο όπου η ΗΕΔ είναι μηδέν, οπότε και το ρεύμα. Η τάση αυτή μετράται έμμεσα υπολογίζοντας τη χωρητική συμπεριφορά της περιοχής απογύμνωσης.

1.6 Ηλεκτρική συμπεριφορά της επαφής p-n

1.6.1 Εφαρμογή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης στην επαφή p-n

Η προηγούμενη διάταξη ονομάζεται επαφή p-n και έχει ως βασικό χαρακτηριστικό την ιδιότητα του να άγει ρεύμα όταν εφαρμόζεται στα άκρα ηλεκτρικής τάσης κατά την μία ή την άλλη φορά, με διαφορετική ένταση σε κάθε περίπτωση. Κατά την πόλωσή της στην ορθή φορά, όταν δηλαδή ο θετικός πόλος της πηγής συνδέεται με την μεριά του ημιαγωγού p και ο αρνητικός με τη μεριά του ημιαγωγού n, το ρεύμα παίρνει όλο και πιο μεγάλες τιμές, όσο αυξάνεται η τάση.

Κατά την ανάστροφη φορά τώρα, το ρεύμα παίρνει μικρότερες τιμές ρεύματος από πριν με σχεδόν σταθερή τιμή και ονομάζεται ρεύμα κόρου.

1.6.2 Φορείς πλειονότητας και μειονότητας

Φορείς πλειονότητας ονομάζουμε τα ηλεκτρόνια στην περιοχή τύπου n ενώ φορείς μειονότητας ονομάζουμε τις σπές που δημιουργούνται στο χώρο αυτό, που δημιουργήθηκαν κατά τη θερμική γένεση ζευγών ηλεκτρονίων-οπών ή κατά

τη διάχυση των φορέων πλειονότητας προς τους απέναντι χώρους. Στην περιοχή τύπου n δηλαδή, οι οπές αποτελούν τους φορείς πλειονότητας και τα ηλεκτρόνια τους φορείς μειονότητας. Αντιστοίχως συμβαίνει το ίδιο και για την περιοχή τύπου p. Όταν τώρα δεν εφαρμόζεται τάση στα άκρα της επαφής p-n, ο φραγμός του ηλεκτρικού πεδίου της περιοχής απογύμνωσης, αποκόπτει το πέρασμα των ηλεκτρονίων με διάχυση από την περιοχή n στην περιοχή p και των οπών, κατά την αντίστροφη κατεύθυνση.

1.7 Δράση της H-M ακτινοβολίας στην επαφή p-n

Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε το φαινόμενο κατά το οποίο όταν σε μια δίοδο p-n εφαρμοστεί ηλιακή ακτινοβολία και παρουσιάζεται σε αυτή κάποια λειτουργία, θα πρέπει να εισάγουμε την έννοια του φωτονίου. Το φωτόνιο είναι το ελάχιστο ποσό ενέργειας που εκπέμπεται κατά τις ενεργειακές μεταβολές των ηλεκτρικών διπολικών ταλαντωτών της ύλης, σε κάθε συχνότητα ν και συγχρόνως το ελάχιστο ποσό ενέργειας ηλεκτρομαγνητικού κύματος συχνότητας ν . Η ενέργεια του φωτονίου δίνεται από την σχέση $E=h \cdot \nu$ όπου h η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα της ακτινοβολίας.

Μια δέσμη φωτός αποτελείται από κύματα διαφόρων συχνοτήτων και το κάθε ένα από αυτά τα κύματα αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό φωτονίων τα οποία έχουν την αντίστοιχη συχνότητα.

Αν η ενέργεια ενός φωτονίου ισούται με το ενεργειακό χάσμα E_g , τότε γίνεται απορρόφησή του από ένα ημιαγωγό του οποίου το χάσμα καλύπτεται από το συγκεκριμένο φωτόνιο. Επίσης δημιουργείται ένα ζεύγος ελεύθερου ηλεκτρονίου – οπής. Στην περίπτωση τώρα που το φωτόνιο έχει μεγαλύτερη ενέργεια από το ενεργειακό χάσμα, το φωτόνιο απορροφάται δημιουργώντας το παραπάνω ζεύγος και επιπλέον το ποσό της ενέργειας, αποδίδεται από τους δημιουργούμενους φορείς στο πλέγμα του κρυστάλλου αυξάνοντας την θερμοκρασία του.

1.8 Δημιουργία του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Είναι γνωστό ότι ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μια επαφή p-n που μετατρέπει απ' ευθείας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι παραγόμενοι φορείς του φωτός, παράγονται μέσα αλλά και κοντά στη επαφή των ημιαγωγών και το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να μετακινηθούν στη μεριά του ημιαγωγού τύπου n και τις οπές στην αντίθετη μεριά, δηλαδή στη μεριά του ημιαγωγού τύπου p. Αυτά τα άκρα των ημιαγωγών τώρα τροφοδοτούνται από το φως με φορτία αντίθετου πρόσημου, έτσι ώστε να έχουν ένα ρυθμό ο οποίος να διατηρεί ισχυρό ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα.

Ο συνδυασμός του ενδογενούς ηλεκτρικού πεδίου και του φωτός παράγει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο :

Επαφή p – n +φως = Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η βασική προϋπόθεση τώρα για τη δημιουργία ηλεκτρικής τάσης στις άκρες της επαφής p – n είναι να δημιουργηθούν ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων – οπών, να κατορθώσουν να φτάσουν στους χώρους όπου υπερτερούν οι αντίστοιχοι φορείς.

Αυτά τα ζεύγη δημιουργούνται σε όλο το χώρο των σε επαφή ημιαγωγών με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι θερμικά και ο δεύτερος είναι με τη δράση φωτός κατάλληλου μήκους κύματος. Αρκετά από αυτά τα ζεύγη που δημιουργούνται στην περιοχή της επαφής αλλά και έξω από αυτήν αλλά πολύ κοντά στις περιοχές τύπου n και p είναι τα μόνα που έχουν μεγάλες πιθανότητες να φτάσουν σε περιοχές όπου υπάρχουν όμοιοι φορείς.

Έτσι από τη στιγμή που έχουμε δημιουργία ευκίνητων ηλεκτρικών φορέων στην περιοχή της απογύμνωσης, το ενδογενές ηλεκτρικό πεδίο τους επηρεάζει με ισχυρές ηλεκτρικές δυνάμεις με αποτέλεσμα να ωθούνται οι φορείς σε περιοχές όπου συναντάνε όμοιους τους φορείς και να συμπεριφέρονται ως φορείς πλειονότητας. Οι φορείς αυτοί, έτσι, φορτίζουν τους χώρους στους οποίους φτάνουν με φορτίο αντίστοιχο με το δικό τους δημιουργώντας μια τάση στα άκρα των δύο ημιαγωγών. Όλη η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

1.9 Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα και στην Κρήτη

Στην Ελλάδα η εγκαταστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι περίπου 2,5 MW_p και βρίσκονται διασπαρμένα σε αρκετές περιοχές και κυρίως νησιωτικές. Τα συστήματα που έχουν εγκατασταθεί αποτελούνται από μικρούς ΦΒ σταθμούς σε συνεργασία με αιολικά συστήματα και diesel, όπως στην Κύθνο όπου η εγκατεστημένη ισχύς είναι 100 KW_p, στο νησί της Γαύδου όπου υπάρχει εγκατεστημένη ισχύς 30 KW_p, καθώς και ΦΒ αντλητικά συστήματα σε διάφορα άλλα νησιά. Μικρής ισχύς ΦΒ συστήματα τροφοδοτούν επίσης αυτόνομης λειτουργίας φάρους.

Στην Κρήτη έχουν ήδη τεθεί σε δοκιμαστική λειτουργία ΦΒ ψυγεία, πρόψυξης γάλακτος, σε κτηνοτροφικές περιοχές όπως στον Πρασέ Χανίων, όπου υπάρχει εγκατεστημένη ισχύς 8 KW_p. Μέχρι το 1991 βρισκόταν σε λειτουργία στην Αγία Ρούμελη, κοντά στα Σφακιά, ο πρώτος στην Ευρώπη πιλοτικός ΦΒ σταθμός με ισχύ 50 KW_p υπό την ευθύνη της ΔΕΗ, αλλά το 1993 αποσύρθηκαν οι εγκαταστάσεις του.

Συγκεκριμένα στην Κρήτη, το ΤΕΙ Κρήτης και το Πανεπιστήμιο Κρήτης, δημιούργησαν ένα εξειδικευμένο εργαστήριο, με στόχο την ανάπτυξη και προώθηση της ΦΒ τεχνολογίας και των εφαρμογών της, με το όνομα "Φωτοβολταϊκό Πάρκο" το οποίο λειτουργεί από το 1992 και περιλαμβάνει εργαστηριακές εγκαταστάσεις και ΦΒ πεδίο με ισχύ περίπου 7 KW_p.

1.10 Αιολική ενέργεια

1.10.1 Γενικά για την αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζουμε την κινητική ενέργεια του ανέμου η οποία οφείλεται κυρίως στην θέρμανση της γης από τον ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε αιολική υπολογίζεται περίπου στο 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη Γη. Αυτή με τη σειρά της υπολογίζεται σε 3,6 δις MW.

Η συνολική ισχύς αιολικής ενέργειας σε όλη τη Γη υπολογίζεται σε, περίπου 10^{14} KW και με εκτιμώμενη κινητική ενέργεια περίπου 10^{17} GWh ετησίως. Με πλήρη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού μπορούμε να έχουμε ετήσια παρεχόμενη ενέργεια από τον άνεμο περίπου στα 10^{16} GWh.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας ξεκινάει από τα πολύ παλιά χρόνια. Για αρκετά εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου σαν κινητήρια μηχανή εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του αιώνα μας. Την ίδια περίοδο απλώνονται συστηματικά τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός. Το πετρελαϊκό κραχ του 1970 ξαναφέρει στο προσκήνιο τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και φυσικά την αιολική ενέργεια. Σε αυτό το διάστημα μέχρι σήμερα έχουμε μια αλματώδη ανάπτυξη αυτών των μορφών ενέργειας κάτι που εξηγείται με το γεγονός ότι γίνεται επιτακτική ανάγκη η προστασία του περιβάλλοντος.

Είναι κοινή ελπίδα το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια θα αποτελέσει το εφελύκιο για τη μεγαλύτερη διείσδυση όλων των μορφών των Α.Π.Ε. στα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των κρατών, έτσι ώστε να επωφεληθούμε των πλεονεκτημάτων τους.

Γενικά η αιολική ενέργεια είναι η πιο διαδεδομένη μορφή παραγωγής ενέργειας με Α.Π.Ε. παγκοσμίως λόγω του γεγονότος ότι παρουσιάζει μεγαλύτερα πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις άλλες μορφές ενέργειας από τεχνολογική και οικονομική πλευρά.

1.11 Αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής

Για να κάνουμε αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής θα πρέπει αρχικά να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις αυτού του αιολικού δυναμικού και έπειτα να γίνει εκτίμηση των παραμέτρων του ανέμου από τα ανεμολογικά δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις. Ιδιαίτερη σημασία έχει οι μετρήσεις και οι εκτιμήσεις του αιολικού δυναμικού να είναι κατά το δυνατόν περισσότερο ακριβείς.

1.11.1 Ανεμολογικές μετρήσεις

Για τη μέτρηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας δύο βασικές παραμέτρους. Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Για να μετρήσουμε τις δύο αυτές παραμέτρους χρησιμοποιούμε ειδικά όργανα, τα ανεμόμετρα για την ταχύτητα και τους ανεμοδείκτες για την κατεύθυνση. Οι μετρήσεις γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα αποτελώντας τα ανεμολογικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής.

Η διαφορά μεταξύ των ανεμομέτρων εντοπίζεται στον τρόπο λειτουργίας, στην ακρίβεια και στη συχνότητα δειγματοληψίας όπου η πιο συνηθισμένη είναι αυτή του 1 Hz.

1.11.2 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μια απαραίτητη διαδικασία που έχει σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητάς του να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έτσι ώστε να

καλύπτονται συγκεκριμένες ανάγκες μιας περιοχής και του προσδιορισμού της ποιότητας του ανέμου. Αυτά που πρέπει να εξεταστούν έτσι ώστε να γίνει σωστή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι :

- A) Μέση ταχύτητα του ανέμου
- B) Τυπική απόκλιση των τιμών της ταχύτητας του ανέμου
- Γ) Το ιστόγραμμα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου
- Δ) Οι μεταβολές της διεύθυνσης της ταχύτητας του ανέμου

1.12 Αιολική ενέργεια και ισχύς του ανέμου

Ξέρουμε ότι η αιολική ενέργεια ορίζεται ως η κινητική ενέργεια των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Έτσι η κινητική ενέργεια μιας αέριας μάζας m που κινείται με ταχύτητα u θα είναι :

$$E_k = (1/2) * m * u^2$$

Τώρα αν υποθέσουμε ότι η μάζα αυτή διέρχεται μέσα από μια νοητή επιφάνεια A (διατομή φλέβας), θα έχει ρυθμό ροής :

$$dm/dt = \rho * A * u \quad (\text{kg/s})$$

όπου ρ η πυκνότητα του αέρα.

Έτσι δημιουργείται ο τύπος της ισχύς του ανέμου ο οποίος είναι :

$$P = (1/2) * \rho * A * u^3 \quad (\text{Watt})$$

Η οποία με αντικατάσταση της τυπικής τιμής της πυκνότητας του αέρα, σε συνήθεις συνθήκες, γίνεται :

$$P = 0,623 * A * u^3$$

Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι η ταχύτητα του ανέμου η οποία μεταβάλλεται με το χρόνο, επηρεάζει άμεσα την ισχύ του.

Από τον πρώτο τύπο της ισχύος μπορούμε να βρούμε το φυσικά διαθέσιμο αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Το μέρος τώρα του δυναμικού αυτού που μπορεί να αξιοποιηθεί, ονομάζεται τεχνικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό.

1.13 Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα ανέμου ορίζεται ως η ταχύτητα μεταφοράς μικρών ποσοτήτων αέρα οι οποίες ακολουθούν τη διεύθυνση που έχει ο άνεμος εκείνη τη στιγμή. Για να καθορίσουμε την ταχύτητα ανέμου σε ένα τόπο θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τις πιέσεις της ατμόσφαιρας όπως και το ανάγλυφο της περιοχής και την τραχύτητα εδάφους. Η μέση ημερήσια και ετήσια ταχύτητα του ανέμου διαφέρει από μέρα σε μέρα και από έτος σε έτος αντίστοιχα.

Για τη μελέτη και τον υπολογισμό των κατάλληλων αιολικών συστημάτων, απαιτείται η γνώση της μέσης ταχύτητας ανέμου σε χαρακτηριστικές χρονικές περιόδους, όπως μέσα στο μήνα ή στο έτος αφού η σχέση του ανέμου με την περιοδική εμφάνιση του ηλίου σε ένα τόπο συνεπάγεται στην εποχική και ετήσια

περιοδικότητα της εμφάνισης της μέσης ταχύτητας ανέμου. Για να μετρήσουμε την στιγμιαία ταχύτητα και κατεύθυνση χρησιμοποιούμε ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες αντίστοιχα. Η μέση τιμή του μέτρου της ταχύτητας για χρόνο T είναι :

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_0^T v dt$$

Με βάση την ημερήσια ταχύτητα του ανέμου και τον προσδιορισμό της συχνότητας και περιόδων εμφάνισης ριπών ανέμου, που είναι απότομες αυξήσεις ταχύτητας του ανέμου, μπορούμε να μελετήσουμε και να προσδιορίσουμε το μέγεθος των απαιτούμενων αιολικών συστημάτων, αφού τα παραπάνω αποτελούν σημαντικά στοιχεία του αιολικού δυναμικού ενός τόπου.

Γνωρίζοντας τη μέση μηνιαία ή ετήσια ταχύτητα ανέμου και τις αντίστοιχες επικρατούσες διευθύνσεις του, δημιουργούνται χάρτες περιορισμένης έκτασης ή μεγάλων περιοχών ή σε παγκόσμια κλίμακα οι οποίοι ονομάζονται αιολικοί χάρτες ή Άτλαντες.

1.14 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος

Σύμφωνα με το νόμο κατανομής της ταχύτητας ροής ενός ρευστού, η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με το ύψος από το έδαφος σε συνάρτηση με την απόσταση από το τοίχωμα του σωλήνα μέσα στο οποίο ρέει. Το ύψος στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου είναι το 99,8% της ταχύτητας στο άπειρο, λέγεται πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Ο τύπος που δίνει την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το επίπεδο έδαφος με ομοιογενώς διασπαρμένες διαταραχές είναι :

$$v = v_{ref} \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{ref}/z_0)}$$

Όπου z_{ref} το ύψος αναφοράς και v_{ref} η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς. Συνήθως το ανεμόμετρο τοποθετείται στη θέση $z_{ref} = 10$ m. Το z_0 , το οποίο αφορά το μέσο ύψος του διαταραγμένου στρώματος του αέρα λόγω ανωμαλιών εδάφους ονομάζεται μήκος τραχύτητας.

1.15 Η πυκνότητα του αέρα

Όπως ξέρουμε, η πυκνότητα του αέρα ορίζεται σαν η μάζα ενός αερίου προς τη μονάδα του όγκου. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα g/m^3 ή g/cm^3 . Στην ατμόσφαιρα, η πυκνότητα του αέρα ελαττώνεται κατά 10 φορές ανά 17 Km ύψους περίπου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα ενός αερίου είναι η πίεση, η θερμοκρασία και το ύψος. Για τον ακριβή καθορισμό της πυκνότητας του αέρα είναι χρήσιμο να ξέρουμε την επικρατούσα υγρασία. Η χρησιμότητα της μέτρησης της υγρασίας γίνεται περισσότερο αντιληπτή από το γεγονός ότι η ενέργεια που παίρνουμε από τον άνεμο είναι ανάλυση της πυκνότητας του. Ο τύπος τώρα για

την πυκνότητα του αέρα είναι : $\rho = (1/R) \cdot (P/T)$ όπου R η σταθερά αερίων, P είναι η πίεση σε mbs και T η απόλυτη θερμοκρασία.

1.16 Μεταβλητότητα του ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου υπόκειται σε χωρικές και χρονικές μεταβολές. Οι χωρικές μεταβολές οφείλονται : α) Στη διαφοροποίηση της μορφολογίας του εδάφους β) στην τραχύτητα του εδάφους και γ) στο ύψος της μέτρησης. Παρακάτω θα πρέπει να ορίσουμε ποιο είναι το οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας και ποιο το κατώτερο.

Στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας το οποίο χαρακτηρίζεται ως τα 2000m ύψος οι διαταραχές της ταχύτητας του ανέμου είναι μηδενικές σε σχέση με τις διαταράξεις του εδάφους.

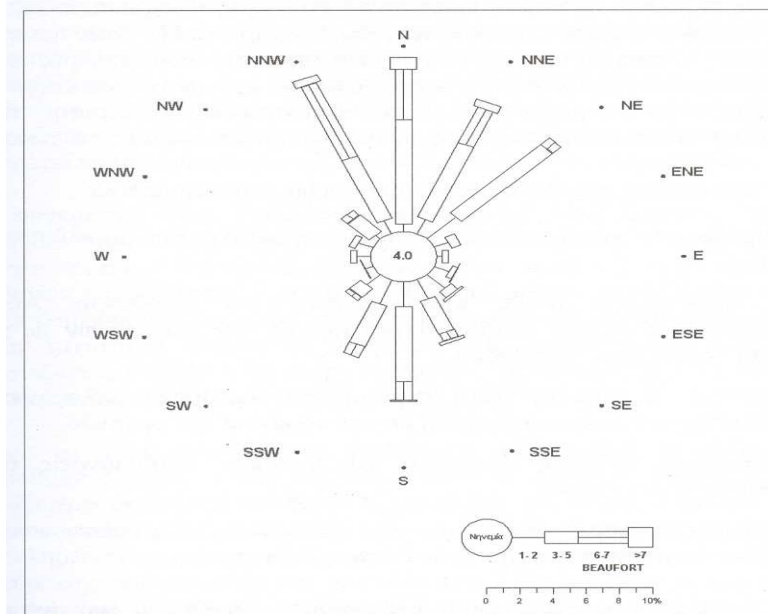
Το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας που είναι κάτω από τα 100m είναι αυτό για το οποίο ενδιαφερόμαστε περισσότερο. Εκεί ο άνεμος υφίσταται επιβραδύνσεις από δυνάμεις τριβής λόγω των κτισμάτων των κατοικημένων περιοχών, της μορφολογίας του εδάφους αλλά και το είδος της βλάστησης. Αυτές οι ταραχές προκαλούν γρήγορες διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων και μεγεθών. Οι απότομες αυτές στιγμιαίες μεταβολές ονομάζονται ριπές.

Οι χρονικές μεταβολές οφείλονται: Στα φαινόμενα που επηρεάζουν το κλίμα της περιοχής, στην εναλλαγή μέρας και νυκτός, στις μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας κ.λ.π.

Σε αυτές διακρίνονται μεταβολές μικρής χρονικής διάρκειας όπου η ταχύτητα σε ένα τόπο μπορεί να διπλασιαστεί μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα μεγάλης χρονικής διάρκειας. Οι μεταβολές μικρής διάρκειας μας είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό των αιολικών μηχανών. Συνήθως όμως αντί των μεταβολών αυτών δίνονται οι μέσες ωριαίες, ημερήσιες και μηνιαίες τιμές.

1.17 Το ρόδο του ανέμου

Όπως ξέρουμε, ο άνεμος δεν πνέει προς μια κατεύθυνση μόνο, δηλαδή η διεύθυνσή του δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται και καθορίζεται με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης. Έτσι με βάση τις παρατηρήσεις που έχουμε συλλέξει από τη διεύθυνση του ανέμου μπορούμε να δημιουργήσουμε το λεγόμενο ρόδο του ανέμου ή πολικό διάγραμμα. Σε αυτό χαράζουμε τις συχνότητες σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε, ανάλογα πάντα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Επίσης μπορούμε να παραστήσουμε στο ίδιο διάγραμμα και τη μέση ταχύτητα του ανέμου για κάθε διεύθυνση. Δυνατός είναι και ο υπό κλίμακα σχεδιασμός έτσι ώστε να φαίνονται τα διαστήματα έντασης του ανέμου για κάθε διεύθυνση. Τέλος στο κέντρο του διαγράμματος αυτού, μέσα σε ένα κύκλο καταγράφεται το ποσοστό της νηνεμίας. Το ποσοστό αυτό είναι το διάστημα που η ένταση του ανέμου είναι μικρότερη των 2m/sec. Μια τυπική μορφή πολικού διαγράμματος φαίνεται παρακάτω :



Σχήμα 6 : Τυπική μορφή πολικού διαγράμματος

Ως κύρια διεύθυνση του ανέμου τώρα ορίζεται κάθε διεύθυνση η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Η επικρατούσα διεύθυνση είναι αυτή η οποία εμφανίζεται σε μεγαλύτερη συχνότητα και η οποία μεταβάλλεται συνήθως με την εποχή του χρόνου.

1.18 Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

Το ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση συμβατικών καυσίμων. Επίσης εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό στην εισαγωγή και χρήση υγρών και αερίων καυσίμων, στοιχεία επιβαρυντικά για την οικονομία της Ελλάδας. Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά η ενεργειακή δομή της Ελλάδας :

- 1) Το 95% της ενέργειας που καταναλώνεται στη διάρκεια ενός χρόνου, προέρχεται από καύση συμβατικών καυσίμων.
- 2) Το 56% του ίδιου συνόλου προέρχεται από την καύση εισαγόμενων υγρών καυσίμων
- 3) 35% της ενέργειας καταναλώνεται από βιομηχανία, 35% από τις κατοικίες και 30% από τις μεταφορές.

Από την άλλη μεριά όμως η Ελλάδα είναι μια χώρα στην οποία επικρατούν άνεμοι καλής ταχύτητας για την εκμετάλλευσή τους. Το γεγονός αυτό παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον αφού η Ελλάδα έχει ευνοϊκή διαμόρφωση εδάφους που είναι πλεονέκτημα για την δημιουργία ακόμα πιο αυξημένης αιολικής ενέργειας. Αυτό ισχύει κυρίως για νησιωτικές περιοχές όπου οι άνεμοι που επικρατούν είναι ιδιαίτερα ενισχυμένοι. Αμέσως γίνεται αντιληπτό ότι μεγάλο μέρος των αναγκών των νησιών αυτών μπορεί να καλυφθεί με εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει και η Δ.Ε.Η. με μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για όλο το φάσμα της ανατολικής νησιωτικής Ελλάδας και το οποίο φαίνεται παρακάτω :

Τοποθεσία	Μέση Ταχύτητα (m/sec)	Περίοδος Μετρήσεων
Άνδρος	9,7	81-90
Τήνος	9,5	87-90
Μύκονος	10,8	83-90
Σύρος	8,1	88-90
Κρήτη	8,1	81-83
Λήμνος	8,1	86-90
Λέσβος	8,7	87-90
Χίος	8,1	86-89
Σάμος	10,4	86-90
Εύβοια	9,2	89-90
Κάρπαθος	9,6	83-89
Σκύρος	6,5	87-89
Σαμοθράκη	6,6	86-89

Πίνακας 1 : Μετρήσεις αιολικού δυναμικού (ΔΕΗ/ΔΕΜΕ)

Για να καλυφθούν σήμερα οι ανάγκες των νησιών χρησιμοποιούνται συνήθως αυτόνομοι σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι είναι τοπικοί Ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί εκτός από Κρήτη και Ρόδο. Μερικά άλλα νησιά που βρίσκονται στην ηπειρωτική πλευρά έχουν συνδεθεί και τροφοδοτούνται από τα κεντρικά δίκτυα ενώ μερικά άλλα έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και τροφοδοτούνται από κεντρικούς αυτόνομους σταθμούς.

1.19 Γενική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στην Κρήτη

Η συνολική εμπειρική εκτίμηση, από επισκέψεις που γίνονται από την ομάδα του προγράμματος αιολικής ενέργειας στο ΤΕΙ Ηρακλείου για τις μελέτες των στοιχείων για επιλογή υποψηφίων σημείων μέτρησης στην Κρήτη προέκυψαν τα εξής :

- A) Υπάρχουν περιοχές με μαρτυρίες για υψηλό αιολικό δυναμικό (περίπου 30 σε αριθμό)
- B) Ερωτήματα υπάρχουν ως προς τη σταθερότητα και την μορφή της ροής και
- Γ) η μεγαλύτερη δυσκολία που εμφανίζεται στην εκμεταλλευσιμότητα του αιολικού δυναμικού προέρχεται από το δύσβατο των περιοχών

Επίσης για την δυναμική ανάλυση και τον σχεδιασμό αιολικών συστημάτων προσαρμοσμένων στις τοπικές συνθήκες, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο ΤΕΙ ειδικός ανεμογράφος που μπορεί να καταγράφει μετρήσεις ανά 2 sec και μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην αναλυτική μελέτη του ανέμου όπου απαιτείται.

Μέχρι σήμερα υπάρχουν μετρήσεις από 5 ανεμογράφους στην Κρήτη : Βιομ. Περιοχή Ηρακλείου, νήσος Ντία Ηρακλείου, περιοχή ΤΕΙ, Ρέθυμνο περιοχή Αγίου

Ανδρέα, Χανιά περιοχή ακρωτηρίου Σπάθας. Οι μετρήσεις αυτές είναι διαθέσιμες από το ΤΕΙ ηρακλείου.

Τέλος στην Κρήτη έχουν γίνει και γίνονται αξιόλογες προσπάθειες για την μέτρηση και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού από το ΤΕΙ την ΕΜΥ, την ΔΕΗ, το ΚΑΠΕ, το πανεπιστήμιο Κρήτης και από τοπικούς φορείς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

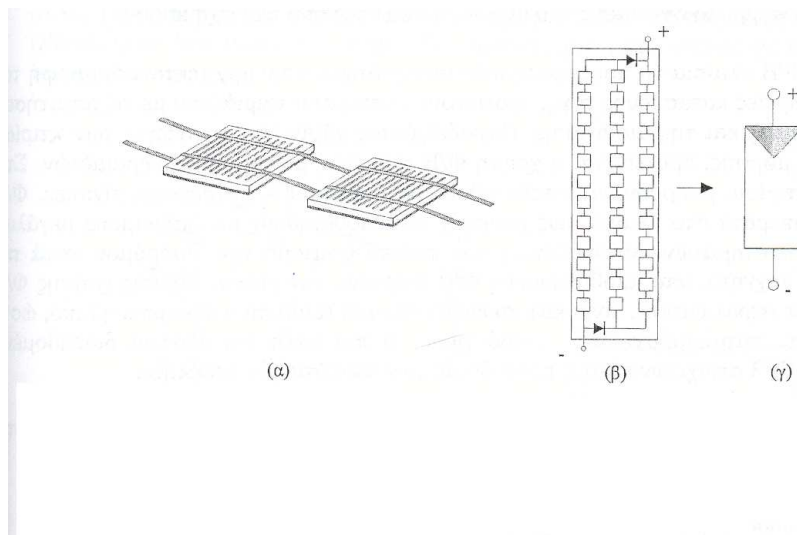
2.1 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

2.1.1 Κατασκευαστικά στοιχεία

Η βασική μονάδα είναι το φωτοβολταϊκό στοιχείο το οποίο είναι μικρών διαστάσεων και το οποίο παρασκευάζεται σε θαλάμους κενού. Μετά την εργαστηριακή παρασκευή του, η όλη μεθοδολογία μεταφέρεται σε θαλάμους μεγαλύτερου μεγέθους που να επιτρέπουν την Παρασκευή ΦΒ στοιχείων μεγαλύτερων διαστάσεων. Αφού παρασκευαστεί βιομηχανικά η βασική δομή του ΦΒ στοιχείου, ακολουθεί η κοπή του στο επιθυμητό σχήμα το οποίο είναι συνήθως τετραγωνικό, έτσι ώστε κατά την σύνθεσή τους σε μεγαλύτερη μονάδα, να αφήνουν την ελάχιστη μη εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια.

Στην πραγματικότητα ένα σύνολο από αυτά τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά έτσι ώστε να αποτελούν εύχρηστη σε μέγεθος μονάδα, με κατάλληλα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και μέγεθος. Για τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, τα βασικά κριτήρια είναι η δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε απλό συσσωρευτή με ΗΕΔ 12 V, ενώ για το μέγεθος είναι η ευκολία κατασκευής, μεταφοράς και αντικατάστασής τους από την συνολική ΦΒ κατασκευή.

Ένα σύνολο ΦΒ στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά αποτελεί την τυπική βιομηχανική μονάδα η οποία ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Στην διάταξη αυτή τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι συνήθως 36 σε αριθμό για στοιχεία πυριτίου.



Σχήμα 7 : (α) Τρόπος σύνδεσης δύο διαδοχικών ΦΒ στοιχείων μέσα σε ένα ΦΒ πλαίσιο. (β) Εσωτερική δομή ενός ΦΒ πλαισίου. Διακρίνονται οι δίοδοι παράκαμψης. (γ) Η συμβολική παράσταση ενός ΦΒ πλαισίου. Το φωτόρευμα οδεύει εσωτερικά, από το (-) στο (+) και προς το εξωτερικό κύκλωμα από το (+) στο (-) του πλαισίου.

Συνήθως εμφανίζουν συγκεκριμένη τάση ανοικτού κυκλώματος(από 19 – 22 V) και τοποθετούνται με την πλευρά από την οποία θα φωτίζονται σε επίπεδη γυάλινη πλάκα, υψηλής διαφάνειας, προσαρμοσμένης σε μεταλλικό πλαίσιο το οποίο θα είναι υψηλής αντοχής , συνήθως από ανοδιόμενο αλουμίνιο που όπως αναφέρθηκε παραπάνω αποτελεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Το πίσω μέρος καλύπτεται από ειδικό πλαστικό υλικό ενθυσιάκωσης για την προστασία του από την υγρασία. Η τελική αυτή διάταξη πληροί τις ειδικές προδιαγραφές για την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία.

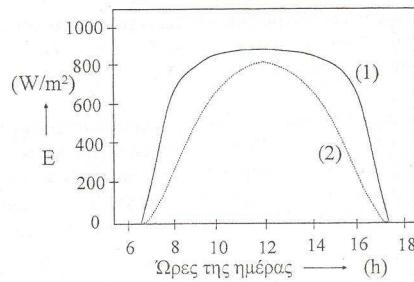
Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελεί την βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας η οποία με την σειρά της αποτελεί την “καρδιά” παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού. Τυπικές τιμές ισχύος αιχμής ενός ΦΒ πλαισίου εμπορίου είναι από μερικά W_p έως τα 150 W_p .

Η επιλογή του αριθμού των ΦΒ στοιχείων, από τα οποία θα κατασκευαστεί το ΦΒ πλαίσιο, έχει άμεση σχέση με την ονομαστική ηλεκτρική τάση 12 V στους πόλους των ηλεκτρικών συσσωρευτών.

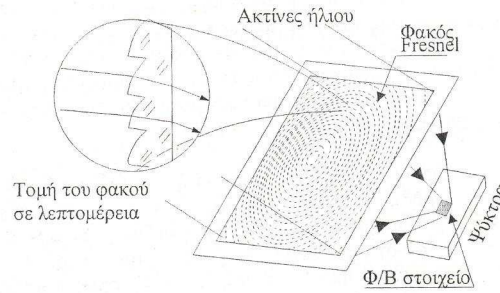
2.2 Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων

2.2.1 ΦΒ πλαίσια συγκεντρωτικού τύπου

Σύμφωνα με την βασική αρχή λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου, το παραγόμενο από αυτό φωτόρευμα είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της έκτασης της επιφάνειάς του. Έτσι αν μειώσουμε την έκταση του ΦΒ στοιχείου κατά λ φορές με σύγχρονη αύξηση της πυκνότητας ισχύος του ηλιακού φωτός ξανά κατά λ, τότε το παραγόμενο φωτόρευμα θα παραμείνει το ίδιο. Την ιδιότητα αυτή την εκμεταλλευόμαστε προκειμένου να μειωθεί το κόστος πρώτης ύλης του ΦΒ πλαισίου.



(α)



(β)

Σχήμα 8 : (α) Η καμπύλη (1) που προκύπτει από ηλιοτροπικό συλλέκτη, δίδει περίπου 30% περισσότερη ενέργεια, κατά η διάρκεια της ημέρας, απ' ό,τι η καμπύλη (2), από στατικό συλλέκτη με κλίση ίση με γ.π., (β) Ο φακός Fresnel. Στο λεπτομερειακό σχήμα δείχνεται μέρος της τομής του. Κατά βάση αποτελείται από κυκλικά τμήματα διαφόρων κοινών φακών.

Σε αυτά τα ειδικά ΦΒ πλαίσια, το ΦΒ στοιχείο, περιορίζεται σε πολύ μικρή επιφάνεια. Μπροστά από καθένα από αυτά τοποθετείται ένας φακός, ειδικού τύπου που ονομάζεται φακός Fresnel (σχήμα 8 (β)) και ο οποίος συγκεντρώνει πάνω στο ΦΒ στοιχείο, την προσπίπτουσα σ' αυτόν, ηλιακή ακτινοβολία ισχύος Φ (W). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ίδιας ηλεκτρικής ισχύος, από πολύ μικρότερη ενεργό επιφάνεια ΦΒ στοιχείων από το ειδικού τύπου ΦΒ πλαίσιο. Η ενεργός επιφάνεια μικραίνει τόσες φορές, όσες αυξάνεται με το συγκεντρωτικό φακό η πυκνότητα ισχύος πάνω σ' αυτό. Για να μην έχουμε υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας στο μικρό ΦΒ στοιχείο, το τοποθετούμε πάνω σε μεταλλική ψύκτρα έτσι ώστε να έχει καλή θερμική επαφή. Η ψύκτρα το διατηρεί σε αποδεκτές θερμοκρασιακές συνθήκες, μόνο με τη φυσική ροή του ατμοσφαιρικού αέρα.

Για να αποδίδει το σύστημα αυτό όμως ηλεκτρική ενέργεια, θα πρέπει να υπάρχει συνεχής πρόσπτωση των ηλιακών ακτίνων στο μικρό ΦΒ στοιχείο. Έχοντας δεδομένη την ημερήσια κίνηση του ηλίου στην ουράνια σφαίρα, χρειάζεται στροφή της ειδικής αυτής γεννήτριας ώστε να παραμένει συνεχώς κάθετη στις ακτίνες του ηλίου. Τη δεδομένη αυτή χρονική στιγμή, οι ακτίνες μετά το φακό Fresnel, καλύπτουν κάθε στιγμή, όλη την επιφάνεια του μικρού ΦΒ στοιχείου. Τα ειδικά αυτά ΦΒ πλαίσια χαρακτηρίζονται ως ΦΒ πλαίσια συγκεντρωτικού τύπου και τοποθετούνται οπωσδήποτε σε μηχανικά συστήματα παρακολούθησης του ηλίου.

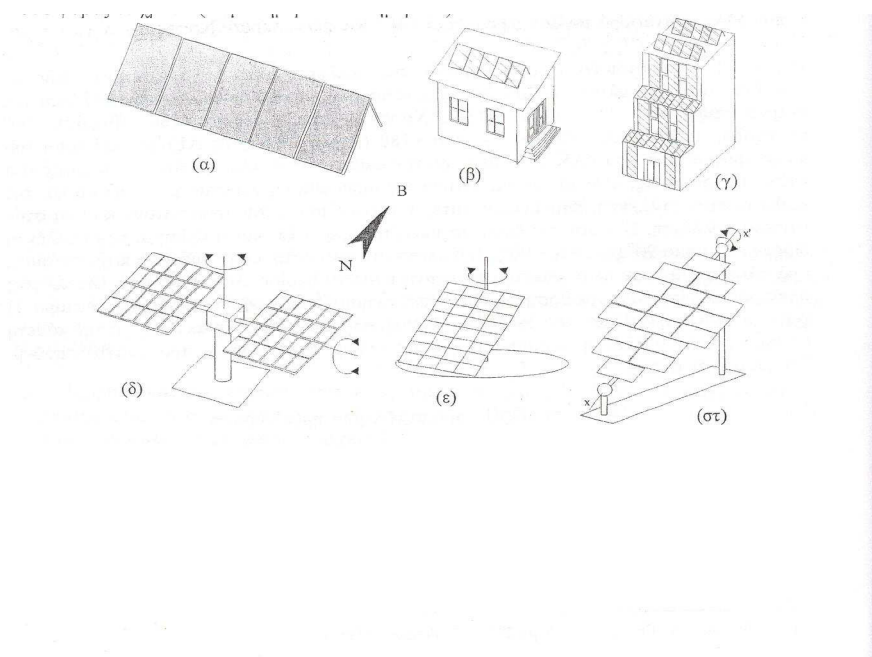
2.2.2 Επίπεδα ΦΒ πλαίσια με ανακλαστήρες

Με την προσθήκη δύο κοινών ανακλαστήρων στις μεγαλύτερης διάστασης απέναντι πλευρές επίπεδου τύπου ΦΒ πλαισίου, η συνολική πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός στο ΦΒ πλαίσιο γίνεται διπλάσια από αυτή που προσπίπτει σ' αυτό αν λείπουν οι πλαϊνοί ανακλαστήρες. Η απολαβή ηλεκτρικής ενέργειας απ' αυτά τα ΦΒ πλαίσια έχει εφαρμοστεί σε συγκεκριμένη διάταξη που θα δούμε παρακάτω.

Αυτή η απλή διαμόρφωση αποσκοπεί στο να μειωθεί δραστικά το κόστος της παραγόμενης φωτοβολταϊκής kWh. Το σύστημα βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Η διαμόρφωση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και σε συγκεντρωτικού τύπου ΦΒ πλαίσια.

2.3 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών

Διακρίνουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών. Ο πρώτος είναι σταθερή στήριξη, ο δεύτερος εποχιακά ρυθμιζόμενη στήριξη και ο τελευταίος συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ηλίου, με διάταξη που ονομάζεται ηλιοτρόπιο.



Σχήμα 9 : (α) Σταθερή τοποθέτηση ΦΒ συστοιχίας στο έδαφος, (β) στη στέγη κατοικίας (γ) σε διάφορες θέσεις σε σύγχρονη οικοδομή πολλών ορόφων και (δ) τυπική διάταξη παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου (ηλιοτρόπιο tracker δύο αξόνων). (ε) Περιστροφή ως προς ένα (1) κατακόρυφο άξονα, ενώ ο συλλέκτης τοποθετείται συνήθως, υπό κλίση ίση με το γ.π. του τόπου. (στ) Περιστροφή ως προς ένα (1) άξονα, τον $\chi\chi'$, ο οποίος συνήθως διατηρείται κεκλιμένος υπό γωνία ίση με το γ.π. του τόπου, έχοντας τότε την ίδια διεύθυνση με τον πολικό άξονα.

2.3.1 Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης. Γωνία κλίσης για βέλτιστη ενεργειακή απολαβή συλλέκτη.

Με την απουσία κινητών μερών στη στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδουμε στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή, χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην αναξιόπιστη συμπεριφορά της, ιδιαίτερα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Χρησιμοποιούνται επίσης στατικές συλλεκτικές επιφάνειες, ενσωματωμένες σε κτίρια (Σχήμα 9, περιπτώσεις (α), (β) και (γ)).

Την πιο απλή περίπτωση την έχουμε όταν ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα επιλέγουμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό για τη συστοιχία και κλίση κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης.

Όταν η κλίση ισούται ακριβώς με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο.

Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες στην περιοχή μετεωρολογικές συνθήκες και η ανακλαστικότητα του εδάφους. Έτσι για να βρούμε τη βέλτιστη γωνία του συλλέκτη, χρειάζεται να συλλέξουμε στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς και ιδιαίτερα μετρήσεις της ολικής ακτινοβολίας, τουλάχιστον σε οριζόντια προσανατολισμένο αισθητήρα, για μια σειρά ετών για αυτή την περιοχή. Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς αυτή περιοχή, εμπλουτισμένες με πρόσφατες μετρήσεις στην περιοχή αυτή. Με βάση τώρα τις μετρήσεις αυτές αλλά και με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων, προσδιορίζουμε την ολική ακτινοβολία σε κάθε γωνία κλίσης ενός συλλέκτη, απ' όπου προκύπτει η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη για συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι η κλίση του συλλέκτη για βέλτιστη ετήσια ενεργειακή απολαβή, για τόπους με μέσα ή μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, για παράδειγμα των 20° , είναι μέσα στην περιοχή: { γεωγραφικό πλάτος – $(10^\circ - 15^\circ)$ }. Για μικρά γεωγραφικά πλάτη, γύρω από τον Ισημερινό, η καλύτερη θέση για συλλέκτη είναι η οριζόντια ή ελάχιστα κεκλιμένη.

Η θέση της καλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης της ημερήσιας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας ετησίως, κατά πάσα πιθανότητα είναι σε γεωγραφικό πλάτος 10 μοιρών. Για αυτό το λόγο, αν δεν διατίθενται δεδομένα για τον τόπο εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος, το καλύτερο που έχουμε να κάνουμε είναι να επιλέξουμε κλίση συλλέκτη ίση με το παραπάνω γεωγραφικό πλάτος. Αν επιπλέον ενδιαφερόμαστε για πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών απαιτήσεων μιας εφαρμογής την περίοδο του χειμώνα, όπου κατά την οποία η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από το συλλέκτη είναι η χαμηλότερη του έτους, τότε η καταλληλότερη κλίση για σταθερούς συλλέκτες είναι μέσα στην περιοχή γεωγραφικού πλάτους $+(10^\circ - 15^\circ)$.

Τέλος, αν τώρα υπάρχουν φυσικά εμπόδια που σκιάζουν το συλλέκτη ορισμένη περίοδο της ημέρας, για παράδειγμα από το μεσημέρι και μετά, τότε προσανατολίζουμε το συλλέκτη αζιμουθιακά, μετά από σχετική μελέτη του κλίματος και των στοιχείων ηλιοφάνειας της περιοχής, σε ορισμένη νοτιοανατολική κατεύθυνση. Αν τώρα η σκίαση γίνεται το πρωί και από το μεσημέρι και μετά δεν υπάρχει πρόβλημα σκίασης, τότε η συστοιχία προσανατολίζεται νοτιοδυτικά.

2.3.2 Στήριξη με δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης του συλλέκτη.

Υπάρχει μια διάταξη συλλεκτών με νότιο προσανατολισμό, η οποία εκ κατασκευής έχει τη δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης της. Προσδιορίζονται οι κατάλληλες κλίσεις και ο χρόνος αλλαγών. Οι θέσεις του συλλέκτη είναι δύο : μια για το θερινό εξάμηνο, δηλαδή από 21 Μαρτίου έως 22 Σεπτεμβρίου, με κλίση ίση με $\alpha_e =$ (γεωγραφικό πλάτος $-(10^\circ - 15^\circ)$) και μια για το χειμερινό, δηλαδή από 22 Σεπτεμβρίου έως 21 Μαρτίου, με κλίση ίση με $\alpha_w =$ (γεωγραφικό πλάτος $+(10^\circ - 15^\circ)$). Όπως και στην περίπτωση συλλέκτη σταθερής κλίσης όλο το έτος, έτσι και στην περίπτωση επιλογής χειμερινής και θερινής θέσης, η επιλογή της βέλτιστης γωνίας για το συλλέκτη σε κάθε περίοδο απαιτεί γνώση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών και της μορφολογίας και κάλυψης του εδάφους, που καθορίζει την ανακλαστικότητά του.

2.3.3 Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από ένα ή δύο άξονες.

A) Στροφή γύρω από ένα άξονα

Σε αυτό το παράδειγμα η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό γύρω από ένα άξονα και στο τέλος της ημέρας, ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής που είναι συνήθως στα νότια. Με την ανατολή του ηλίου στρέφεται έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας.

Εδώ διακρίνουμε δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση, η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα (σχήμα 9 (ε)), ώστε να βρίσκεται ο ήλιος στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη. Στην δεύτερη περίπτωση (σχήμα 9 (στ)), η συστοιχία στρέφεται γύρω από ένα άξονα xx' ο οποίος έχει κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη και περιέχει τον άξονα xx' . Η γωνία τώρα, μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη, κατά τη διάρκεια ενός έτους, κυμαίνεται στο διάστημα $-23,5^\circ$ έως $+23,5^\circ$.

Η περιστροφή του συλλέκτη μπορεί να βασίζεται στην αξιοποίηση της δράσης της ηλιακής ακτινοβολίας, με ή χωρίς τη χρήση ηλεκτρικών κινητήρων. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπτικό σύστημα ανίχνευσης της θέσης του ηλίου χωρίς να είναι όμως αρκετά αξιόπιστο, ενώ στην δεύτερη περίπτωση, η κίνηση προκύπτει από τη διατάραξη της ισορροπίας πνευματικού συστήματος με διαφορεική θέρμανσή του από τον ήλιο.

B) Στροφή γύρω από δύο άξονες

Για να παρακολουθήσουμε τον ήλιο από συλλέκτη με περιστροφή δύο αξόνων, γίνεται με τη χρήση συνήθως δύο διαδοχικών κινήσεων του συλλέκτη, με ηλεκτρικούς κινητήρες, είτε κινητήρες συνεχούς περιστροφής, με μειωτήρες και

έλεγχο στροφών το οποίο γίνεται με οπτική διάταξη καταμέτρησης σπών, για τον προσδιορισμό της αντίστοιχης στροφής. Ένα παράδειγμα χρήσης παρόμοιου μηχανικού συστήματος αλλά σε πολύ μικρότερες διαστάσεις, χρησιμοποιείται για την στροφή του πυρηλιομέτρου, το οποίο είναι οπτικό όργανο παρακολούθησης του ηλίου και καταγραφής της πυκνότητας ισχύος της απ' ευθείας ηλιακής ακτινοβολίας.

Το ηλιοτρόπιο αφού κάνει την πλήρη παρακολούθηση του ηλίου μέσα στη διάρκεια της ημέρας, επιστρέφει σε θέση αναφοράς με την δύση του. Η κίνηση αυτή του ηλιοτροπίου χαρακτηρίζεται από νότιο προσανατολισμό και σχεδόν μηδενική κλίση προκειμένου να προφυλαχθεί από πιθανό ισχυρό άνεμο μέχρι την ανατολή.

Το μειονέκτημα τώρα αυτής της διάταξης, είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής υψηλού κόστους επένδυσης λόγω ισχυρών ανέμων. Στην περίπτωση που έχουμε ισχυρούς ανέμους, οι συλλεκτικές επιφάνειες διατάσσονται οριζοντίως έτσι ώστε να αποφύγουμε πιθανά καταστροφικά αποτελέσματα. Για αυτό πρέπει πάντα να ελέγχεται η ταχύτητα του ανέμου σε τέτοια συστήματα.

Οι διατάξεις πλήρους παρακολούθησης του ηλίου, με επίπεδα ΦΒ πλαίσια, έχουν συνήθως περιορισμένη χρήση και συνήθως για ερευνητικούς σκοπούς. Συνήθως προτιμάτε η μερική παρακολούθηση με στροφή ως προς ένα άξονα. Τέλος, πολύ πιο αξιόπιστη είναι η στατική συστοιχία. Εκεί, το ενεργειακό κέρδος της παρακολούθησης του ηλίου από ένα ηλιοτροπικό σύστημα, ισοσταθμίζεται από ένα στατικό σύστημα με ισχύ αιχμής περίπου κατά 30% μεγαλύτερη του ηλιοτροπίου.

2.4 Η ονομαστική ισχύς ενός ΦΒ πλαισίου και οι συνθήκες κανονικής λειτουργίας.

Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός ΦΒ στοιχείου, δηλαδή τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά με τα οποία θα το αναζητήσουμε στο εμπόριο, έτσι ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης ΦΒ εγκατάστασης καθώς και η εμπορική του τιμή, καθορίζονται από την έννοια του W_p , δηλαδή της ονομαστικής ισχύος ενός ΦΒ πλαισίου.

Αν ένα ΦΒ πλαίσιο, το οποίο ορίζεται ως στοιχείο μιας ΦΒ γεννήτριας, εγκατασταθεί στο ύπαιθρο, δεχόμενο συνεχώς την ηλιακή ακτινοβολία, είναι προφανές ότι βρίσκεται σε άλλες συνθήκες από αυτές που αντιστοιχούν στον ορισμό της ισχύος αιχμής του. Οπότε, κάτω από τις πραγματικές συνθήκες, η μέγιστη δυνατή ισχύς θα είναι διαφορετική και κατά κανόνα μικρότερη. Ο κατασκευαστής, εκτός των στοιχείων που αναφέρονται στην ισχύ αιχμής, όπως ισχύ, ένταση ρεύματος και τάση, υποχρεούται να δηλώσει την θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου ή του πλαισίου σε συνθήκες περιβάλλοντος οι οποίες προσεγγίζουν τις αντίστοιχες πραγματικές.

Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας, είναι μια θερμοκρασία αναφοράς η οποία χρησιμεύει στον τυπικό έλεγχο απόδοσης των ΦΒ πλαισίων. Οι συνθήκες αυτές αφορούν το ΦΒ στοιχείο ή πλαίσιο, την πυκνότητα της ηλιακής

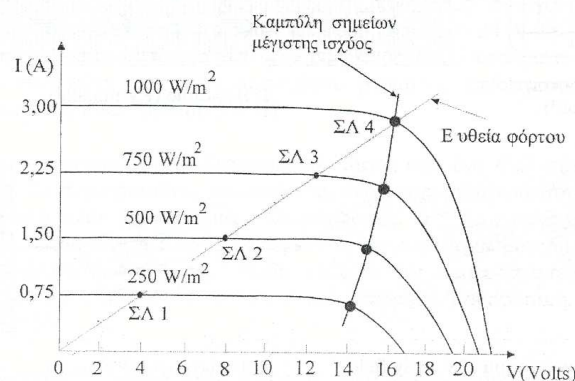
ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό και την κατάσταση του αέρα του περιβάλλοντός του και είναι οι παρακάτω :

- A) Το ΦΒ στοιχείο ή πλαίσιο βρίσκεται σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος
- B) Η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας είναι 800 W/m^2
- Γ) Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα είναι $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Δ) Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 1m/sec

Οι παραπάνω απαιτήσεις αποτελούν κατά κανόνα τις μέσες συνθήκες στις οποίες μπορεί να βρεθεί μια ΦΒ γεννήτρια, σε μέσα γεωγραφικά πλάτη, κατά τη διάρκεια μιας ηλιοφανούς ημέρας.

2.5 Σημείο λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου κάτω από διαφορετικές πυκνότητες ισχύος φωτός.

Η εξάρτηση της μορφής της καμπύλης I-V από την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου δείχνονται επίσης και τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας ενός ΦΒ πλαισίου. Το πλαίσιο αυτό, τροφοδοτεί μια σταθερή αντίσταση, σε διαφορετικές πυκνότητες ισχύος προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Σχήμα 10 : Για δεδομένο ωμικό φορτίο, τα σημεία λειτουργίας, ΣΛ (1,2,3) που αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού του ΦΒ πλαισίου, δεν συμπίπτουν με τα αντίστοιχα σημεία μέγιστης ισχύος, με εξαίρεση, στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ΣΛ4 , αντίστοιχο της ροής ακτινοβολίας $E = kW/m^2$.

Τα σημεία της μέγιστης ισχύος, τα οποία είναι σε διάφορα επίπεδα πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζουν μια περιοχή τάσης μέσα στην οποία διακυμαίνεται η τάση στα άκρα της αντίστασης φόρτου το οποίο μπορούμε να το παρατηρήσουμε από το παραπάνω σχήμα. Η έκταση της περιοχής αυτής είναι

συνήθως μεταξύ 13V-17V. Η περιοχή αυτή μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις φόρτισης ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή ονομαστικής τάσης 12V.

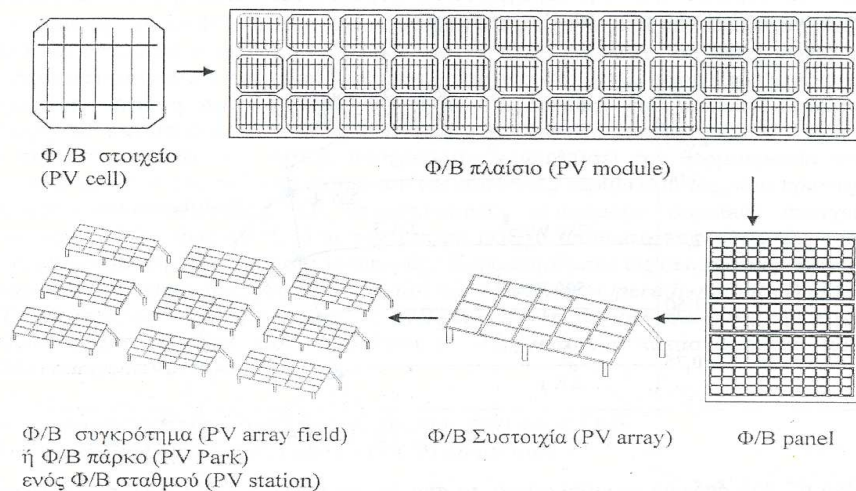
Ομοίως προσδιορίζεται και το σημείο λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου, που τροφοδοτεί ένα καταναλωτή διαφορετικό από ωμική αντίσταση. Στο διάγραμμα που περιέχει την I-V του ΦΒ πλαισίου, σχεδιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη φόρτου του καταναλωτή. Το σημείο τομής των δύο καμπυλών αποτελεί το σημείο λειτουργίας του συστήματος.

2.6 Τρόποι σύνδεσης ΦΒ πλαισίων και τα ΦΒ συστήματα.

Τα ΦΒ πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τους στόχους μας. ΦΒ πάνελ ονομάζεται η συναρμολόγηση μερικών ΦΒ πλαισίων σε μεταλλικό πλαίσιο του οποίου οι καλωδιώσεις καταλήγουν σε ηλεκτρολογικό κιβώτιο και το οποίο αποτελεί μια ενιαία κατασκευή έτοιμη για εγκατάσταση. Το πλεονέκτημά της είναι το μικρό της βάρος, η εύκολη αφαίρεσή του, αλλά και η εύκολη επανατοποθέτησή του.

Η ΦΒ συστοιχία τώρα είναι ο συνδυασμός πολλών ΦΒ πλαισίων καλωδιομένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, τα οποία είναι σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, με το αντίστοιχο ηλεκτρολογικό κιβώτιο όπως και παραπάνω. Τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται κατά κλάδους όπου κάθε κλάδος από σε σειρά συνδεδεμένα ΦΒ πλαίσια και οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Όπως είναι γνωστό, η σε σειρά σύνδεση αυξάνει την ολική τάση ενώ η παράλληλη, το ολικό ρεύμα. Συνήθως τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται έτσι ώστε να αποφεύγονται όσο το δυνατό περισσότερες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στη γραμμή μεταφοράς. Δηλαδή θέλουμε χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση μέσα στα επιτρεπτά όρια. Το όριο τάσης σε ένα ΦΒ είναι τα 600V. Η τελική τάση εξόδου προς τις διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές της εγκατάστασης πρέπει να προσαρμόζονται στην τάση εισόδου από τον κατασκευαστή και φυσικά από τον μελετητή. Για να προσαρμόσουμε την παραπάνω τάση στην ΗΕΔ του συσσωρευτή, απαιτούνται ηλεκτρονικές διατάξεις που ονομάζονται μετατροπείς συνεχούς τάσεως σε συνεχή. Μια ενδεικτική τιμή συνολικής ισχύος αιχμής μιας συστοιχίας είναι από 100W – 1KW.

Ένα ΦΒ συγκρότημα ή ΦΒ πάρκο είναι το σύνολο εκείνο των συνεργαζόμενων ΦΒ συστοιχιών. Το ΦΒ πάρκο τώρα μαζί με τις διατάξεις που απαιτούνται για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο και τον έλεγχο φόρτισης των συσσωρευτών για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος που επαρκεί για την τροφοδοσία μιας οικίας ή και χωριών ακόμα, αποτελεί ένα ΦΒ σταθμό.



Σχήμα 11 : Από το ΦΒ στοιχείο ως το ΦΒ συγκρότημα.

Το παραπάνω σχήμα δείχνει την σταδιακή μετάβαση από το ΦΒ στοιχείο, στο ΦΒ συγκρότημα.

2.7 Βασική μορφή ΦΒ τροφοδοσίας.

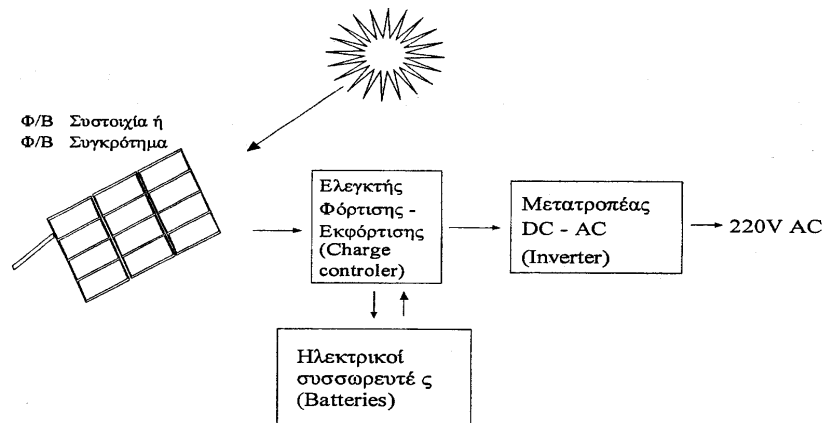
Συσκευές όπως αντιστάσεις θέρμανσης, ηλεκτρικοί λαμπτήρες, ηλεκτρικά ψυγεία κ.λ.π. , λειτουργούν με τάση τροφοδοσίας 12 ή 24 V συνεχές ρεύμα. Αυτό γίνεται με την ΦΒ γεννήτρια η οποία παράγει συνεχή τάση και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας τις παραπάνω συσκευές. Υπάρχουν και ειδικές διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις εγκαταστάσεις της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) στη θέση του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η επιλογή χρήσης συνεχούς ή εναλλασσόμενης τάσης από ένα ΦΒ σύστημα, εξετάζεται κατά περίπτωση. Υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις όπου η χρήση συνεχούς τάσεως είναι προτιμητέα, όπως σε μικρά αυτόνομα αντλητικά συστήματα ή και σε συστήματα τροφοδοσίας τηλεμετάδοσης. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις γίνεται και είναι προτιμότερη η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, επειδή οι περισσότερες συσκευές και εργαλεία καθημερινής χρήσης, τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη μονοφασική τάση 220 V ή τριφασική τάση 380 V.

Το πλεονέκτημα του εναλλασσόμενου ρεύματος σε αντίθεση με το συνεχές είναι ότι η ηλεκτρική διανομή του είναι σαφώς φθηνότερη. Για παράδειγμα, μια παραθεριστική κατοικία με απαιτήσεις φωτισμού, ψύξης, χρήση ηλεκτρικών εργαλείων, άντλησης και τηλεόρασης χρειάζεται εκ των πραγμάτων τη χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος. Ένα τυπικό σύστημα ΦΒ τροφοδοσίας, με μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη 220 V (σχήμα 13) αποτελείται από τα παρακάτω κύρια τμήματα :

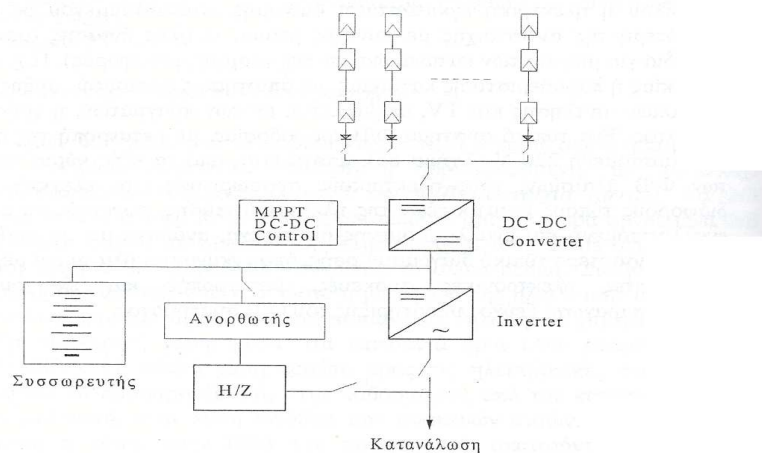
- A) Το σύστημα των ΦΒ πλαισίων
- B) Τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές
- Γ) Τον ελεγκτή φόρτισης και

Δ) Τους διάφορους τύπους μετατροπών της ηλεκτρικής τάσης(DC σε DC, DC σε AC και AC σε DC)



Σχήμα 12 : Ένα εντελώς γενικό διάγραμμα ΦΒ συστήματος με τελική τάση 220 VAC

Ένα τυπικό διάγραμμα ροής όπου φαίνονται όλα τα επί μέρους τμήματα και οι απαραίτητες ηλεκτρονικές συσκευές μετατροπής ελέγχου καθώς και το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος υποστήριξης του ΦΒ συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 13 : Διάγραμμα ροής ενέργειας μιας τυπικής ΦΒ εγκατάστασης (Μονογραμμικό διάγραμμα).

Όταν η ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια προορίζεται για οικιακή χρήση, το προτιμότερο είναι να προσαρμόσουμε το σύστημα τροφοδοσίας στις ήδη χρησιμοποιούμενες συσκευές μας οι οποίες λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση 220 V , οι οποίες έχουν χαμηλό βιομηχανικό κόστος παραγωγής και αντίστοιχα μικρό κόστος αγοράς λόγω ευρύτερης εμπορικής κατανάλωσης.

2.8 Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές.

Η ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από το σύστημα των ΦΒ πλαισίων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας αλλά και σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής της όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Γεννιέται λοιπόν η ανάγκη για μια διάταξη η οποία θα αποθηκεύει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι συσσωρευτές είναι η καλύτερη λύση σε αυτή την ανάγκη αφού έχουν χαμηλό κόστος πυκνότητας αποταμιευμένης ενέργειας ανά κιλό και όγκο διάταξης. Διάφοροι τύποι συσσωρευτών είναι αυτοί του θείου – μολύβδου, οι συσσωρευτές NiCd κ.α.. Εκτός από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές που ονομάζονται και ηλεκτρικά στοιχεία δεύτερης τάξεως, υπάρχουν και εκείνα τα οποία προσφέρουν την δυναμική ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στο εσωτερικό τους, κατά το χρόνο εξέλιξης των χημικών αντιδράσεων, μεταξύ των χημικών ενώσεων ή στοιχείων που τέθηκαν σε επαφή. Η διαφορά τους από τους συσσωρευτές είναι ότι δεν έχουν τη δυνατότητα επαναφόρτισής τους και επομένως δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον για ΦΒ εφαρμογές.

2.9 Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή.

Τα στοιχεία τα οποία προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή είναι :

- A) Η ονομαστική τάση στους πόλους του η οποία εκφράζεται με την έννοια της Ηλεκτρ.Εγερτικής δύναμης (HEΔ)
- B) Η ονομαστική χωρητικότητά του

Η HEΔ μετριέται σε V και είναι ίση με την πολική τάση του συσσωρευτή όταν αυτός δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή. Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή αφορά το ηλεκτρικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο στο εσωτερικό του, με τη μορφή χημικής ενέργειας και εκφράζεται σε Ah (Αμπερώρια). Το ηλεκτρικό πεδίο τώρα επιβάλλει στο εσωτερικό του συσσωρευτή μια άλλη ηλεκτρική πηγή η οποία συνδέεται στα άκρα του κατά το στάδιο της φόρτισής του και διατηρεί σε κίνηση τα ιόντα του ηλεκτρολύτη προς τους αντίθετα πολωμένους πόλους του συσσωρευτή, ανάλογα με το φορτίο τους. Έτσι τα ιόντα εκφορτίζονται και κατά τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στα μεταλλικά ηλεκτρόδια, αυτά αλλοιώνονται επιφανειακά και μετατρέπονται σε νέα, διαφορετικά μεταξύ τους, σώματα. Τα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια εμφανίζουν διαφορετικά χημικά δυναμικά ως προς το διάλυμα και η διαφορά μεταξύ τους αποτελεί την HEΔ του συσσωρευτή.

Οι τιμές HEΔ των διαφόρων τύπων συσσωρευτών κυμαίνονται από 1 – 4 V ανά στοιχείο. Αν θέλουμε να δημιουργήσουμε μια διάταξη συσώρευσης σε υψηλότερη HEΔ, θα πρέπει να συνδυαστούν όμοια ηλεκτρικά στοιχεία μεταξύ τους. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι 2,25 V σε αντίθεση με αυτή του NiCd η οποία είναι 1,3 V. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι τυπικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορεί , με την τυπική εμπορική τους μορφή, το κάθε στοιχείο είναι 6,12 και 24 V για το μολύβδο και 14,5 V για το NiCd.

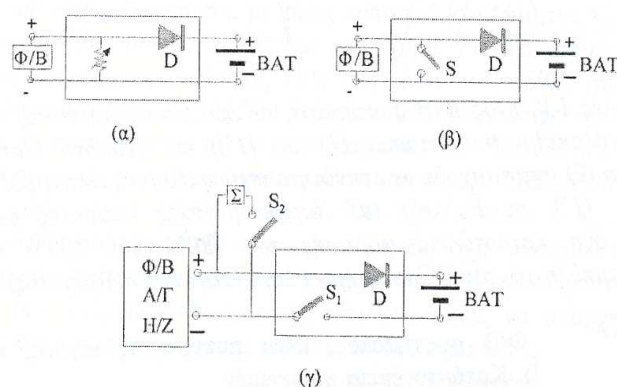
2.10 Τα ηλεκτρονικά των φωτοβολταϊκών.

Για την βελτιστοποίηση της μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο ΦΒ σύστημα και της προστασίας του συσσωρευτή από υπερφόρτιση ή από υπερεκφόρτιση, απαιτούνται κατάλληλα ηλεκτρονικά τα οποία παρεμβάλλονται στο σύστημα. Από λειτουργική πλευρά έχουμε δύο βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις. Η μια είναι ο ελεγκτής φόρτισης – εκφόρτισης και η άλλη ο μετατροπέας τάσεως. Ο ελεγκτής φόρτισης μπορεί να είναι τοποθετημένος σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, αλλά μπορεί όμως και να βρίσκεται ενσωματωμένος με τον μετατροπέα σε μια ολοκληρωμένη μονάδα.

2.10.1 Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή.

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών μέσω μιας πηγής ενέργειας όπως το ΦΒ σύστημα, ανεμογεννήτρια ΑΓ ή ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος Η/Ζ, απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισής τους ώστε όταν φτάσουν την κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποφυγή υπερτάσεων του συσσωρευτή, αποφεύγοντας επομένως την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου λόγω ηλεκτρόλυσης. Αντιστοίχως απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή κατά τη διάρκεια τροφοδοσίας του καταναλωτή, έτσι ώστε να προληφθεί η καταστροφική για τον συσσωρευτή κατάσταση υπερεκφόρτισης.

Επομένως ο ελεγκτής φόρτισης εποπτεύει την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης, έτσι ώστε αν συμβεί οτιδήποτε, να είναι ικανός να απομονώσει είτε το σύστημα αποθήκευσης από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, είτε το σύστημα κατανάλωσης για την αποφυγή υπερφορτίσεων και υπερεκφορτίσεων αντίστοιχα. Η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει κάποια άνω και κάτω όρια τάσης.



Σχήμα 14 : Τυπικά διαγράμματα παράλληλου (shunt) ρυθμιστή φόρτισης (α) με γραμμικό και (β) με διακοπτικό στοιχείο. Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιείται μόνο σε ΦΒ συστήματα. Το διάγραμμα (γ) αφορά σε

ρυθμιστή φόρτισης σειράς (series), με στοιχείο χρήσης της περίσσιας ενέργειας. Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιείται για έλεγχο φόρτισης συσσωρευτών από όλα τα συστήματα παραγωγής ενέργειας (ΦΒ, ΑΓ και Η/Ζ). D = δίοδος προστασίας. BAT = συσσωρευτής.

Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης – εκφόρτισης περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε microcontrollers, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς είτε ηλεκτρονικούς ισχύος. Οποσδήποτε παρεμβάλλεται στο κύκλωμα μια δίοδος για την προστασία του κυκλώματος αποθήκευσης από εκφόρτιση όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις, όπου η πρώτη αφορά ΦΒ συστήματα και η δεύτερη αντιμετωπίζει το ίδιο ικανοποιητικά, ηλεκτρική ενέργεια από οποιαδήποτε πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

A) Ελεγκτής φόρτισης για ΦΒ σύστημα.

Στο ΦΒ σύστημα χρησιμοποιούνται διατάξεις των οποίων τα τυπικά διαγράμματα απεικονίζονται στο σχήμα 14 (α) και (β). Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το ΦΒ σύστημα, με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά προς τη μέγιστη φόρτιση (σχήμα 14 (α)) είτε ως διακόπτης ON/OFF (σχήμα 14 (β)). Όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση στον παράλληλο ρυθμιστή, τότε το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το ΦΒ σύστημα, χωρίς να προκαλείται καμία βλάβη σε αυτό. Έτσι απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσής της.

B) Ελεγκτής φόρτισης για ΦΒ, ΑΓ και Η/Ζ.

Η δεύτερη διάταξη ελέγχου φόρτισης βασίζεται στη χρήση δύο διακοπών S_1 και S_2 (σχήμα 14 (γ)). Ο πρώτος διακόπτης, σταματάει το ρεύμα από το σύστημα ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης, όταν η τάση φόρτισης φτάσει στο όριο τάσης. Ταυτόχρονα ενεργοποιείται και ο άλλος διακόπτης, S_2 , όπου εισάγει στην έξοδο του συστήματος ενέργειας ένα στοιχείο απόδοσης της ενέργειας που δεν έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει το φορτιζόμενο σύστημα. Το στοιχείο απόδοσης θα πρέπει να έχει την ικανότητα να αποβάλλει εύκολα την αποδιδόμενη σε αυτό ενέργεια, προς το περιβάλλον. Ο ρυθμιστής αυτός ονομάζεται ρυθμιστής με το ελεγχόμενο στοιχείο S_1 σε σειρά και έχει την ικανότητα να ελέγχει τη φόρτιση συσσωρευτών από ΦΒ σύστημα, από ΑΓ και από Η/Ζ. Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις του συγκεκριμένου ρυθμιστή. Οι διαφορές εντοπίζονται στον τρόπο προσέγγισης της τελικής κατάστασης φόρτισης. Οι πιο δημοφιλείς περιπτώσεις είναι οι παρακάτω :

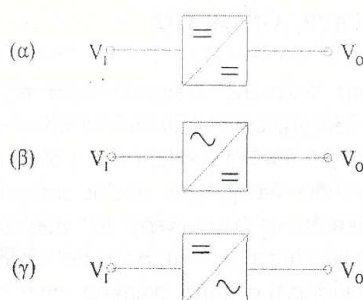
- A) Απλός ρυθμιστής φόρτισης σειράς με ένα όριο τάσης
- B) Ρυθμιστής φόρτισης σειράς με δύο βαθμίδες σταθερού ρεύματος
- Γ) Ρυθμιστής φόρτισης σειράς με δύο βαθμίδες τάσεως
- Δ) Ρυθμιστής φόρτισης σειράς με έλεγχο διακοπτικού στοιχείου S_1 , με παλμούς μεταβλητής συχνότητας ή πλάτους
- Ε) Γραμμικός ρυθμιστής φόρτισης σειράς σταθερής τάσης

Η διάταξη της φόρτισης συμπληρώνεται από παρόμοια διάταξη ελέγχου εκφόρτισης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, με σκοπό την προστασία του συσσωρευτή από υπερεκφόρτιση.

2.10.2 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC.

Οι μετατροπείς είναι ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπής :

- A) του συνεχούς ρεύματος σε συνεχές σε οποιαδήποτε τάση (DC – DC)
- B) του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο σε οποιοδήποτε πλάτος (DC – AC)
- Γ) της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή



Σχήμα 15 : Συμβολικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων (α) συνεχούς τάσεως σε συνεχή, (β) εναλλασσόμενης σε συνεχή και (γ) συνεχούς σε εναλλασσόμενη. Το σχήμα 15 δείχνει τις συμβολικές ηλεκτρολογικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων.

Αν έχουμε ένα μετατροπέα, αυτός μπορεί να αποτελεί χωριστή μονάδα ή να αποτελεί τμήμα ελεγκτή φόρτισης αν είναι μόνος του ή σε συνδυασμό με άλλους τύπους αντίστοιχα. Στην περίπτωση μας η λειτουργία του είναι να προσαρμόζει την τάση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με την τάση του συστήματος αποθήκευσης έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο την διαθέσιμη ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια.

Η παραπάνω διαδικασία θυμίζει αυτή της μετατροπής του εναλλασσομένου ρεύματος σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους μέσω μετασχηματιστή, όπου η παρουσία του δεν είναι απαραίτητη στην περίπτωση του μετατροπέα και η οποία βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Εκεί, το κύκλωμα εξόδου είναι ηλεκτροστατικά μονωμένο από το κύκλωμα εισόδου.

A) Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC – DC).

Με τη χρήση υψίσυχων διακοπτικών κυκλωμάτων, τα οποία μετατρέπουν συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής ανάλογα με τις απαιτήσεις, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή μιας συνεχούς τάσης V_i , σε συνεχή V_o . Με την παραπάνω μονάδα έχουμε και μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από τον χώρο της παραγωγής, στο χώρο της αποθήκευσης. Όπως

γνωρίζουμε, τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα αν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις, ώστε η παραγόμενη σε αυτά ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται με την υψηλότερη δυνατή τάση σε επιτρεπτά όρια, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλό ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς και αντίστοιχα χαμηλές απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Οι τάσεις εξόδου μεγαλύτερες των 600 V, δεν επιτρέπονται.

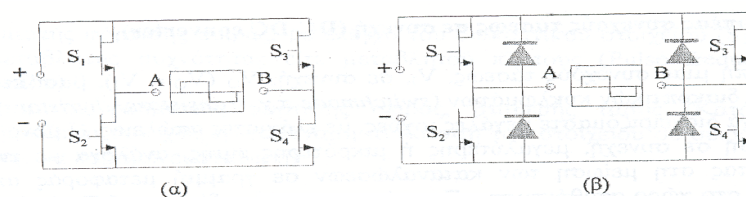
Όταν ο μετατροπέας βρίσκεται στο χώρο των συσσωρευτών, προσαρμόζει την τάση της συστοιχίας, στην τάση του συσσωρευτή. Έτσι έχουμε πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπροσθέτως δεν δημιουργούνται συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Στα συστήματα αυτά έχουμε απόδοση συνήθως μεταξύ 85% και 95%. Η διάταξη παρακολούθησης σημείου μέγιστης ισχύος όπως ονομάζεται, είναι στην ουσία ένας μικροελεγκτής, ο οποίος ενσωματώνεται στη παραπάνω διάταξη, ελέγχοντας και επιβάλλοντας την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας με το σημείο μέγιστης ισχύος το οποίο το καθορίζουν οι επικρατούσες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

B) Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη (DC – AC).

Το εναλλασσόμενο ρεύμα έχει επικρατήσει σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές, καθώς και στη βιομηχανία. Τρεις είναι οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετατρέψουμε το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο :

- A) Με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια εναλλασσόμενου
- B) Με χρήση μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος μαζί με μετασχηματιστή
- Γ) Με τον καθαρά ηλεκτρονικό μετατροπέα

Ο μετατροπέας χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και χρήσης εναλλασσόμενης όπως στις ΦΒ εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Η συνδυασμένη λειτουργία των ηλεκτρονικών του διακοπών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων.



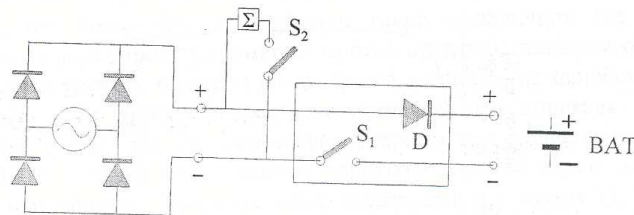
Σχήμα 16 : (α) Βασική αρχή λειτουργίας του inverter. S_1, S_2, S_3, S_4 = διακοπτικά στοιχεία. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο επιτυγχάνεται με κλείσιμο – άνοιγμα των διακοπτικών στοιχείων, ανά δύο χιαστί (1,4 και 2,3). Όσο τα S_1, S_4 είναι αγωγίμα και τα S_2, S_3 σε αποκοπή, τα σημεία A και B έχουν πρόσημα – και + αντίστοιχα.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η εναλλασσόμενη τετραγωνική τάση (κέντρο διαγράμματος). (β) Στο προηγούμενο κύκλωμα προστίθεται, σε κάθε διακοπτικό στοιχείο, από μία δίοδος, ώστε να αποκόπτεται η επιστρεφόμενη ισχύς από μη ωμικά φορτία κατανάλωσης.

Η απόδοσή τους είναι αρκετά υψηλή, από 93% - 96%, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Η υψηλή αυτή απόδοση απαιτείται όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Γενικά το χαρακτηριστικό ενός μετατροπέα είναι η υψηλή απόδοση ακόμα και όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους.

Γ) Μετατροπέας εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές.

Η διάταξη αυτή συνδυάζει ένα σύστημα ανόρθωσης της παρεχόμενης από την ενεργειακή πηγή, ηλεκτρικής τάσης, μονοφασικής ή τριφασικής μορφής, χωρίς την παρεμβολή μετασχηματιστή, με μια διάταξη μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε συνεχές. Η διάταξη αυτή περιλαμβάνει μια ανορθωτική μονάδα σε συνδυασμό με ένα μετατροπέα DC – DC όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 17 : Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος είναι απλά ένας ανορθωτής με διόδους σε διάταξη γέφυρας, για τη μετατροπή του εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές. Το δεξιό τμήμα είναι ένας DC – DC inverter για τη μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε συνεχή, διαφορετικής τιμής. S_1 , S_2 , διακοπτικά συστήματα, D = δίοδος αντεπιστροφής. Σ = ελεγχόμενο στοιχείο στο οποίο εκλύεται το επί πλέον φορτίο.

2.11 Η ανεμογεννήτρια

2.11.1 Γενικά για την ΑΓ.

Οι αιολικές μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις που έχουν σαν σκοπό την αποτελεσματική αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Δηλαδή, η ΑΓ είναι η διάταξη που έχει σκοπό να μετατρέψει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Από την εποχή εμφάνισής της μέχρι τις μέρες μας έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο της, όσο και ως προς τα

υποσυστήματά της. Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μικρές ΑΓ που μπορούν να ενταχθούν σε ένα αυτόνομο αιολικό σύστημα ικανό να ικανοποιήσει καταναλωτές περιορισμένης ενεργειακής ζήτησης. Γενικά, οι ΑΓ σύγχρονης τεχνολογίας, μικρού ή μεγάλου μεγέθους, αποδεικνύονται πλέον, αξιόπιστες και αποδοτικές διατάξεις, όπου η ονομαστική τους ισχύ έχει φτάσει στο επίπεδο των MW, με μήκος πτερυγίων 60 m και ιστό 100 m.

2.12 Κυριότερες κατηγορίες ΑΓ.

Οι ΑΓ μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου σε :

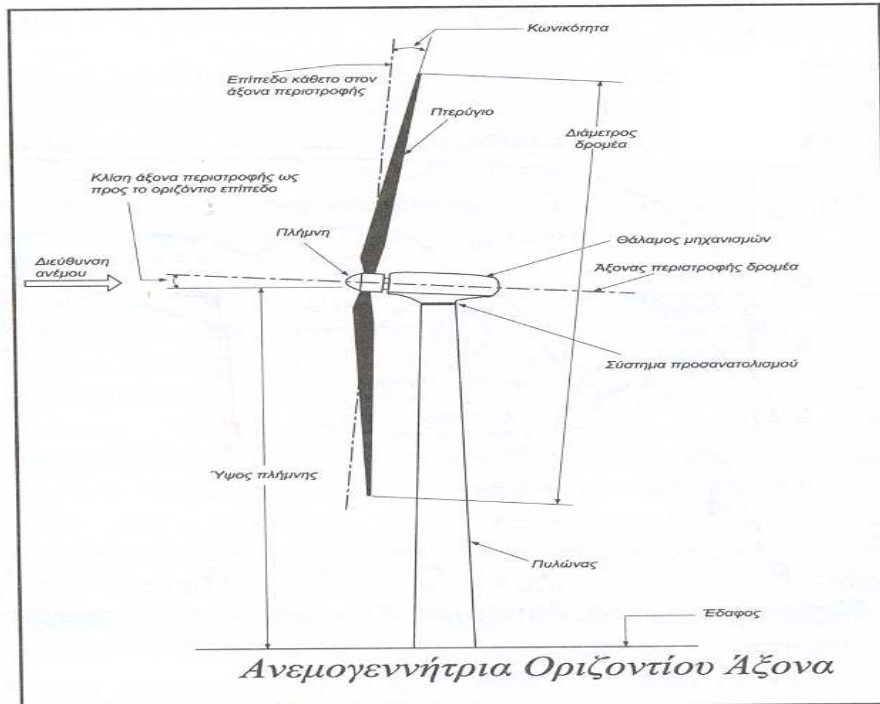
- A) Οριζοντίου άξονα, όπου ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου
- B) Οριζοντίου άξονα, όπου ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης αλλά κάθετος προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου
- Γ) Καθέτου άξονα, όπου ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος προς την επιφάνεια της γης και προς τη κατεύθυνση ροής του ανέμου.

2.12.1 ΑΓ οριζοντίου άξονα.

Οι ΑΓ οριζοντίου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου, αν και όπως είπαμε και παραπάνω, μπορεί να είναι και κάθετη προς τη διεύθυνση του ανέμου. Επίσης, οι ΑΓ μπορούν να έχουν περισσότερο από ένα πτερύγιο, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη, δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου.

Ανάμεσα στις ΑΓ οριζοντίου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασσικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων αμερικάνικου τύπου, οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.

Από την άλλη πλευρά στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζοντίου άξονα περιλαμβάνονται και οι ΑΓ που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα και οι οποίες ονομάζονται ΑΓ τύπου έλικας.



Σχήμα 18

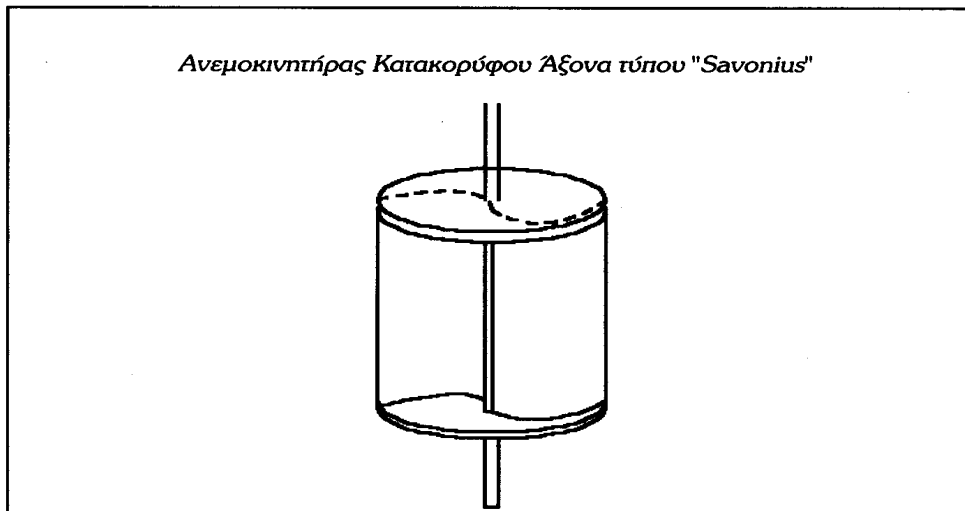
Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες ενώ τα πτερώγιά τους, που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σε αυτή της έλικας ελικοπτέρων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής, με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη ταχύτητα προσβολής των πτερωγίων από τον άνεμο. Οι πρώτοι δρομείς που κατασκευάστηκαν είχαν πλατιά πτερώγια, ενώ σήμερα κατασκευάζονται μηχανές με αρκετά λεπτά πτερώγια.

Στις μηχανές τύπου έλικας γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής και για λόγους προστασίας της σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων στην άκρη των πτερωγίων είτε με τη στροφή της πτερωτής υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την πτερωτή μεταφέρεται είτε μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της πτερωγώσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως και αυτή στον πύργο στήριξης. Οι μηχανές οριζοντίου άξονα συνεχίζουν να αναπτύσσονται σήμερα, ενώ έχουν κατασκευαστεί ή κατασκευάζονται μονάδες με ισχύ, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW.

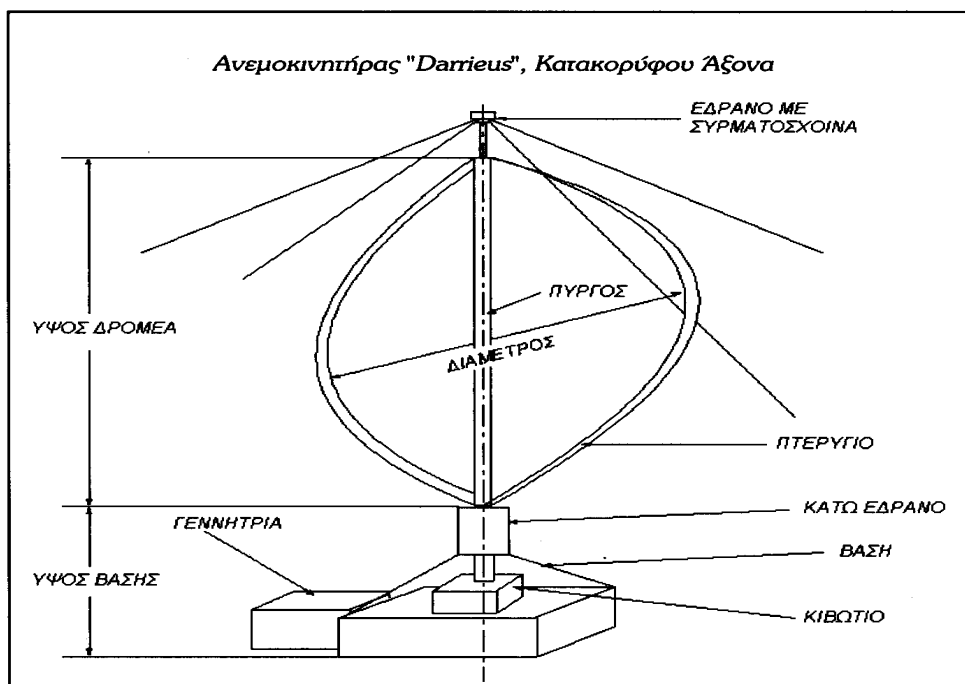
2.12.2 ΑΓ κατακόρυφου άξονα.

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, ως εκ τούτου αποτελούν και πιο απλές κατασκευές. Οι πλέον γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου Darrieus (σχήμα 20) και οι μηχανές τύπου

Savonius (σχήμα 19). Οι μηχανές τύπου Darrieus αποτελούν έναν από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ανεμοκινητήρων στη διεθνή αγορά.



Σχήμα 19



Σχήμα 20

Οι ΑΓ κατακορύφου άξονα περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο τόσο στη διεύθυνση του ανέμου, όσο και στο έδαφος. Οι αιολικές μηχανές του τύπου αυτού έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου. Υπάρχει αρκετή ποικιλία δρομέων κατακόρυφου άξονα, όμως ο δρομέας τύπου Darrieus είναι ο περισσότερο εξελιγμένος και ως εκ τούτου και ο περισσότερο διαδεδομένος. Με τη χρήση μηχανών του τύπου αυτού δίνεται η δυνατότητα να κατασκευαστούν μηχανές με ονομαστική ισχύ της τάξεως του ενός MW. Ένα

άλλο πλεονέκτημα των μηχανών κατακορύφου άξονα είναι ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται κατά κανόνα στο έδαφος, με αποτέλεσμα να απαιτείται ελαφρότερος πυλώνας και να διευκολύνεται η λειτουργία και η συντήρηση του όλου συστήματος.

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο σύστημα των μηχανών οριζοντίου άξονα, ακτός από το γεγονός ότι τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα κατακορύφως. Ο δρομέας στηρίζεται σε κατάλληλο έδρανο στη βάση του, το οποίο ακόμα και σε σταθερή ταχύτητα ανέμου καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία. Επίσης η μηχανή διατηρείται σε κατακόρυφη θέση με τη βοήθεια ανταντήρων, οι οποίοι συνδέουν την κορυφή του άξονα της μηχανής με το έδαφος.

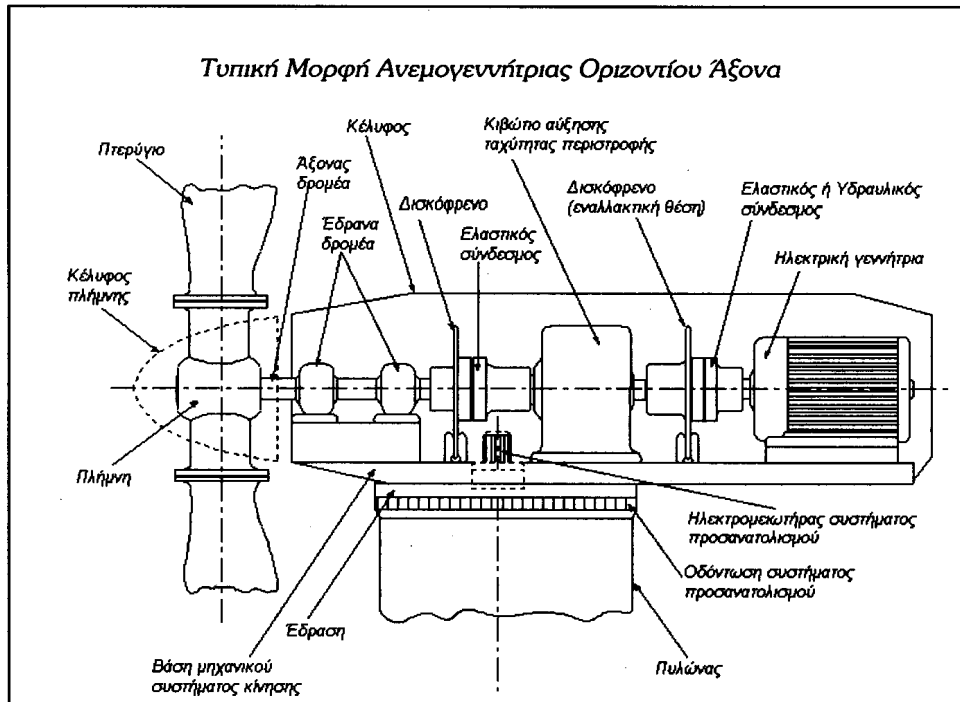
Τέλος οι ΑΓ τύπου Darrieus έχουν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες εκκίνησης και για μεγάλα συστήματα χρησιμοποιείται βοηθητικός κινητήρας για την εκκίνηση. Επιπλέον οι μηχανές του τύπου αυτού παρέχουν τελικά χαμηλότερο μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος. Συνοπτικά είναι αποδεκτό ότι οι ΑΓ κατακορύφου άξονα τύπου Darrieus θεωρούνται συγκρίσιμες σε οικονομικοτεχνική ελκυστικότητα με τις πλέον σύγχρονες ΑΓ οριζοντίου άξονα.

Αντίστοιχα οι ΑΓ τύπου Savonius παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή ισχύος, μικρή ακραία περιφερειακή ταχύτητα, περιορισμένο μέγεθος αλλά και εξαιρετική απλότητα και οικονομικότητα κατασκευής.

2.13 Βασικά τμήματα ΑΓ οριζοντίου άξονα.

Τα βασικά τμήματα μιας ΑΓ οριζοντίου άξονα είναι τα παρακάτω :

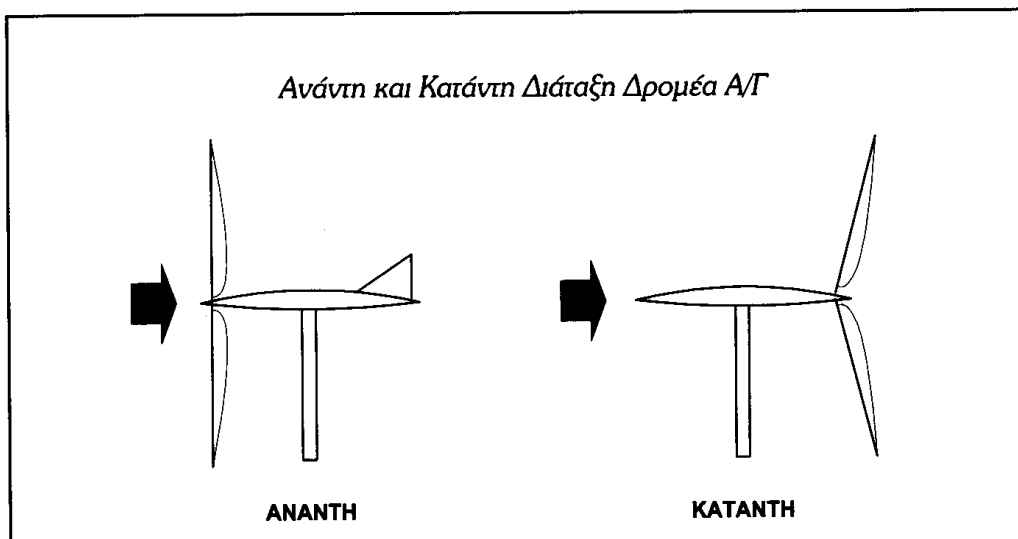
- A) Ο πυλώνας
- B) Η πτερωτή
- Γ) Ο άξονας περιστροφής
- Δ) Το σύστημα προσανατολισμού
- Ε) Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης
- ΣΤ) Η ηλεκτρική γεννήτρια
- Ε) Το σύστημα ελέγχου



Σχήμα 21

Στην περίπτωση του παραπάνω σχήματος, η πτερωτή της ΑΓ αποτελείται από πτερύγια, των οποίων το σχήμα έχει προέλθει από αντίστοιχα πτερύγια αεροπορικών κινητήρων και είναι κατασκευασμένα συνήθως από ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο πολυεστέρα, αλλά και από ξύλο σε συνδυασμό με ειδικές ρυτίνες. Μια τυπική μέθοδος κατασκευής πτερυγίων ΑΓ βασίζεται στη συνδυασμένη χρήση χάλυβα και πλαστικού, όπου το κεντρικό χαλύβδινο τμήμα απορροφά τα καμπτικά και στρεπτικά φορτία, ενώ χρησιμοποιούνται πλαστικά κελύφη τα οποία προσδίδουν την επιθυμητή αεροδυναμική μορφή στα πτερύγια.

Όπως ξέρουμε, η πτερωτή τοποθετείται είτε στα ανάντη είτε στα κατόντη του πύργου στηρίξεως και τα πτερύγια καλύπτουν ένα μικρό ποσοστό, από 2% - 10%, του εμβαδού της περιφέρειας που διαγράφουν. Όταν ο δρομέας λειτουργεί στα κατόντη του πύργου στηρίξεως έχουμε βέβαια αυξημένο επίπεδο αεροδυναμικού θορύβου, αλλά έχουμε και αυτόματο προσανατολισμό πτερωτής στη διεύθυνση του ανέμου. Στην ανάντη λειτουργία της πτερωτής εκλείπουν τα παραπάνω φαινόμενα, με αποτέλεσμα η διάταξη αυτή να προτιμάται σήμερα.



Σχήμα 22

Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, με το βαθμό απόδοσής τους, με το κόστος κατασκευής της ΑΓ καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων. Επιπλέον, θέματα που συνεκτιμούνται είναι η κυκλική μεταβολή της ροπής της μηχανής λόγω της καθ' ύψος μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και τα θέματα ζυγοστάθμισης των πτερυγίων.

Για λόγους ασφαλείας της ΑΓ, τα πτερύγια είναι συνήθως εφοδιασμένα με συστήματα αεροδυναμικής πέδησης, τα οποία διακόπτουν τη λειτουργία της μηχανής σε έκτακτες περιπτώσεις. Σε ειδικές κατασκευές εκτός από την παρουσία των αερόφρενων χρησιμοποιούνται και μικρά αλεξίπτωτα, που απελευθερώνονται φυγοκεντρικά μετά από κάποιο όριο στροφών και επιβραδύνουν την ΑΓ.

Για την βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς μιας πτερωτής ΑΓ, χρησιμοποιούνται πτερωτές μεταβλητού βήματος σε αντιδιαστολή με τις απλούστερες περιπτώσεις πτερωτών σταθερού βήματος. Η μεταβολή του βήματος μιας πτερωτής συνίσταται στην περιστροφή του πτερυγίου γύρω από το διαμήκη άξονά του, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας προσβολής του από τον άνεμο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής της ΑΓ, η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο έλεγχος παραγόμενης ισχύος, ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια κ.α.

Η πλήμνη αποτελεί το δεύτερο συστατικό της πτερωτής και περιλαμβάνει εκείνο το μέρος της ΑΓ πάνω στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια. Η τελική της μορφή εξαρτάται τόσο από το είδος της πτερωτής όσο και από τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας στη θέση σύνδεσης πτερυγίων και άξονα.

Ο άξονας της ΑΓ κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, ώστε να δύναται να μεταφέρει ισχυρές μη μόνιμες στρεπτικές και καμπτικές ροπές, ενώ η έδρασή του γίνεται συνήθως σε δύο ένσφαιρα έδρανα ικανά να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα εξασκούμενα φορτία.

Η δυνατότητα περιστροφής του άξονα σε διεύθυνση παράλληλη προς αυτή του ανέμου εξασφαλίζεται με τη χρήση καθοδηγητικών πτερυγίων και ειδικών αυτοματισμών. Η πλέον σύγχρονη μέθοδος προσανατολισμού στηρίζεται στη χρήση ειδικού αισθητηρίου και σερβομηχανισμού, που περιστρέφει την άτρακτο της μηχανής με τη βοήθεια οδόντωσης περιστροφής.

Ένα από τα σπουδαιότερα μέρη της ΑΓ είναι το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, που περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής, άνω των 1000rpm, στις οποίες λειτουργούν συνήθως οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός διβάθμιου συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 96%, ενώ για λόγους ασφαλείας η μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της ονομαστικής ισχύος της ΑΓ.

Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει επίσης, υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης στρεπτικών ταλαντώσεων. Το μηχανικό φρένο της ΑΓ τοποθετείται είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας περιστροφής, οπότε απαιτείται μικρή σχετικά δύναμη πέδησης, αλλά δεν προστατεύεται η πτερωτή από απώλεια φορτίου ή θραύση του συστήματος μετάδοσης κίνησης, είτε στον άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής. Στην τελευταία περίπτωση λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης απαιτείται φρένο αυξημένων διαστάσεων, βάρους και κόστους. Στην περίπτωση όμως αυτή προστατεύεται καλύτερα η πτερωτή και το κιβώτιο μετάδοσης, γι' αυτό και αποτελεί τη βέλτιστη τεχνικά λύση. Τέλος για λόγους πρόσθετης ασφάλειας, απαιτείται η αυτόματη ενεργοποίηση του φρένου με τη βοήθεια ελατηρίου, στην περίπτωση πτώσης της υδραυλικής πίεσης ή της ηλεκτρικής τάσης για την περίπτωση ηλεκτρομαγνητικού συστήματος πέδησης.

Για την προστασία των τμημάτων της ΑΓ από τις καιρικές συνθήκες χρησιμοποιείται ειδικό κέλυφος από σύνθετο υλικό, όπως ειδικά κράματα χάλυβα ή αλουμινίου, που στην περιοχή της πλήμνης πρέπει να έχει και αεροδυναμική μορφή. Επιπλέον, το κέλυφος της ΑΓ πρέπει να έχει αντιδιαβρωτική προστασία.

Ο πύργος στηρίξεως της ΑΓ αποτελείται συνήθως είτε από ένα μεταλλικό δικτύωμα, είτε από μια στήλη από μπετόν ή μεταλλικό σωλήνα για μεγαλύτερες ΑΓ. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει ειδική μέριμνα για εσωτερική σκάλα, ενώ για ΑΓ μεγάλων διαστάσεων υπάρχει πρόσθετη μέριμνα για εγκατάσταση ανελκυστήρα. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στηρίξεως είναι συνήθως ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής, ενώ κατά την εκλογή του πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο το αυξημένο κόστος κατασκευής και θεμελίωσης για μεγάλα ύψη όσο και η δυνατότητα αξιοποίησης υψηλότερων ταχυτήτων του ανέμου, με την αύξηση του ύψους τοποθέτησης της πτερωτής.

Τελειώνοντας πρέπει να αναφέρουμε και την ύπαρξη των ηλεκτρικών γεννητριών, που χρησιμοποιούνται για μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς και των συστημάτων αυτοματισμού. Επίσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και σπανιότερα ηλεκτρικές γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.

2.14 Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Για τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ενέργεια περιστρεφόμενης μηχανής, χρησιμοποιείται ειδικά διαμορφωμένη κατασκευή, η οποία τίθεται σε περιστροφή

από τον άνεμο και ονομάζεται *πτερωτή*. Στην πτερωτή, η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται, με ορισμένο ρυθμό, σε περιστροφική ενέργεια. Η ισχύς P_M , με την οποία αποδίδεται έργο στην αιολική μηχανή (ανεμόμυλος, ανεμογεννήτρια), χαρακτηρίζει τη δυνατότητά της για παραγωγή περαιτέρω μηχανικού έργου από τη διάταξη αυτή. Επειδή, όμως, ένα τμήμα της μάζας του αέρα που προσπίπτει στην πτερωτή, κατ' ανάγκη τη διαπερνά χωρίς να αποδίδει σ' αυτήν, την ενέργειά της, η *μέγιστη μηχανική ισχύς*, $P_{M,μ\epsilon\gamma}$, που θα μπορούσε να αποδώσει, θεωρητικά, ο άνεμος στην πτερωτή της αιολικής μηχανής, αποδεικνύεται ίση με :

$$P_{M,μ\epsilon\gamma} = C_{p,μ\epsilon\gamma} \cdot P_{av}$$

όπου $C_{p,μ\epsilon\gamma}$, ο ιδανικός συντελεστής (μηχανικής) απόδοσης της αιολικής μηχανής. Όπως προκύπτει, έχει την τιμή 0,593 και ονομάζεται *όριο Betz*. Δηλαδή, ιδανικά, μόνο το 59,3% της P_{av} , θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από μια πτερωτή.

Στην πράξη, ο συντελεστής απόδοσης, $C_p = P_M/P_{av}$, είναι μικρότερος του ορίου Betz και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της αιολικής μηχανής. Αν η πτερωτή συνδυάζεται με ηλεκτρογεννήτρια, τότε έχουμε μια ανεμογεννήτρια (ΑΓ). Συνεπώς, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς, από μια ΑΓ δίδεται από τη σχέση :

$$\Rightarrow P_{AG} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_p \cdot \eta_{μηχ} \cdot \eta_{ηλ} \cdot v^3$$

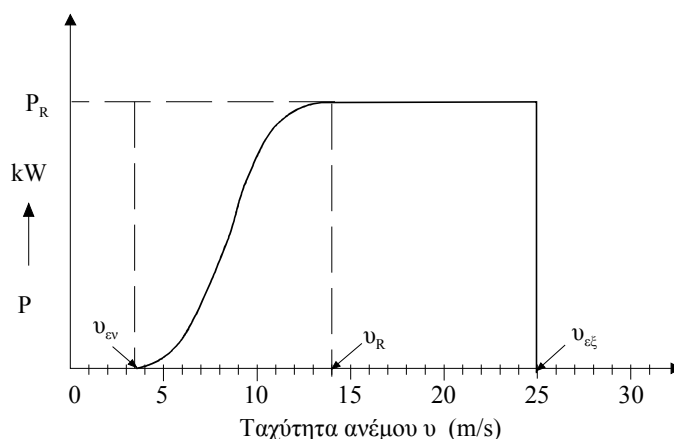
όπου

C_p : ο συντελεστής απόδοσης της αιολικής μηχανής και αφορά στη μετατροπή της αποδιδόμενης από τον άνεμο, στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, ενέργειας, σε περιστροφική,

$\eta_{μηχ}$: ο συντελεστής απόδοσης μηχανικών μερών της ΑΓ στην είσοδο της ηλεκτρογεννήτριας. Η μεταβιβαζόμενη ενέργεια προς την ηλεκτρογεννήτρια μειώνεται εξ αιτίας των τριβών στα σημεία έδρασης του άξονα περιστροφής των πτερυγίων (Bearing) και στα γρανάζια του κιβωτίου μετατροπής στροφών (gearbox), με τιμή μέχρι 95% και

$\eta_{ηλ}$, ο συντελεστής απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας, με τιμή μέχρι 80%.

Μια ΑΓ, ως μηχανική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας την κινητική ενέργεια του ανέμου, χαρακτηρίζεται από την αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ P_R (Rated), όταν βρίσκεται σε αιολικό πεδίο ορισμένης ταχύτητας αναφοράς. Ως ταχύτητα αναφοράς, v_R λαμβάνεται αυτή σε ύψος αναφοράς $h_R = 10$ m. Συνεπώς, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς, από μια ΑΓ, δεδομένης ονομαστικής ισχύος, εξαρτάται από το ύψος του ιστού τοποθέτησής της. Στο σχήμα 23, δίδεται η εξάρτηση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος, μιας ορισμένης ΑΓ, από την ταχύτητα του ανέμου. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου, μέχρι ορισμένη χαρακτηριστική τιμή, v_c (*ταχύτητα έναρξης λειτουργίας, cut-in-speed*), η αποδιδόμενη ισχύς είναι μηδενική, δηλαδή, η ΑΓ δεν λειτουργεί. Ομοίως, σε πολύ υψηλές ταχύτητες, μεγαλύτερες ενός ορίου $v_{εξ}$ (*ταχύτητα εξόδου, furling-speed*), η ΑΓ, για λόγους προστασίας της, ακινητοποιείται με χρήση κατάλληλου φρένου (μηχανικού ή ηλεκτρομαγνητικού), ή με μηχανισμό αυτόματου προσανατολισμού του επιπέδου της πτερωτής, παράλληλα με την κατεύθυνση ροής του ανέμου. Σε ταχύτητες μεγαλύτερες της v_R , ειδική διάταξη διατηρεί σταθερή (ή περίπου σταθερή) την αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ, ίση με την P_R .



Σχήμα 23 . Τυπική γραφική παράσταση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος ΑΓ, σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, $υ$. Σημειώνονται τα χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης ισχύος, δηλαδή, η ταχύτητα ανέμου $υ_{εν}$, στην οποία αρχίζει να λειτουργεί η ΑΓ (ταχύτητα έναρξης) και η ταχύτητα ανέμου $υ_{εξ}$, που αποτελεί το άνω όριο κανονικής λειτουργίας της ΑΓ. Μετά την ονομαστική τιμή της ταχύτητας, $υ_R$, της ΑΓ, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς διατηρείται, πρακτικά, σταθερή, ίση με την ονομαστική, P_R .

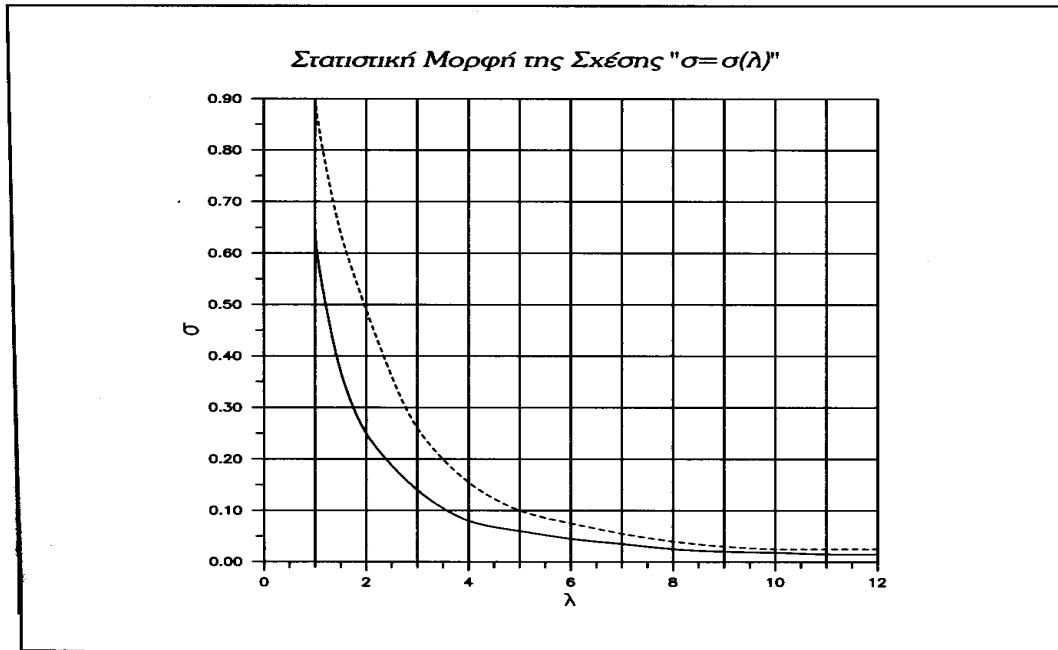
2.15 Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη ΑΓ.

Κατά τον σχεδιασμό και την επιλογή μιας εγκατάστασης αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, οι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη και χαρακτηρίζουν μια ΑΓ που πρόκειται να επιλεγεί είναι :

Α) Η διάμετρος πτερωτής της ΑΓ D , η οποία καθορίζει το εμβαδόν το οποίο σαρώνει η πτερωτή και συνεπώς την ενεργό επιφάνεια δια μέσου της οποίας επιχειρούμε να αξιοποιήσουμε την αιολική ενέργεια. Με βάση τώρα τη μέση ροή ενέργειας μιας περιοχής καθώς και το ποσοστό το οποίο μπορούμε να αξιοποιήσουμε, είναι δυνατός ο κατ' αρχήν καθορισμός της διαμέτρου της πτερωτής, εφ' όσον είναι γνωστή η απαιτούμενη ισχύς.

Β) Το ύψος τοποθέτησης H , για μηχανές οριζοντίου άξονα ή απλά το ύψος του δρομέα για μηχανές κατακόρυφου άξονα. Όπως ξέρουμε, αυξανόμενου του ύψους αυξάνεται το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, αφετέρου το βάρος και το κόστος εγκατάστασης. Επιπλέον υπάρχουν και περιορισμοί ελαχίστου ύψους, που βασίζονται στο γεγονός ότι τα πτερύγια δεν πρέπει να βρίσκονται πολύ κοντά στο έδαφος για να αποφεύγονται φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους. Εν γένει το ύψος ενός ανεμοκινητήρα καθορίζεται με βάση τη διάμετρο της πτερωτής και οι χρησιμοποιούμενες αριθμητικές τιμές είναι μεταξύ του $H/D = 1$ και $H/D = 1,5$.

Γ) Το πλήθος των πτερυγίων z της πτερωτής το οποίο συνδέεται και με τη στιβαρότητα σ της μηχανής. Χρησιμοποιώντας το παρακάτω σχήμα, όπου παρουσιάζονται τυπικές τιμές $\sigma = \sigma(\lambda)$ για διάφορες ΑΓ, είναι δυνατή η εκτίμηση του πλήθους των πτερυγίων.

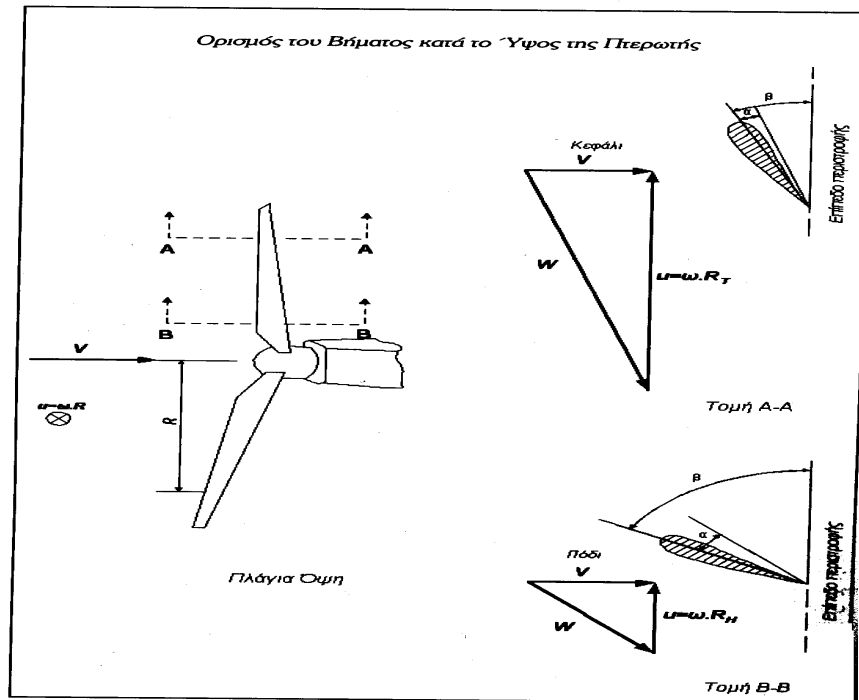


Σχήμα 24

Δ) Το είδος των πτερυγίων της πτερωτής, που περιλαμβάνει αφενός τον τύπο πτερυγίων, δηλαδή αν αυτά ανήκουν σε κάποια τυποποιημένη κατηγορία ή όχι, το πάχος τους, τη συστροφή τους, αφετέρου τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους.

Ε) Η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής n της πτερωτής, η οποία καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε περιπτώσεις διασυνδεδεμένων μηχανών και η αντοχή των πτερυγίων σε φυγόκεντρες τάσεις.

Στ) Το βήμα της πτερωτής $\beta = \beta(r)$, το οποίο ορίζεται από τη γωνία β η οποία σχηματίζεται από τη χορδή της αεροτομής και από το επίπεδο περιστροφής της πτερωτής, σχήμα 25. Το βήμα της πτερωτής αποτελεί γεωμετρικό στοιχείο αυτής και συνήθως μεταβάλλεται από το πόδι έως το κεφάλι των πτερυγίων, δηλαδή $\beta = \beta(r)$. Το βήμα της έλικας μειώνεται συνήθως από το πόδι έως το κεφάλι της πτερύγωσης, ενώ ο τρόπος μεταβολής του βήματος κατά το ύψος του πτερυγίου αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία επιτυχούς σχεδιασμού του δρομέα.



Σχήμα 25

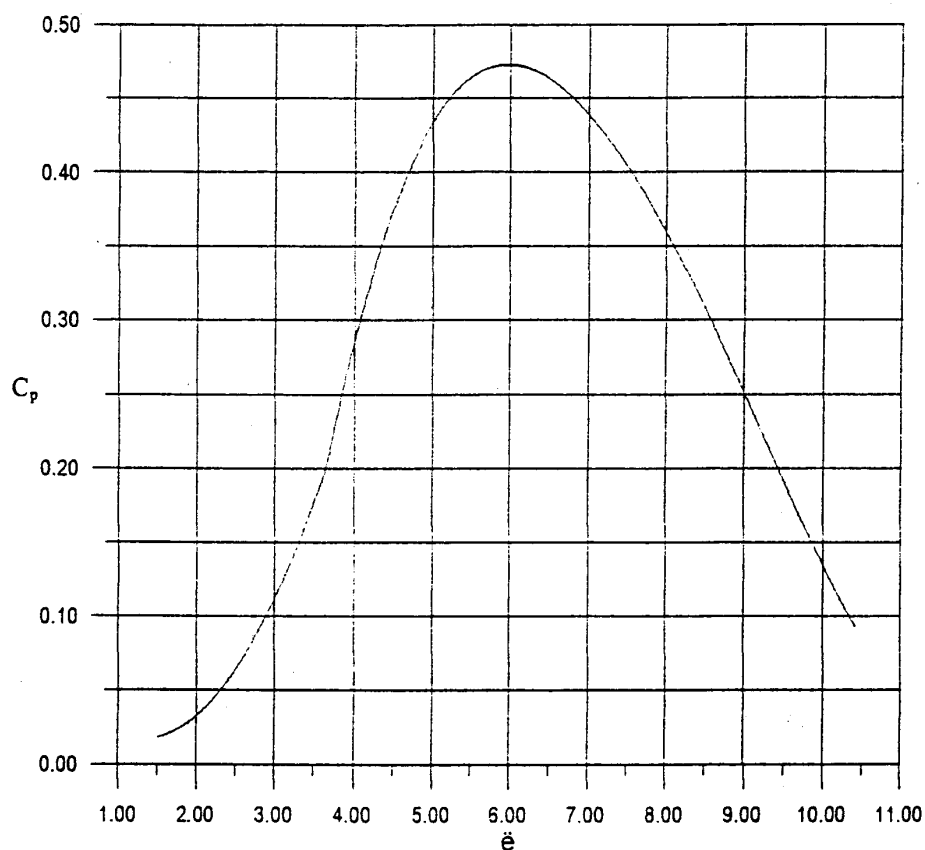
Z) Ο συντελεστής ισχύος C_p της ΑΓ, αποτελεί στην ουσία τον αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης της περρωτής. Ο συντελεστής αυτός περιγράφει το ποσοστό της ισχύος του ανέμου που εκμεταλλεύεται η περρωτή της μηχανής. Για μια ιδανική έλικα ο συντελεστής ισχύος δεν είναι δυνατόν να υπερβεί το όριο του Betz δηλαδή :

$$C_p \leq \frac{16}{27} = 0.593$$

Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος είναι πάντοτε αρκετά μικρότερος του ορίου του Betz, λόγω της συνεκτικότητας του ανέμου, του πεπερασμένου αριθμού των πτερυγίων της περρωτής και της απώλειας κινητικής ενέργειας, που δεν μετατρέπεται σε στατική πίεση λόγω της μη βέλτιστης σχεδίασης των πτερυγίων της ΑΓ.

Η τιμή του αεροδυναμικού συντελεστή C_p εξαρτάται και από τη γωνία σφήνωσης α των πτερυγίων της έλικας. Πρόκειται ουσιαστικά για μια σχέση της μορφής :

$$C_p = C_p(\lambda, \alpha)$$



Τυπικό διάγραμμα $C_p(\lambda)$ για μια γωνία σφήνωσης α .

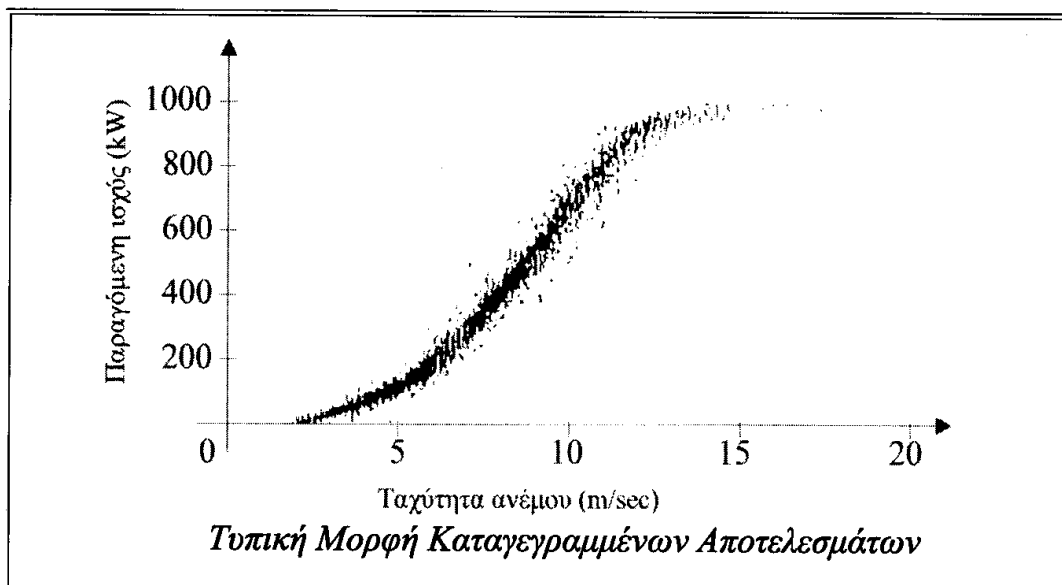
Σχήμα 26

2.16 Πρότυπη καμπύλη λειτουργίας ΑΓ.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της καμπύλης λειτουργίας μιας ΑΓ ακολουθούνται συγκεκριμένες πρότυπες διαδικασίες, όπως αυτές καθορίζονται από τους διεθνείς οργανισμούς προτυποποίησης.

Αντίστοιχα στη χώρα μας, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, η έγκριση τύπου μιας συγκεκριμένης ΑΓ, η οποία περιλαμβάνει και μέτρηση χαρακτηριστικής λειτουργίας της μηχανής, γίνεται από το ΚΑΠΕ σε συνδυασμό με τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης ΕΛΟΤ.

Συνοπτικά η διαδικασία πιστοποίησης της καμπύλης λειτουργίας ενός τύπου ΑΓ περιλαμβάνει εξωτερικές δοκιμές του πρωτοτύπου σε επιλεγμένες εγκαταστάσεις των εταιριών πιστοποίησης, όπου η ΑΓ λειτουργεί για προκαθορισμένες ώρες λειτουργίας κάτω από λεπτομερώς μετρούμενες συνθήκες περιβάλλοντος, ταχύτητας ανέμου και τοπογραφικού ανάγλυφου. Τυπική μορφή των συλλεγθέντων αποτελεσμάτων δίνεται στο σχήμα 27.



Σχήμα 27

Στη συνέχεια οι μετρήσεις συγκεντρώνονται, ομαδοποιούνται και επεξεργάζονται, οπότε προκύπτει μέσα από διαδικασία εύρεσης μέσης τιμής ισχύος για προκαθορισμένο εύρος ταχυτήτων, η επεξεργασμένη καμπύλη ΑΓ. Μετά τον έλεγχο του συνόλου των απαραίτητων προϋποθέσεων εκδίδεται πιστοποιητικό έγκρισης τύπου.

2.17 Προβλήματα στη βιομηχανική κατασκευή των ΑΓ.

Όπως είναι κατανοητό, υπάρχουν προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ΑΓ οριζοντίου άξονα και ειδικά οι μηχανές τύπου έλικα. Ανάμεσα στα προβλήματα που διερευνώνται σήμερα είναι :

Α) Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος σχεδιασμός των παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα της ΑΓ, δηλαδή του αριθμού πτερυγίων, της διανομής του πλάτους του πτερυγίου, της κατάλληλης αεροτομής που θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση του πτερυγίου, της συστροφής του πτερυγίου, της διανομής του βήματος κ.λ.π.

Β) Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα. Ένα κρίσιμο θέμα της κατηγορίας αυτής αποτελεί η ροπή εκκίνησης του δρομέα.

Γ) Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα. Η ρύθμιση του βήματος γίνεται είτε σε ολόκληρο το πτερύγιο είτε σε μέρος του, με σκοπό αφενός τον περιορισμό της ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, αφετέρου τη διατήρηση σταθερών στροφών της μηχανής. Επιπλέον, τα συστήματα αυτοματισμών πρέπει να επιτρέπουν την εκκίνηση της πτερωτής για ταχύτητα ανέμου ίση με την ταχύτητα έναρξης της λειτουργίας της ΑΓ, και να διακόπτουν

τη λειτουργία της πτερωτής για πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου ή σε περιπτώσεις που η παραγόμενη αιολική ισχύς δεν γίνεται αποδεκτή από το δίκτυο.

Δ) Προσανατολισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου.

Ε) Προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν ίσως τα βασικότερα προβλήματα κατασκευής ανεμοκινητήρων υψηλής αξιοπιστίας, δεδομένου ότι ο άνεμος εξασκεί πάνω στα πτερύγια και στις αντίστοιχες εδράσεις των σημαντικές δυνάμεις, ιδιαίτερα για μεγάλων διαστάσεων μηχανές.

Στ) Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος. Ο ακριβής καθορισμός του ύψους του δρομέα από το έδαφος πρέπει να συνεκτιμά τη μορφή του πεδίου ροής, που προσβάλλει την πτερωτή. Εν γένει έχουμε αύξηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος, με παράλληλη όμως αύξηση της δαπάνης κατασκευής της εγκατάστασης. Απαιτείται συνεπώς μια πλήρης οικονομικοτεχνική μελέτη για τον καθορισμό του βέλτιστου ύψους μιας ΑΓ.

Ζ) Κατασκευή του πύργου στηρίξεως και θεμελίωσή του. Ο πύργος στηρίξεως πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις.

Η) Μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή και η επίδραση του ομόρρου στο περιβάλλον καθώς και σε πιθανές επόμενες ΑΓ. Στόχος της εν λόγω ανάλυσης είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης ανεμοκινητήρων σε διάφορες διατάξεις καθώς και ο καθορισμός της ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης μεταξύ των μηχανών, με τον περιορισμό χρήσης του ελάχιστου δυνατού εμβαδού, ώστε να μεγιστοποιείται η αξιοποίηση της γης.

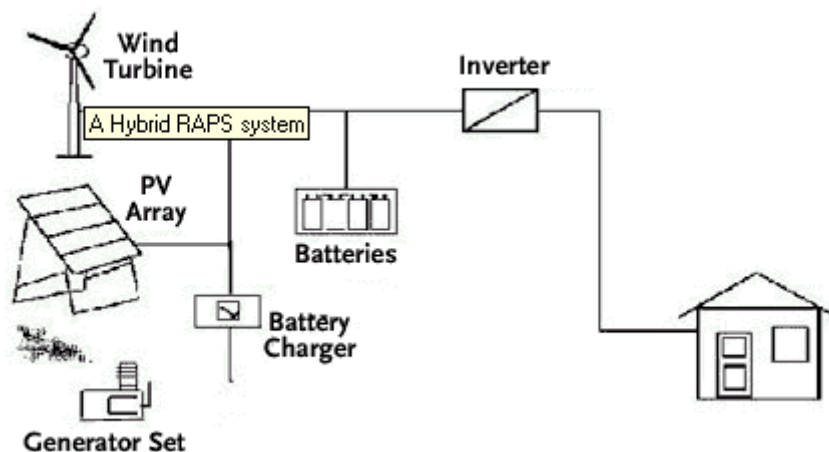
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Μεθοδολογία υπολογισμού υβριδικού συστήματος.

3.1.1 Γενικά για τα υβριδικά συστήματα.

Τα υβριδικά συστήματα είναι σχεδιασμένα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα. Τα υβριδικά συστήματα εξ' ορισμού περιέχουν ένα αριθμό συσκευών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως ΑΓ, ΦΒ και Η/Ζ, δηλαδή βοηθητική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Από τεχνοοικονομική άποψη αυτό έχει σκοπό την βέλτιστη κάλυψη των ηλεκτρικών ενεργειακών απαιτήσεων μιας εφαρμογής που είναι γνωστή ως υβριδικό ΦΒ σύστημα. Οι μέθοδοι υπολογισμού ενός υβριδικού ΦΒ συστήματος ποικίλουν. Για αυτό δημιουργήθηκαν λογισμικά για τον προσδιορισμό των συγκεκριμένων συνιστωσών.



Σχήμα 28 : Απεικόνιση ενός ΦΒ υβριδικού συστήματος με ΑΓ και Η/Ζ.

Οι κυριότερες περιπτώσεις ΦΒ υβριδικών συστημάτων είναι οι παρακάτω :

- Α) ΦΒ συστοιχία και συσσωρευτής
- Β) ΦΒ συστοιχία, συσσωρευτής και Η/Ζ
- Γ) ΦΒ συστοιχία, ανεμογεννήτρια, συσσωρευτής και Η/Ζ.

Η τελευταία περίπτωση περιλαμβάνει τη μεθοδολογία που αφορά τις δύο πρώτες περιπτώσεις με τις κατάλληλες προσαρμογές.

Σε ένα υβριδικό σύστημα, ενδιαφερόμαστε για τον προσδιορισμό των υποσυστημάτων του, ανάλογα με την απαίτηση για ολική ή μερική κάλυψη των μέσων ημερήσιων, μηνιαίων ή ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων, των καταναλώσεων της εφαρμογής. Για τον συγκεκριμένο λόγο γίνονται και οι

ενεργειακοί υπολογισμοί, αλλά εμείς ειδικότερα ενδιαφερόμαστε για τους παρακάτω προσδιορισμούς :

- των μεγεθών των συντιθέμενων ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών, π.χ. ΦΒ συστοιχίας και ΑΓ
- της χωρητικότητας του συσσωρευτή αν απαιτείται
- των χαρακτηριστικών των ηλεκτρονικών διατάξεων προσαρμογής και μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας, για όσα από τα μεγέθη αυτά κρίνεται απαραίτητη η παρουσία
- των τεχνικών χαρακτηριστικών της συμβατικής πηγής, σύμφωνα με το βαθμό συμμετοχής της στην κάλυψη των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής.

3.2 Μεθοδολογία καθορισμού της ονομαστικής ισχύος ΑΓ.

Για να υπολογίσουμε την ονομαστική ισχύ της καταλληλότερης ΑΓ για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, απαιτούνται :

Α) Οι ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής, στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο χρήσης. Συνήθως, καταγράφονται οι ενεργειακές καταναλώσεις σε κάθε ιδιαίτερη χρονική περίοδο μέσα στο έτος και τελικά προσδιορίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές ανά έτος και ανά μήνα.

Β) Ανεμολογικά στοιχεία για τη συγκεκριμένη θέση εγκατάστασης, με βάση το τυπικό μετεωρολογικό έτος του τόπου. Συνήθως, καταγράφονται οι ταχύτητες του ανέμου, σε βραχεία χρονικά διαστήματα, π.χ. ανά 20 s. Μετά από επεξεργασία των δεδομένων αυτών προσδιορίζονται οι μέσες τιμές ταχυτήτων ανέμου καθώς και η κατανομή της πιθανότητας εμφάνισής τους, ανά μήνα και ετησίως. και

Γ) Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος ΑΓ, που δίδονται από τους κατασκευαστές. Απαιτούνται στοιχεία για τις τους τύπους και τα μεγέθη ανεμογεννητριών, που μπορούν να λειτουργήσουν στην περιοχή ταχυτήτων της θέσης εγκατάστασης.

Ο προσδιορισμός της ονομαστικής ισχύος της ΑΓ βασίζεται στην αρχή διατήρησης της ενέργειας, δηλαδή:

$$\bar{P}_κ = \bar{P}_{Α/Γ}$$

με $\bar{P}_κ = \frac{E_κ}{T}$ (η μέση ημερήσια ισχύς κατανάλωσης) και

$$\bar{P}_{ΑΓ} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{ΑΓ}(t) dt = \int_0^\infty P_{ΑΓ}(v) \cdot f(v) dv \quad (\text{ η μέση ημερήσια ισχύς }),$$

με $P_{ΑΓ}$ την στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς που παρέχεται από την ΑΓ και η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και με $f(v)$ την συνάρτηση πυκνότητας κατανομής στο χώρο των ταχυτήτων του ανέμου. Εδώ χρησιμοποιούμε πιο συχνά τον συντελεστή ισχύος $\eta_{ΑΓ}$ που ορίζεται σαν την παροχή ηλεκτρικής ισχύς προς την P_R (όπου P_R η ονομαστική ισχύς της ΑΓ) :

$$\eta_{ΑΓ} = \frac{P_{ΑΓ}}{P_R} \quad (1)$$

Η παραπάνω σχέση σε συνδυασμό με την σχέση (1) δημιουργούν μια καινούργια :

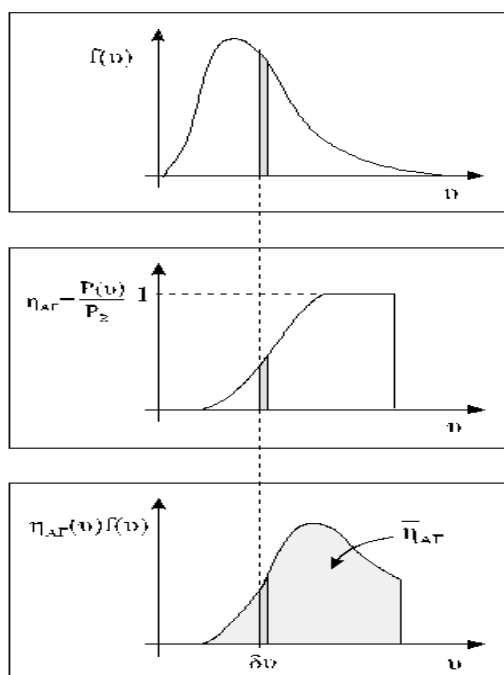
$$\bar{P}_{AG,i} = \left(\int_0^{\infty} \frac{P_{AG}(u)}{P_R} f_i(u) du \right) \cdot P_R = \bar{\eta}_{AG,i} \cdot P_R \quad (2)$$

με $\bar{\eta}_{AG,i}$ τον μέσο συντελεστή ισχύος της ΑΓ για συγκεκριμένο μήνα I :

$$\bar{\eta}_{AG,i} = \int_0^{\infty} \eta_{AG,i} \cdot f_i(u) du \quad (3)$$

Αν τώρα γνωρίζουμε τις κατανομές του συντελεστή ισχύος σε συνάρτηση με την ταχύτητα και η συνάρτηση κατανομής της πυκνότητας πιθανότητας εμφάνισης ανέμων, $f(u)$, σε κάθε ταχύτητα u , μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέσο συντελεστή ισχύος για το διάστημα δu .

Έτσι για να υπολογίσουμε την ονομαστική ισχύ της καταλληλότερης ΑΓ χρειαζόμαστε Το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ της παρεχόμενης από την ανεμογεννήτρια μέσης (ημερήσιας, μηνιαίας ή ετήσιας) ηλεκτρικής ισχύος και της αντίστοιχης μέσης ισχύος κατανάλωσης της συγκεκριμένης εφαρμογής.



Σχήμα 29 . Σχηματική παράσταση που περιγράφει τον υπολογισμό του συντελεστή ισχύος, για ένα ορισμένο μήνα. Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη $\eta_{AG}(u)f(u) - u$, αποτελεί τον μέσο συντελεστή, για το μήνα αυτό. Τα διαγράμματα αυτά, για λόγους απλότητας, δίδονται με τη μορφή συνεχών ομαλών καμπυλών. Στην πράξη, έχουν τη μορφή ιστογράμματος, με βήμα δu .

Δημιουργούμε έτσι για κάθε μήνα, ένα πίνακα με 4 στήλες όπου για ορισμένο βήμα δu καταγράφουμε τα παρακάτω :

A) Τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου

B) τις αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης κατανομής της πυκνότητας πιθανότητας $f(u)$, του ανέμου, η οποία προκύπτει με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής. Συγκεκριμένα το $f(u) = \frac{dp}{du} = \frac{dt}{T \cdot \delta u}$ όπου $dp = \frac{dt}{T}$ η πιθανότητα

εμφάνισης ανέμων με ταχύτητα, της οποίας το μέτρο βρίσκεται μέσα στην περιοχή ταχυτήτων u και $u+\delta u$, όπου du , το βήμα ταχυτήτων ανέμου και dt το χρονικό διάστημα μέσα στο συνολικό χρόνο T , στο οποίο έπνεαν άνεμοι με ταχύτητα στο συγκεκριμένο διάστημα u και $u+\delta u$.

Γ) τις τιμές του συντελεστή ισχύος, $\eta_{AΓ}$, σε κάθε ταχύτητα ανέμου, με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή.

Δ) Σε κάθε ταχύτητα u , υπολογίζεται, το γινόμενο $\eta_{AΓ} \cdot f(u) \cdot \delta u$.

Ε) Το άθροισμα των γινομένων αυτών αποτελεί τον ζητούμενο $\bar{\eta}_{AΓ}$, για το μήνα αυτό.

Ένα παράδειγμα τέτοιου πίνακα είναι το επόμενο:

Πίνακας 2

u m/s	$\eta_{AΓ}(u)$	Πυκνότητα πιθανότητας, $f(u)$	$\eta_{AΓ}(u) \cdot f(u) \cdot \delta u$
1	0,00	0,00593	0,00000
2	0,00	0,07917	0,00000
3	0,00	0,12341	0,00000
4	0,05	0,13219	0,00661
5	0,13	0,1273	0,01655
6	0,22	0,10625	0,02338
7	0,38	0,08587	0,03263
8	0,51	0,0697	0,03555
9	0,67	0,05204	0,03487
10	0,83	0,03769	0,03128
11	1,00	0,02651	0,02651
12	1,00	0,0171	0,01710
13	1,00	0,01056	0,01056
14	1,00	0,00562	0,00562
15	1,00	0,0028	0,0028
16	1,00	0,00015	0,00011
17	1,00	0,00012	0,00010
18	1,00	0,00006	0,00006
19	1,00	0,00004	0,00004
20	1,00	0,00002	0,00002
21	1,00	0,00001	0,00001
22	1,00	0	0,00000
23	1,00	0	0,00000
24	1,00	0	0,00000
25	0,00	0	0,00000
26	0,00	0	0,00000

$$\bar{\eta}_{AΓ} = \sum \eta_{AΓ}(u) \cdot f(u) \cdot \delta u = 0,24385$$

3.3 Διαδοχικά βήματα προσδιορισμού της ονομαστικής ισχύος ΑΓ. Περίπτωση πλήρους κάλυψης φορτίου.

Μελετώντας τα παραπάνω συστήματα συνήθως αναφερόμαστε σε μηνιαία ή ετήσια μέση ημερήσια ισχύ. Αν πάρουμε ως $\bar{P}_{L,i}$ τη μηνιαία μέση ισχύ κατανάλωσης για μήνα I και $\bar{P}_{AG,i}$ την αντίστοιχη μηνιαία μέση ισχύ που παράγεται από την ΑΓ, θα έχουμε την παρακάτω σχέση :

$$\bar{P}_{AG,i} \geq \frac{\bar{P}_{L,i}}{\eta_{μετ}} \quad (4)$$

Η παραπάνω σχέση επιβάλλεται από την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων με $\eta_{μετ}$ τον συντελεστή μεταφοράς ενέργειας από την έξοδο της ανεμογεννήτριας μέχρι την έξοδο του αιολικού συστήματος. Ο συνδυασμός της παραπάνω σχέσης με την σχέση δίνει :

$$P_{R,i} = \frac{\bar{P}_{L,i}}{\eta_{μετ} \cdot \bar{\eta}_{AG,i}} \quad (5)$$

Η σχέση αυτή οδηγεί στον υπολογισμό της ονομαστικής ισχύος της καταλληλότερης ανεμογεννήτριας για πλήρη κάλυψη των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής.

Έτσι μπορούμε να προσδιορίσουμε 12 τιμές (όσοι και οι μήνες) ονομαστικής ισχύος ΑΓ. Μεταξύ αυτών των τιμών θα επιλέξουμε τη μέγιστη ονομαστική ισχύ έτσι ώστε να έχουμε πλήρη κάλυψη φορτίου. Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα παρακάτω :

A) Η ημερήσια τιμή για κάθε μήνα του έτους για ισχύ κατανάλωσης $\bar{P}_{L,i}$ καθορίζεται με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία ενεργειακών απαιτήσεων ή με πρόβλεψη κατανάλωσης φορτίων.

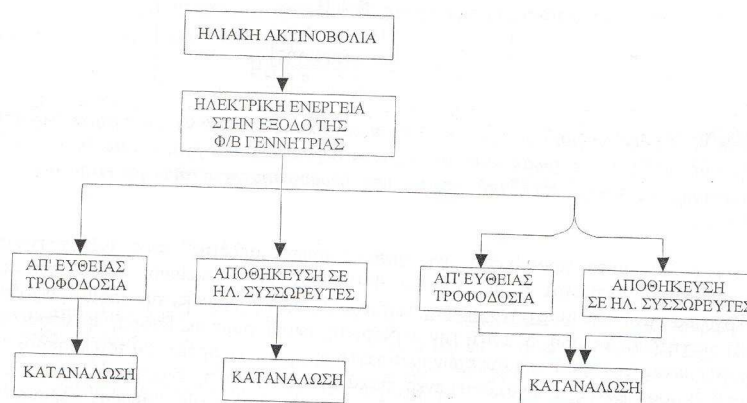
B) Υπολογίζουμε τις τιμές των δώδεκα μηνιαίων μέσων τιμών του συντελεστή ισχύος, $\bar{\eta}_{AG}$. Για να υπολογιστούν πρέπει να αξιοποιήσουμε τα παρακάτω :

- Δεδομένα για την εξάρτηση της αποδιδόμενης ισχύος από την ταχύτητα του ανέμου, για εκείνους τους τύπους ΑΓ με υψηλή απόδοση στη χαρακτηριστική για τον τόπο εγκατάστασης, περιοχή ταχυτήτων ανέμου.
- Ανεμολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης της ΑΓ από τα οποία προσδιορίζεται η συνάρτηση κατανομής της πιθανότητας εμφάνισης ανέμων ταχύτητας u, για κάθε μήνα του έτους.

Γ) Αφού συλλέξουμε τα στοιχεία των δώδεκα μηνών εφαρμόζουμε τη σχέση . Έπειτα επιλέγουμε εκείνη την ΑΓ η οποία έχει τη μέγιστη ονομαστική ισχύ μεταξύ των δώδεκα τιμών P_R .

3.4 Μεθοδολογία υπολογισμού των χαρακτηριστικών ενός ΦΒ συστήματος.

Η γενική ιδέα σε αυτή τη μεθοδολογία είναι ότι η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία συλλέγεται, μετατρέπεται σε ηλεκτρική και είτε χρησιμοποιείται απ' ευθείας, είτε αποθηκεύεται όλη σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές. Στην πρώτη περίπτωση τροφοδοτούμε συγκεκριμένη κατανάλωση ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιούμε την ενέργεια η οποία έχει αποθηκευτεί στους συσσωρευτές για τις ανάγκες κατά τη διάρκεια της νύκτας. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα :

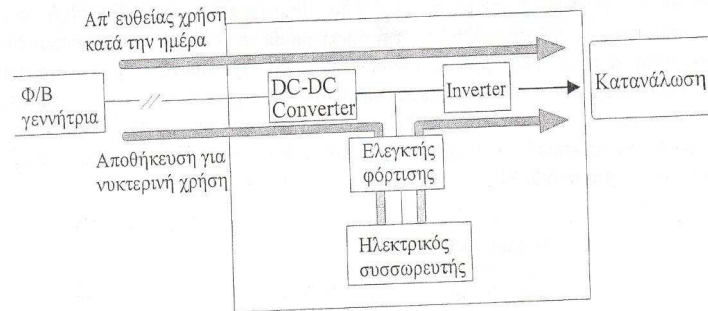


Σχήμα 30 : Οι τρεις διακριτοί τρόποι αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας, που παρέχεται από μια ΦΒ γεννήτρια.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιείται είτε ως ενέργεια συνεχούς ρεύματος, είτε να μετατρέπεται σε ενέργεια εναλλασσομένου ρεύματος το οποίο ενδείκνυται στις περισσότερες εφαρμογές οικιακής χρήσης.

Πάντως ένα μέρος της ενέργειας αυτής χάνεται στη διαδρομή, δηλαδή κατά τη διάρκεια μεταφοράς της από την είσοδο του ΦΒ συστήματος στο χώρο τελικής μετατροπής και αξιοποίησής της μέχρι την έξοδο. Οι δύο λόγοι είναι οι παρακάτω :

- 1) Αύξηση της θερμοκρασίας των καλωδίων και των ηλεκτρονικών διατάξεων του ΦΒ σταθμού
- 2) Εκπομπή της στο περιβάλλον.



Σχήμα 31 : Οι δύο δρόμοι εκμετάλλευσης της παραγόμενης από την ΦΒ γεννήτρια, ηλεκτρικής ενέργειας. Απ' ευθείας χρήση κατά τη διάρκεια της ημέρας και χρήση κατά τη νύκτα ή τις συννεφιασμένες μέρες, μετά από αποθήκευση μέρους της παραγόμενης, κατά την ημέρα, ενέργειας.

Το κεντρικό ζητούμενο πάντως για αυτή τη μελέτη είναι να προσδιοριστούν τα στοιχεία των επί μέρους συστημάτων του ΦΒ σταθμού, δηλαδή της ΦΒ γεννήτριας, της γραμμής μεταφοράς, των ηλεκτρονικών ισχύος και του ηλεκτρικού συσσωρευτή, αν απαιτείται, ώστε η παραγόμενη ενέργεια, στη ΦΒ γεννήτρια, να καλύπτει τις ημερήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής.

3.5 Υπολογισμός της ονομαστικής ισχύς της ΦΒ γεννήτριας.

Έστω ότι έχω μια ΦΒ γεννήτρια η οποία παράγει σε μια μέρα ενέργεια ίση με $E_{\eta\lambda,\Phi B}$. Ένα μέρος της ενέργειας αυτής, όπως είπαμε, καταναλώνεται απ' ευθείας και ένα άλλο αποθηκεύεται. Έστω $E_{\eta\lambda,\Phi B}^a$ αυτό που καταναλώνεται άμεσα και $E_{\eta\lambda,\Phi B}^e$ αυτό που χρησιμοποιείται έμμεσα :

$$E_{\eta\lambda,\Phi B} = E_{\eta\lambda,\Phi B}^a + E_{\eta\lambda,\Phi B}^e \quad (6)$$

Η ενέργεια που απαιτούν τα στοιχεία κατανάλωσης της εφαρμογής E_k είναι :

$$E_k = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \quad (7)$$

Όμως το $E_k = E_{k,a} + E_{k,e}$ δηλαδή η ενέργεια που αφορά φορτία που τροφοδοτούνται απ' ευθείας από την ΦΒ γεννήτρια και η ενέργεια η οποία προέρχεται από τον συσσωρευτή της εγκατάστασης αντίστοιχα.

Έστω ότι h_a και h_e οι συνολικοί συντελεστές ενεργειακών μετατροπών κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή στην κατανάλωση. Ο πρώτος συντελεστής αφορά στη χρησιμοποίηση της ενέργειας άμεσα ενώ ο δεύτερος στη μεταφορά της ενέργειας στους συσσωρευτές. Άρα μπορούμε να βγάλουμε με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας το παρακάτω :

$$E_{\eta\lambda, \Phi B}^{\alpha} = \frac{E_{\kappa, \alpha}}{h_{\alpha}} \quad \text{και} \quad E_{\eta\lambda, \Phi B}^{\varepsilon} = \frac{E_{\kappa, \varepsilon}}{h_{\varepsilon}}$$

Άρα

$$E_{\eta\lambda, \Phi B} = \frac{E_{\kappa, \alpha}}{h_{\alpha}} + \frac{E_{\kappa, \varepsilon}}{h_{\varepsilon}} \quad (8)$$

Έχουμε δηλαδή το άθροισμα των ενεργειών που δίδουν όλα τα ΦΒ πλαίσια μαζί αριθμού N και ισχύ αιχμής P_P .

Για πρότυπες συνθήκες, δηλαδή για συνθήκες κάτω από τις οποίες η ΦΒ γεννήτρια είναι συνεχώς φωτιζόμενη ισχύει η παρακάτω ενεργειακή σχέση :

$$E_{\eta\lambda, \Phi B} = PR_{\sigma} \cdot P_{P, \sigma} \cdot t_{STC} \quad (9)$$

Όπου $P_{P, \sigma} = N \cdot P_P$ η ισχύ αιχμής της ΦΒ γεννήτριας, PR_{σ} ο συνολικός συντελεστής ενεργειακής απόδοσης της ΦΒ γεννήτριας και $t_{STC} = \frac{H}{I_0}$ η μέση

ημερήσια διάρκεια φωτισμού σε πρότυπες συνθήκες. Όπου $H = \int_{t_1=0h}^{t_2=24h} G dt$ η

συνολική παρεχόμενη ενέργεια από τον ήλιο για τη συγκεκριμένη μέρα, δηλαδή η πυκνότητα της ενεργειακής απολαβής. Το I_0 προέρχεται από την καμπύλη $E = I_0$ (ευθεία) της οποίας το εμβαδόν είναι ίσο με την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που προσφέρεται στο ΦΒ πλαίσιο. Έπειτα το εμβαδόν από την ευθεία $P_m = P_P$ ισούται με $I_0 \cdot t_{STC}$ και από εκεί και έπειτα προκύπτει ο τύπος του t_{STC} . Από τις σχέσεις τώρα και προκύπτει η γενική σχέση για την ισχύ της ΦΒ γεννήτριας :

$$P_{P, \sigma} = \frac{E_{\eta\lambda, \Phi/B} \cdot I_0}{PR_{\sigma} \cdot H} \quad (10)$$

3.6 Σχεδιασμός υβριδικού ΦΒ συστήματος.

Ο σχεδιασμός υβριδικού συστήματος συνίσταται από ΦΒ συστοιχία και ΑΓ με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές. Κατά το σχεδιασμό αυτό λαμβάνουμε υπόψη ορισμένες μέρες αυτονομίας του συστήματος. Για το λόγο αυτό υπάρχει η παρουσία Η/Ζ. Παρακάτω θα υπολογίσουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ΦΒ συστοιχίας, της ΑΓ, του συσσωρευτή και του Η/Ζ ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές απαιτήσεις για όλο το έτος, δεδομένων των ηλιακών και ανεμολογικών χαρακτηριστικών του τόπου εγκατάστασης.

3.7 Ονοματολογία

P_p = ισχύς αιχμής ΦΒ συστοιχίας (Ονομαστική ισχύς)

P_R ή P_N = ονομαστική ισχύς ΑΓ

E_L = Μηνιαία μέση ημερήσια ενέργεια κατανάλωσης (συνήθως σε kWh/day).

\bar{P}_L = Μηνιαία μέση ημερήσια ισχύς κατανάλωσης (W ή kW)

$\bar{P}_{\Phi B}$ = Μηνιαία μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς από τη ΦΒ συστοιχία (W ή kW)

$\bar{P}_{ΑΓ}$ = Μηνιαία μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς από την ΑΓ (W ή kW)

$T = 24h$

$c_{\Phi B}$ = κόστος ανά W ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας

$c_{ΑΓ}$ = κόστος ανά W ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτριας

$\bar{P}_{ΑΠΕ}$ = Μηνιαία μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς από το σύστημα ΑΠΕ

$\bar{P}_{\Sigma\sigma\tau}$ = Μηνιαία μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο του ΦΒ υβριδικού συστήματος

3.8 Ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα ΑΠΕ

Για να μελετήσουμε την μηνιαία μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς, $\bar{P}_{ΑΠΕ}$, από το σύστημα ΑΠΕ, χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση :

$$\bar{P}_{ΑΠΕ} = \bar{\eta}_{\Phi B} \cdot P_p + \bar{\eta}_{ΑΓ} \cdot P_R \quad (11)$$

με

$\bar{P}_{\Phi B} = \bar{\eta}_{\Phi B} \cdot P_p$, η μηνιαία μέση ημερήσια ισχύς από τη ΦΒ συστοιχία

$\bar{\eta}_{\Phi B}$ = η μηνιαία μέση ημερήσια τιμή του συντελεστή ισχύος της ΦΒ συστοιχίας

$\bar{P}_{ΑΓ} = \bar{\eta}_{ΑΓ} \cdot P_R$, η μηνιαία μέση ημερήσια ισχύς από την ΑΓ

$\bar{\eta}_{ΑΓ}$ = η μηνιαία μέση ημερήσια τιμή του συντελεστή ισχύος της ΑΓ

Όπως παρατηρούμε, απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός των μηνιαίων μέσων συντελεστών ισχύος των υποσυστημάτων για τον υπολογισμό της ενεργειακής παροχής του συστήματος. Αυτό γίνεται με βάση τα ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά του τόπου εγκατάστασης και την αποδοτικότητα των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών.

3.9 Τοπικά μετεωρολογικά δεδομένα

3.9.1 Στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας και ανέμου

Τα ηλιακά και ανεμολογικά στοιχεία του τόπου εγκατάστασης, που απαιτούνται για τους υπολογισμούς που ακολουθούν, είναι :

1. Η μηνιαία μέση ημερήσια απολαβή H_t , στο επίπεδο της ΦΒ συστοιχίας στον τόπο εγκατάστασης ή ισοδύναμα, η αντίστοιχη πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας \bar{G}_t ($\bar{G}_t = H_t/T$).

2. Η μηνιαία μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα (θ_a), με αναφορά στο ημερήσιο τόξο της τροχιάς του ήλιου ελλείψη της οποίας, χρησιμοποιούμε την αντίστοιχη μέση θερμοκρασία εικοσιτετραώρου ή η μηνιαία μέση τιμή της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα.
3. Κατανομές πυκνότητας πιθανότητας εμφάνισης ανέμου ταχύτητας u , ανά μήνα, για το συγκεκριμένο τόπο. Αν δε διατίθενται αναλυτικά δεδομένα ταχύτητας ανέμου για την περιοχή, μπορούμε να αξιοποιήσουμε υπάρχοντα, δεδομένα για τη μηνιαία μέση ταχύτητα ανέμου, απ' τις τιμές της οποίας μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές k και c , της αντίστοιχης κατανομής Weibull.

3.10 Υπολογισμός των συντελεστών ισχύος, με βάση τα ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης.

Ανάλογα με τα δεδομένα που διαθέτουμε και αφορούν ΦΒ πλαίσια και την ΑΓ αλλά και τα ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά του τόπου εγκατάστασης ακολουθούμε 2 μεθόδους προσδιορισμού των μέσων συντελεστών ισχύος $\bar{\eta}_{\Phi B}$ και $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ της ΦΒ συστοιχίας και της ΑΓ αντίστοιχα. Τα βήματα υπολογισμού των συντελεστών ισχύος δίδονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 3 . Υπολογισμός συντελεστών ισχύος ΦΒ συστοιχίας και ΑΓ.

Μήνες	Ηλιακά δεδομένα - ΦΒ συστοιχία			Ανεμολογικά δεδομένα			Κατανάλωση
	H_t (kWh/m ² d)	PR_{σ}	$\bar{\eta}_{\Phi B}$	k	c m/s	$\bar{\eta}_{ΑΓ}$	\bar{P}_L (W)
Ιανουάριος	3,96	0,870	0,144	2	6,5	0,329	66,7
Φεβρουάριος	4,41	0,863	0,159	2	5,8	0,265	66,7
Μάρτιος	5,06	0,851	0,179	2	5,1	0,201	88,9
Απρίλιος	5,93	0,830	0,205	2	4,5	0,149	88,9
Μάιος	6,76	0,814	0,229	2	4	0,109	85,6
Ιούνιος	6,58	0,814	0,223	2	3,8	0,095	83,3
Ιούλιος	6,70	0,808	0,226	2	4,5	0,149	83,3
Αύγουστος	6,68	0,822	0,229	2	4,2	0,125	83,3
Σεπτέμβριος	6,21	0,845	0,219	2	5,1	0,201	85,6
Οκτώβριος	4,90	0,860	0,176	2	4,8	0,175	88,0
Νοέμβριος	3,84	0,871	0,139	2	5,9	0,275	66,7
Δεκέμβριος	3,10	0,879	0,114	2	6,3	0,311	66,7

Κατά τον υπολογισμό του $\bar{\eta}_{\Phi B}$ και $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ απαιτείται η γνώση του λόγου επίδοσης της ΦΒ συστοιχίας PR_{σ} και της μηνιαίας κατανομής ταχύτητας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ΑΓ αντίστοιχα.

3.10.1 Υπολογισμός του συντελεστή ισχύος της ΦΒ συστοιχίας

Με αναγωγή των ηλιακών δεδομένων στην ενδεδειγμένη κλίση της ΦΒ συστοιχίας χρησιμοποιώντας ταυτοχρόνως τα δεδομένα λειτουργίας των ΦΒ πλαισίων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν υπολογίζουμε τον μέσο συντελεστή ισχύος $\bar{\eta}_{\Phi B}$ της ΦΒ συστοιχίας :

$$\bar{\eta}_{\Phi B} = \frac{\bar{P}_{\Phi B}}{P_p} = PR_{\sigma} \cdot \frac{H_t}{G_{STC} \cdot T} = PR_{\sigma} \cdot \frac{\bar{G}_t}{G_{STC}} \quad (12)$$

Για να προσδιορίσουμε όμως τις μηνιαίες τιμές, χρειάζεται ο υπολογισμός των τιμών του λόγου επίδοσης PR_{σ} της συστοιχίας στον τόπο αυτό. Η σχέση :

$$PR_{\sigma} = PR' \cdot PR_T \cdot \eta' \quad (13)$$

γράφεται ως εξής :

$$PR_{\sigma} = PR' \cdot PR_T \cdot \eta'$$

με $PR_T = 1 + \gamma_{pm} \cdot (\bar{\theta}_{a,D} - \theta_{STC} + \kappa \cdot \bar{G}_{t,D})$, με $\bar{G}_{t,D} = (T/\tau_{\alpha\delta}) \cdot \bar{G}_t$

$$PR' = PR_R \cdot PR_s \cdot PR_{LI} \cdot PR_p$$

$$\eta' = \eta_{\alpha,\sigma} \cdot \eta_D \cdot \eta_{w,\sigma}$$

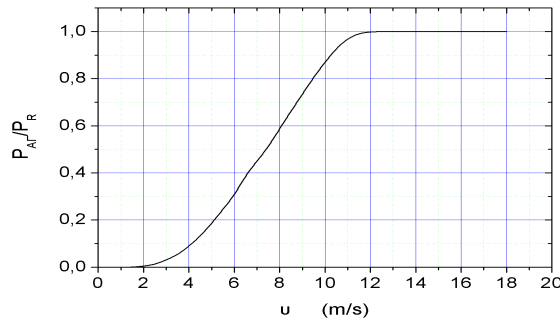
και $PR' \approx 0,90$ και $\eta' \approx 0,95 \Rightarrow PR' \cdot \eta' \approx 0,86$

3.10.2 Υπολογισμός του συντελεστή ισχύος της απαιτούμενης ανεμογεννήτριας.

Όπως γνωρίζουμε από τη σχέση

$$\bar{\eta}_{AG} = \int_0^{\infty} \frac{P_{AG}}{P_R} \cdot f(v) dv \quad (14)$$

μπορούμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή ισχύος της ΑΓ. Η P_{AG} εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου όπως δίδεται από τον κατασκευαστή, δηλαδή χαρακτηριστική καμπύλη $P_{AG}-u$ ή P_{AG}/P_R όπως στο σχήμα 32 ή από αναλυτικά δεδομένα :



Σχήμα 32 . Τυπική μορφή χαρακτηριστικής καμπύλης ανεμογεννήτριας, που εκφράζει την εξάρτηση του λόγου P_{AG}/P_R , από την ταχύτητα του ανέμου.

Σε περίπτωση που διατίθενται αναλυτικά ανεμολογικά στοιχεία για την περιοχή εγκατάστασης, τουλάχιστον ωριαίας καταγραφής, ακολουθούμε τη διαδικασία του παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4 . Παράδειγμα προσδιορισμού των μηνιαίων κατανομών ταχύτητας ανέμου, με βάση τοπικά αιολικά δεδομένα. Προσδιορισμός μέσων μηνιαίων τιμών ταχύτητας ανέμου.

$u_i - u_{i+1}$ m/s	Ιαν.	Φεβ.	Μαρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιουν.	Ιούλ.	Αυγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Σύνολο έτους
0 - 1	39	45	65	70	84	102	83	87	64	59	47	36	781
1 - 2	74	73	100	122	153	153	124	111	87	93	78	74	1242
2 - 3	83	93	119	137	162	160	135	132	122	123	96	94	1456
3 - 4	93	97	122	128	137	132	129	125	117	115	100	100	1395
4 - 5	94	92	107	103	97	88	107	103	106	104	98	97	1196
5 - 6	90	82	86	72	59	49	75	79	83	85	89	88	937
6 - 7	77	65	61	44	30	23	46	51	59	63	71	76	666
7 - 8	62	48	39	24	14	9	25	30	38	43	53	60	445
8 - 9	47	32	23	12	5	3	12	15	22	26	36	44	277
9 - 10	33	20	12	5	2	1	5	7	12	17	23	30	167
10 - 11	22	12	6	2	1	0	2	3	6	9	14	20	97
11 - 12	14	7	3	1	0	0	1	1	3	4	8	12	54
12 - 13	8	3	1	0	0	0	0	0	1	2	4	7	26
13 - 14	5	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	14
14 - 15	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	7
15 - 16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
16 - 17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17 - 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
\bar{u} (m/s)	5,7	5,1	4,5	4,0	3,6	3,4	4,0	4,1	4,5	4,7	5,2	5,6	4,5

Έτσι προκύπτει η κατανομή ταχυτήτων $f(u)$, για περιοχή εγκατάστασης. Αν τώρα διατίθενται δεδομένα για την ετήσια μεταβολή της μηνιαίας μέσης ταχύτητας του ανέμου στον τόπο, υπολογίζουμε τον $\bar{u}_{ΑΓ}$ από την μηνιαία κατανομή Weibull της οποίας απαραίτητος προσδιορισμός είναι οι συντελεστές k και c . Η τιμή της παραμέτρου k μπορεί να δοθεί προσεγγιστικά με $k = 2$, δηλαδή με την μορφή της κατανομής Rayleigh, ενώ η τιμή της παραμέτρου c έχει τιμή κοντά στη μέση ταχύτητα του ανέμου, στην αντίστοιχη χρονική περίοδο αναφοράς. Έτσι αν δώσουμε τιμή $k = 2$ με δεδομένες τις μηνιαίες μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για τη συγκεκριμένη περιοχή, μπορούμε να προσδιορίσουμε την παράμετρο c . Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η πειραματική μέση ταχύτητα του ανέμου για κάθε μήνα. Με βάση αυτό προσδιορίζεται και η αντίστοιχη κατανομή ταχυτήτων όπου μέσω αυτής και της αντίστοιχης κατανομής των τιμών του λόγου $P_{ΑΓ}/P_{R}$, ο μέσος συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας στις συνθήκες του τόπου εγκατάστασης.

3.11 Βασικές μεθοδολογίες υπολογισμού ενός ΦΒ υβριδικού συστήματος.

Ανάλογα με τη συμμετοχή ή όχι συμβατικής πηγής ενέργειας, διακρίνουμε δύο βασικές περιπτώσεις οι οποίες είναι οι παρακάτω :

- 1) ΦΒ υβριδικό σύστημα με ΑΓ και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας
- 2) ΦΒ υβριδικό σύστημα, ΑΓ και συσσωρευτής με παρουσία βοηθητικής συμβατικής ενεργειακής πηγής

3.11.1 ΦΒ υβριδικό σύστημα με ΑΓ και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Βάση αυτής της μεθοδολογίας υπολογίζουμε απευθείας ένα σύστημα ΦΒ συστοιχίας και ΑΓ το οποίο καλύπτει πλήρως, για ορισμένες μέρες αυτονομίας και κατά μέσο όρο σε κάθε μήνα τις αντίστοιχες μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής, με το μικρότερο κόστος προμήθειας όλων των τμημάτων του συστήματος. Το κόστος των συνιστωσών του συστήματος μπορεί να περιοριστεί σε αυτό της ΦΒ συστοιχίας και της ΑΓ θεωρώντας το υπόλοιπο σαν τυπικό ποσοστό του συνολικού κόστους των δύο συνιστωσών ΑΠΕ.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι η χρησιμοποίηση τιμών ονομαστικής ισχύος ΦΒ συστοιχίας και ΑΓ, είναι πολλαπλάσιας τιμής των βασικών τους μονάδων. Ξεκινάμε τον υπολογισμό θεωρώντας $N_{\Phi B}$ πλήθος πλαισίων ΦΒ συστοιχίας με δεδομένη ισχύ αιχμής ανά πλαίσιο P_{p1} . Έτσι μεταβάλλοντας τον αριθμό τους δημιουργούμε διάφορες συστοιχίες τιμών συνολικής ισχύος αιχμής $N_{pv} \cdot P_{p1}$. Έπειτα υπολογίζουμε τη συνολική ονομαστική ισχύ των ανεμογεννητριών για την κάλυψη της μέσης ισχύος κατανάλωσης, για κάθε τιμή ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας. Η μέση ισχύς $\bar{P}_L / \eta_{μετ}$ που πρέπει να καλύπτεται, κατ' ελάχιστον, από το σύστημα ΑΠΕ, υπολογίζεται με βάση τη μέση ισχύ κατανάλωσης της εφαρμογής \bar{P}_L , και τον συντελεστή μεταφοράς ενέργειας $\eta_{μετ}$ για το συγκεκριμένο μήνα στον οποίο αναφερόμαστε. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε το πλήθος των ΑΓ ονομαστικής ισχύος P_{R1} θα οδηγηθούμε από το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ αποδιδόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας. Άρα το πλήθος των ΑΓ είναι :

$$N_{ΑΓ} = \text{CINT} \left(\frac{((\bar{P}_L / \eta_{μετ}) - \bar{\eta}_{\Phi B} \cdot N_{\Phi B} \cdot P_{p1}) / \bar{\eta}_{ΑΓ}}{P_{R1}} \right) \quad (15)$$

με CINT την στρογγυλοποίηση της ποσότητας μέσα στην παρένθεση προς τα άνω. Η συνολική παραγόμενη μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς από το σύστημα ΑΠΕ και η δε διαθέσιμη προς κατανάλωση ηλεκτρική ισχύς είναι :

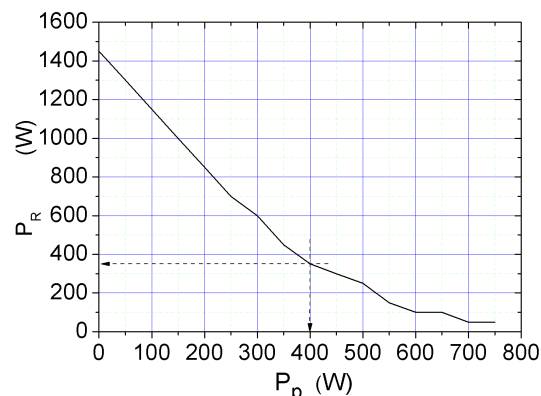
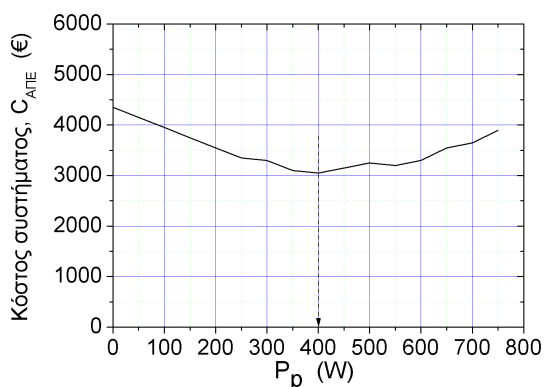
$$\bar{P}_{ΑΠΕ} = \bar{\eta}_{\Phi B} \cdot N_{\Phi B} \cdot P_{p1} + \bar{\eta}_{ΑΓ} \cdot N_{ΑΓ} \cdot P_{R1} \quad (16) \quad \text{και}$$

$$\bar{P}_{\Sigma\text{υστ}} = \eta_{μετ} \cdot \bar{P}_{ΑΠΕ} \quad \text{αντίστοιχα.}$$

Το ολικό κόστος έπειτα των βασικών υποσυστημάτων, ΦΒ και ΑΓ είναι :

$$C_{ΑΠΕ} = c_{\Phi B} \cdot N_{\Phi B} \cdot P_{p1} + c_{ΑΓ} \cdot N_{ΑΓ} \cdot P_{R1} \quad (17)$$

Στο συνολικό κόστος συνεπάγονται επίσης εκτός του κόστους των βασικών συνιστωσών (ΦΒ και ΑΓ), το κόστος εγκατάστασης του συστήματος και το κόστος αγοράς των συσσωρευτών. Το μέγεθος των συσσωρευτών υπολογίζεται αν λάβουμε υπόψη τις μέρες αυτονομίας και το κόστος των ηλεκτρονικών διατάξεων ελέγχου και επιτήρησης του συστήματος. Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 3 προκύπτει η εξάρτηση του συνολικού κόστους του συστήματος από το μέγεθος της ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας :



Σχήμα 33 . α) Μεταβολή του κόστους του συστήματος ΑΠΕ, ΦΒ συστοιχίας και ΑΓ, με αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές), με πρόβλεψη 5 ημερών αυτονομίας. β) Εξάρτηση της ονομαστικής ισχύος $P_{ΑΓ}$, της ΑΓ, από την ισχύ αιχμής, P_p , της ΦΒ συστοιχίας, με απαίτηση πλήρους κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής.

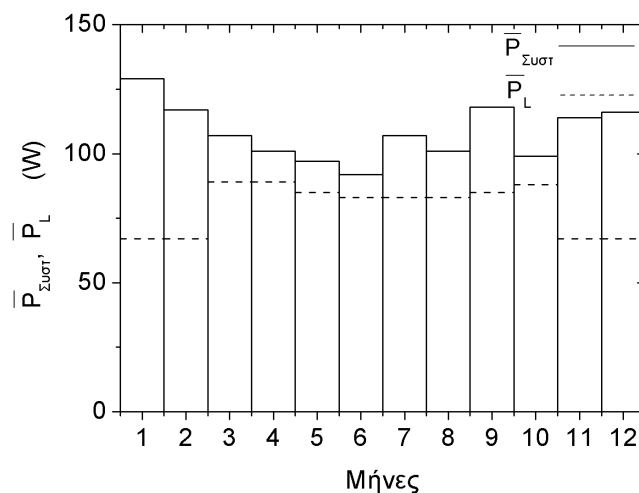
Αν λάβουμε υπόψη ότι το κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος για ΦΒ και ΑΓ είναι $c_{ΦΒ} = 5 \text{ €/W}_p$ και $c_{ΑΓ} = 3 \text{ €/W}_R$ τότε τα αποτελέσματα των υπολογισμών των συνιστωσών του ΦΒ υβριδικού συστήματος, που απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα είναι :

ΦΒ συστοιχία: $P_p = 400 \text{ W}$
 Ανεμογεννήτρια: $P_R = 350 \text{ W}$
 Κόστος συστήματος ΑΠΕ: $C_{ΑΠΕ} = 3050 \text{ €}$
 Κόστος συνολικού συστήματος: 7015 €

Στο κόστος του συνολικού συστήματος δεν περιλαμβάνονται το το κόστος αγοράς, λειτουργίας και συντήρησης Η/Ζ, το κόστος καυσίμου και το κόστος ολοκληρωμένης συντήρησης και αντικατάστασης τμημάτων του συστήματος, στο χρόνο ζωής του.

Τα ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα καθορίζουν το ενεργειακό δυναμικό μιας περιοχής και αφετέρου τον βαθμό συμμετοχής της κάθε συνιστώσας. Επίσης καθορίζεται και από το κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος κάθε πηγής. Όπως φαίνεται και παραπάνω, τα ΦΒ έχουν περίπου το διπλάσιο κόστος από αυτό της ΑΓ. Παρόλα αυτά, η κάθε συνιστώσα είναι εξίσου απαραίτητη αφού η σύνθεση του συστήματος εξαρτάται καθοριστικά, από την ενεργειακή αποδοτικότητα εκάστης πηγής στον τόπο εγκατάστασης και η οποία καθορίζεται από τις τιμές των αντίστοιχων μέσων συντελεστών ισχύος τους. Το συμπέρασμα είναι ότι το οικονομικότερο ενεργειακό σύστημα, που καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις μιας εφαρμογής είναι το υβριδικό, αφού ένας αντιπροσωπευτικός λόγος τιμών ονομαστικής ισχύος των δύο συνιστωσών μπορεί να είναι $P_R/P_p \sim 0,875$.

Έστω ότι η ισχύς του συστήματος καλύπτει την αποδιδόμενη από το σύστημα μηνιαία μέση ημερήσια ισχύ και την αντίστοιχη ισχύ των ενεργειακών καταναλώσεων. Η περίσσια μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς που παρέχεται από το υβριδικό, χρησιμοποιείται για τη φόρτιση του συσσωρευτή, δηλαδή την επαναφορά του στην αρχική κατάσταση φόρτισης μετά την περίοδο που καλύπτεται από την αυτονομία του.



Σχήμα 34 . Μηνιαία μέση ημερήσια ισχύς από το υβριδικό σύστημα και η μέση ημερήσια ισχύς κατανάλωσης για κάθε μήνα, μέσα στο έτος. Η $\bar{P}_{\Sigma\text{υστ}}$ υπερκαλύπτει την αντίστοιχη ισχύ κατανάλωσης, \bar{P}_L , ώστε ο συσσωρευτής να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση φόρτισης, στο διάστημα των αίθριων ημερών, πέραν των προβλεπόμενων 5 ημερών αυτονομίας.

Έτσι δεν είναι απαραίτητη η επιπλέον ισχύ αιχμής της ΦΒ συστοιχίας για τη φόρτιση του συσσωρευτή αφού η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από το Η/Ζ. Έτσι έχουμε πιο μικρό και πιο φτηνό το μέγεθος της ΦΒ συστοιχίας και τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι τα παρακάτω :

ΦΒ συστοιχία: $P_p = 350 \text{ W}$
 Ανεμογεννήτρια: $P_R = 350 \text{ W}$
 Κόστος συστήματος ΑΠΕ: $C_{\text{ΑΠΕ}} = 2800 \text{ €}$
 Κόστος συνολικού συστήματος: 6440 €

3.11.2 ΦΒ υβριδικό σύστημα, ΑΓ και συσσωρευτής με παρουσία βοηθητικής συμβατικής ενεργειακής πηγής. Μέθοδος ελαχιστοποίησης κόστους κύκλου ζωής του ΦΒ υβριδικού συστήματος (LCC).

Σε αυτή εδώ την περίπτωση, οι συνιστώσες του συστήματος ΑΠΕ μπορούν να υπολογιστούν από το Η/Ζ με βάση την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους κτίσης, εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος, στο χρόνο αναφοράς της ζωής του. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται LCC δηλαδή ελαχιστοποίηση του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος του συνολικού υβριδικού συστήματος. Ο προσδιορισμός του LCC, γίνεται με προσδιορισμό του κόστους αρχικής επένδυσης και αναγωγή κάθε μελλοντικού κόστους αντικατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης των συνιστωσών του συστήματος, σε κόστος παρούσας αξίας. Το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του συστήματος υπολογίζεται ως εξής :

- A) Αθροίζοντας το αρχικό κόστος προμήθειας του συνολικού συστήματος, το οποίο αποτελείται από το κόστος αγοράς του συστήματος ΑΠΕ, του συσσωρευτή και τέλος του Η/Ζ.
- B) Αθροίζοντας το κόστος εγκατάστασης του συστήματος
- Γ) Αθροίζοντας το κόστος αντικατάστασης του συστήματος όπως το κόστος αντικατάστασης του συσσωρευτή και του Η/Ζ. Σε αυτή την περίπτωση

υπολογίζουμε το κόστος αυτό με αναγωγή του στο έτος μηδέν της επένδυσης, βάση του παράγοντα παρούσας αξίας RF.

Δ) Αθροίζοντας τις ετήσιες δαπάνες, όπως της συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος και προσδιορίζεται μέσω του παράγοντα ανάκτησης κεφαλαίου CRF.

Θα πρέπει να ορίσουμε επίσης ως ελάχιστο κύκλο ζωής του συστήματος τα 20 έτη που αφορούν βασικά τα ΦΒ πλαίσια. Οι υπόλοιπες συνιστώσες όπως οι συσσωρευτές έχουν χρόνο ζωής ο οποίος κυμαίνεται από 7 – 10 έτη, οπότε είναι απαραίτητη η αντικατάστασή τους τουλάχιστον μια φορά.

Για να εφαρμόσουμε τώρα τη μέθοδο LCC ακολουθούμε τα εξής 6 βήματα :

- 1) Καταγραφή για κάθε μήνα του έτους, των τιμών της μηνιαίας μέσης ημερήσιας ισχύς του φορτίου \bar{P}_L
- 2) Προσδιορισμός των μηνιαίων μέσων ημερήσιων τιμών των συντελεστών ισχύος, $\bar{\eta}_{\Phi B}$ και $\bar{\eta}_{A\Gamma}$ βάση ηλιακών και ανεμολογικών δεδομένων του τόπου εγκατάστασης.
- 3) Προσδιορισμός του συνολικού κόστους του ΦΒ συστήματος στον κύκλο ζωής του για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των τιμών της ονομαστικής ισχύος των πηγών ΑΠΕ, που συνθέτουν το σύστημα αλλά και του Η/Ζ. Σκοπός της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός εκείνου του ενεργειακού συστήματος το οποίο να καλύπτει όσο το δυνατόν οικονομικότερα τις ενεργειακές ανάγκες της εφαρμογής. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω μεθοδολογία :

Α) Υπολογισμός της μηνιαίας μέσης ημερήσιας τιμής της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος από το σύστημα:

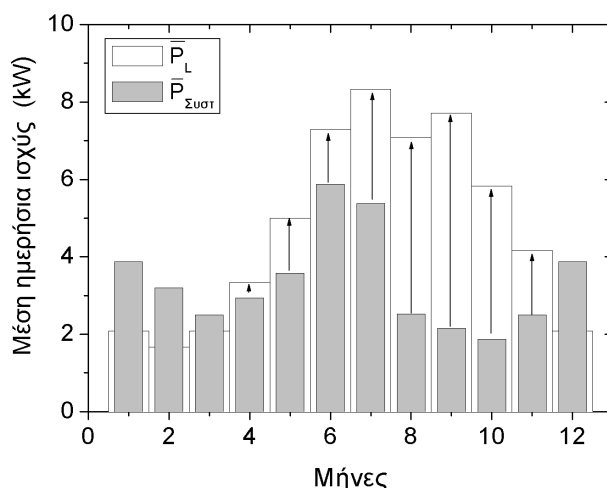
$$\bar{P}_{\Sigma\sigma\tau} = \eta_{\mu\epsilon\tau} \cdot P_{AΠE} = \eta_{\mu\epsilon\tau} \cdot (\bar{\eta}_{\Phi B} \cdot N_{\Phi B} \cdot P_{p1} + \bar{\eta}_{A\Gamma} \cdot N_{A\Gamma} \cdot P_{R1}) \quad (18)$$

με $\eta_{\mu\epsilon\tau}$, τον συντελεστή απωλειών στα ενδιάμεσα τμήματα του συστήματος, από τις πηγές ΑΠΕ στο φορτίο, $N_{\Phi B}$ και $N_{A\Gamma}$, το πλήθος των ΦΒ πλαισίων και ΑΓ και P_{p1} και P_{R1} την ονομαστική ισχύ των ΦΒ πλαισίων και των ΑΓ αντίστοιχα.

Β) Υπολογισμός της διαφοράς μεταξύ της \bar{P}_L και $\bar{P}_{\Sigma\sigma\tau}$, δηλαδή της μηνιαίας μέσης ημερήσιας ισχύς του φορτίου και αυτής που προσφέρεται από το σύστημα ΑΠΕ :

$$\bar{P}_{UL} = \bar{P}_L - \bar{P}_{\Sigma\sigma\tau} \quad (19)$$

Η παραπάνω εξίσωση αφορά το μη καλυπτόμενο μέρος του απαιτούμενου φορτίου από το υβριδικό σύστημα ($\bar{P}_L > 0$).



Σχήμα 35 . Μηνιαίες τιμές της μέσης ημερήσιας ισχύος καταπόνησης, \bar{P}_L (Λευκό ιστόγραμμα) και της παραγόμενης από το σύστημα ΑΠΕ μέσης ημερήσιας ηλεκτρικής ισχύος (Σκιασμένο ιστόγραμμα). Τα τμήματα που επισημαίνονται με βέλη αντιπροσωπεύουν τη μη καλυπτόμενη μέση ισχύ από το σύστημα ΑΠΕ, την οποία, καλείται να καλύψει το Η/Ζ που περιλαμβάνεται στο σύστημα.

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την επιπλέον απαίτηση της μηνιαίας μέσης ημερήσιας ισχύς η οποία συμβολίζεται με βελάκια. Μεταβάλλοντας συγχρόνως τις ονομαστικές τιμές των πηγών ΑΠΕ και με σύγχρονη αύξηση της προσφερόμενης ισχύος, βλέπουμε ότι το $\bar{P}_{UL,y}$ μειώνεται. Άρα μειώνεται και ο βαθμός συμμετοχής του Η/Ζ αφού όπως φαίνεται καλύπτει την παραπάνω διαφορά $\bar{P}_{UL,y}$. Έτσι δημιουργείται ένα καινούργιο μέγεθος το οποίο ονομάζεται αυτονομία R του συστήματος :

$$R = 1 - \frac{\bar{P}_{UL,y}}{\bar{P}_{L,y}} \quad (20)$$

όπου $\bar{P}_{L,y}$ η ετήσια ισχύς του φορτίου.

Γ) Υπολογισμός του LCC του συστήματος για κάθε συνιστώσα του συστήματος των πηγών ΑΠΕ. Ο υπολογισμός αυτός θα γίνει με βάση τη διάρκεια ζωής του συστήματος, οπότε θα έχουμε :

$$LCC = C_{ΑΠΕ} + C_{εγκ} + C_{\text{συντ}} + C_B + C_{\eta\lambda} + C_{HZ} \quad (21)$$

με

- $C_{ΑΠΕ} = c_{\Phi B} \cdot P_p + c_{ΑΓ} \cdot P_R$. Το $c_{\Phi B}$ και $c_{ΑΓ}$ είναι το κόστος ΦΒ και ΑΓ αντίστοιχα, το οποίο κυμαίνεται για το μεν ΦΒ από 4 – 5 €/W ενώ για την ΑΓ από 1 – 4 €/W. Το P_p και P_R είναι η ονομαστική ισχύς του ΦΒ και της ΑΓ αντίστοιχα.
- $C_{εγκ} = \alpha_{εγκ} \cdot C_{ΑΠΕ}$, το οποίο συμβολίζει το κόστος εγκατάστασης του συστήματος με τυπική τιμή για το $\alpha_{εγκ} = 15\%$.
- $C_{\text{συντ}} = \alpha_{\text{συντ}} \cdot C_{ΑΠΕ} / CRF$, το κόστος συντήρησης του συστήματος, όπου CRF ο παράγοντας ανάκτησης κεφαλαίου και με τυπική τιμή για το $\alpha_{\text{συντ}} = 2\%$.

- $C_B = C_{B0} \cdot (1+RF)$, το κόστος των συσσωρευτών στον κύκλο ζωής του ΦΒ συστήματος. Περιλαμβάνονται το κόστος αρχικής προμήθειας και αντικατάστασης των συσσωρευτών. Το RF είναι ο παράγοντας παρούσας αξίας και ισούται με $RF = \sum_{j=1}^v RF_j$ όπου $RF_j = (1+r)^{-N_{R,j}/j}$ και $j = 1 \dots v$. Το v υποδηλώνει πόσες φορές έχουν αντικατασταθεί οι συσσωρευτές και ισούται με $v = \text{Floor}(N/N_R)$. Το C_{B0} είναι το κόστος προμήθειας του αρχικού συσσωρευτή. Ομοίως, η ίδια διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί και για το Η/Ζ.
- $C_{\eta\lambda} = \alpha_{\eta\lambda} \cdot C_{ΑΠΕ}$ το οποίο είναι το κόστος για τις ηλεκτρονικές συσκευές, με τυπική τιμή για το $\alpha_{\eta\lambda} = 15\%$.
- $C_{HZ} = E_{HZ,y} \cdot c_{καυσ} / CRF$ το οποίο είναι ουσιαστικά το LCC καυσίμου για τη λειτουργία του Η/Ζ και αφορά το κόστος του για την κάλυψη της μη καλυπτόμενης από το σύστημα ετήσιας ενέργειας. Όπου $E_{HZ,y} = \sum_i \bar{P}_{UL,i} \cdot N_{d,i} \cdot T$ με $N_{d,i}$ το πλήθος των ημερών του μήνα i και $T=24h$. Τυπική τιμή για το $c_{καυσ} = 0,5 - 1 \text{ €/kWh}$.

Δ) Ελάχιστο δυνατό συνολικό κόστος το οποίο προσδιορίζεται με μεταβολή των παραμέτρων P_p και P_R ώστε να βρεθεί ο κατάλληλος οικονομικός συνδυασμός τους.

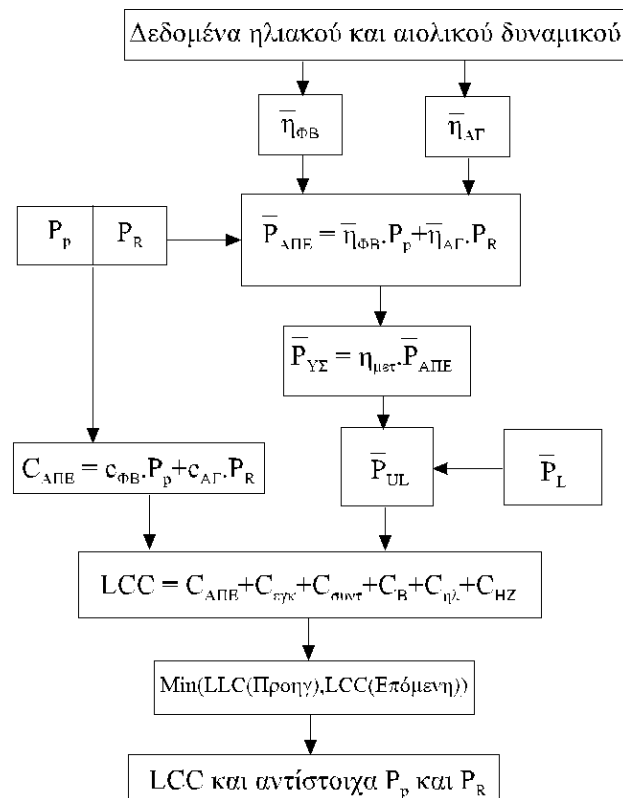
Ε) Υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας :

$$E_y = \sum_i \bar{P}_{\text{Συστ},i} \cdot T \cdot N_{d,i} \quad (22)$$

ΣΤ) Υπολογισμός του κόστους ενέργειας :

$$C_{kWh} = \frac{LCC \cdot CRF}{E_y} \quad (23)$$

Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά τα διαδοχικά βήματα που ακολουθούμε για τον προσδιορισμό του LCC και των ονομαστικών τιμών της ΦΒ συστοιχίας και της ΑΓ αντίστοιχα :



Σχήμα 36

3.1.2 Παραδείγματα υπολογισμού ΦΒ συστημάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται αποτελέσματα βάση ηλιακών και ανεμολογικών δεδομένων με τη μεθοδολογία που αναφέρεται στην επόμενη παράγραφο. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με τα αποτελέσματα μιας δημοσιευμένης εργασίας βάση πάλι της ίδιας μεθοδολογίας και των δεδομένων που μας έδινε αυτή η εργασία.

3.12.1 Παράδειγμα ΦΒ υβριδικού συστήματος, ΑΓ και συσσωρευτή χωρίς την παρουσία βοηθητικής συμβατικής ενεργειακής πηγής.

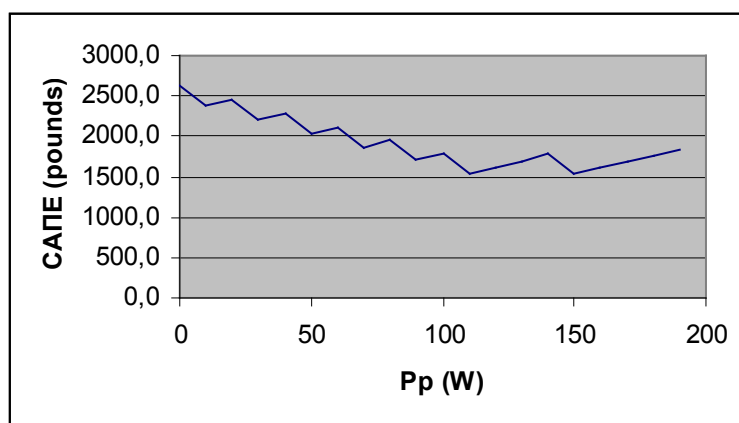
Τα αποτελέσματα των παραδειγμάτων βάση των ανεμολογικών και ηλιακών δεδομένων αλλά και των προαναφερθέντων οικονομικών παρουσιάζονται στη συνέχεια. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να φτάσουμε σε αυτά τα αποτελέσματα είναι αυτή που προαναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια και συγκεκριμένα στη μια από αυτές, στη μεθοδολογία που αφορά το αυτόνομο φωτοβολταϊκό υβριδικό σύστημα. Για να ελεγχθεί η αξιοπιστία της μεθοδολογίας αυτής θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων της με δημοσιευμένα δεδομένα και αποτελέσματα που αφορούν συγκεκριμένο εγκατεστημένο ΦΒ υβριδικό σύστημα. Για το σκοπό αυτό αξιοποιούμε τα στοιχεία που αναφέρονται στην δημοσιευμένη εργασία που αναφέρεται στον πίνακα βιβλιογραφίας και η οποία στη συνέχεια θα αναφέρεται ως «Protogeropoulos et al». Στην εργασία αυτή εξετάζεται ένα αυτόνομο ΦΒ υβριδικό σύστημα εγκατεστημένο στο Clerpa – park μια απομονωμένη περιοχή κοντά στο Cardiff και το οποίο τροφοδοτεί μια μπαταρία 12 V, χωρητικότητας 65 Ah. Σύμφωνα με τους «Protogeropoulos et al» προτείνεται σύστημα:

$P_p = 130 \text{ W}$
 $P_r = 50 \text{ Wp}$
 $C_{\text{ΑΠΕmin}} = 1367\text{€}$
 $R = 0,9$

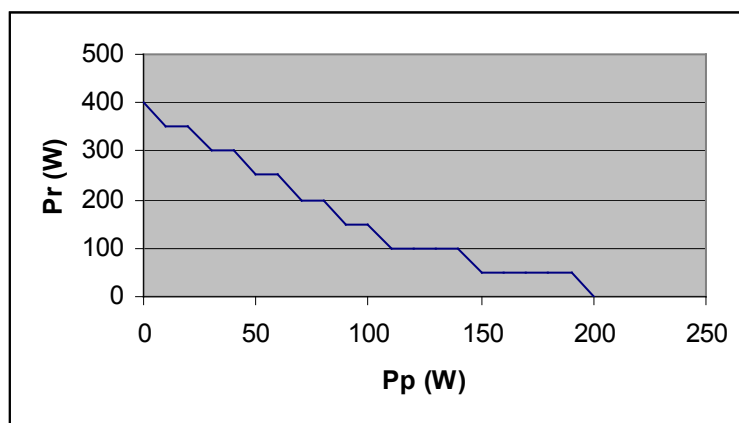
Βάση της μεθοδολογίας που αναπτύσσεται εδώ το σύστημα που προκύπτει για τα δεδομένα της δημοσίευσης αυτής είναι:

$P_p = 150 \text{ W}$
 $P_r = 50 \text{ Wp}$
 $C_{\text{ΑΠΕmin}} = 1527\text{€}$
 $R = 1$

Όπως παρατηρούμε από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθοδολογιών τα αποτελέσματα είναι πρακτικά τα ίδια. Η διαφορά των 20 Wp σε σχέση με το αποτέλεσμα των «Protogeropoulos et al» προκύπτει διότι οι υπολογισμοί μας αφορούν αυτονομία 100%. Εξάλλου η επιπλέον ισχύς αιχμής ΦΒ σε αυτόνομο σύστημα είναι απαραίτητη προκειμένου να επανέρχεται το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στην αρχική του κατάσταση φόρτισης, κατά τις αίθριες μέρες που ακολουθούν την περίοδο υστέρησης του συστήματος. Τα αποτελέσματα αυτά αποδίδονται στα παρακάτω διαγράμματα από όπου προκύπτουν τα χαρακτηριστικά του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος:



Σχήμα 37



Σχήμα 38

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για να οδηγηθούμε στα παραπάνω αποτελέσματα από τους «Protoogeropoulos et al» παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5

Μήνες	Ηλιακά δεδομένα – ΦΒ συστοιχία		Ανεμολογικά δεδομένα – Χαρακτηριστική ανεμογεννήτριας			Κατανάλωση
	H_t (kWh/m ² d)	$\bar{\eta}_{\Phi B}$	k	c m/s	$\bar{\eta}_{ΑΓ}$	\bar{P}_L (W)
Ιανουάριος	1,489355	0,03551	2	6,5	0,078199	3,71
Φεβρουάριος	2,160714	0,05329	2	5,8	0,051447	7,50
Μάρτιος	2,835806	0,07023	2	5,1	0,074306	8,71
Απρίλιος	4,146667	0,10432	2	4,5	0,110068	13,04
Μάιος	4,447097	0,11159	2	4	0,048907	12,83
Ιούνιος	4,206333	0,10511	2	3,8	0,066333	8,75
Ιούλιος	7,305161	0,18657	2	4,5	0,069553	8,83
Αύγουστος	5,226774	0,13274	2	4,2	0,040801	9,54
Σεπτέμβριος	4,578333	0,11642	2	5,1	0,048409	9,42
Οκτώβριος	2,167742	0,05366	2	4,8	0,052126	4,42
Νοέμβριος	1,230333	0,02872	2	5,9	0,055658	3,29
Δεκέμβριος	1,152258	0,02693	2	6,3	0,086167	3,58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΦΒ ΚΑΙ ΑΓ

Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων υπολογισμού των συντελεστών ισχύος ΦΒ και ΑΓ χρησιμοποιήσαμε ΦΒ Siemens SM55. Η ισχύ αιχμής του ΦΒ αυτού μετρήθηκε στις πρότυπες συνθήκες, το 1999 (μετά από δεκατέσσερα χρόνια εγκατάστασης του πλαισίου αυτού) και βρέθηκε 48 Wp. Στα πλαίσια αυτού του πειράματος έγιναν στο εργαστήριο ΦΒ πάρκο του ΤΕΙ Κρήτης, με αυτό το πλαίσιο σε γωνία κλίσης ίση με το γ.π. του τόπου (35,5), δύο ολοήμερες μετρήσεις που αφορούσαν την χαρακτηριστική του I-V σε διαφορετικά επίπεδα φωτισμού. Από την επεξεργασία των πειραματικών σημείων I-V προέκυψε η μέγιστη ισχύς στα αντίστοιχα επίπεδα φωτισμού.

Επειδή δε διαθέταμε πειραματικά δεδομένα από εγκατεστημένη ΑΓ στο χώρο του ΦΒ πάρκου, αναζητήσαμε στο διαδίκτυο, θέσεις διάθεσης πρόσφατων δεδομένων (monitoring data). Η αναζήτηση εστιαζόταν στην ανεύρεση δεδομένων ταυτόχρονης καταγραφής:

- A) Ηλιακών δεδομένων – θερμοκρασίας αέρα και αντίστοιχης μέγιστης ισχύος ΦΒ συστοιχίας και
- B) ταχύτητας ανέμου και αντίστοιχης ηλεκτρικής ισχύος ΑΓ.

Με βάση τις απαιτήσεις αυτές προέκυψαν μόνο αιολικά δεδομένα από εγκατάσταση ΦΒ υβριδικού συστήματος του ερευνητικού κέντρου του πανεπιστημίου Murdoch (Murdoch University Energy Research Institute (MUERI), Perth, Western Australia).

Αρκεστήκαμε σε δεδομένα μερικών ημερών προκειμένου να δείξουμε ότι από τα δεδομένα ταχύτητας – ανέμου μπορούν να προκύψουν τα δεδομένα αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος από ΑΓ. Με όμοιο τρόπο μπορούν να ελεγχθούν τα αποτελέσματα για όλες μαζί τις ημέρες που χρησιμοποιήσαμε.

Επειδή μάλιστα η μεθοδολογία βασίζεται σε στατιστική ανάλυση των δεδομένων ταχύτητας, δεδομένα πολλών ημερών προσεγγίζουν καλύτερα το ζητούμενο αποτέλεσμα, το οποίο ουσιαστικά αφορά μηνιαία δεδομένα, διότι τελικά ενδιαφερόμαστε για τις μέσες μηνιαίες τιμές του συντελεστή ισχύος.

Όσον αφορά τους μέσους μηνιαίους συντελεστές ισχύος για τη ΦΒ συστοιχία αρκεστήκαμε σε δύο ημερήσιες μετρήσεις πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας αέρα καθώς και αντίστοιχες τιμές της μέγιστης ισχύος της συστοιχίας.

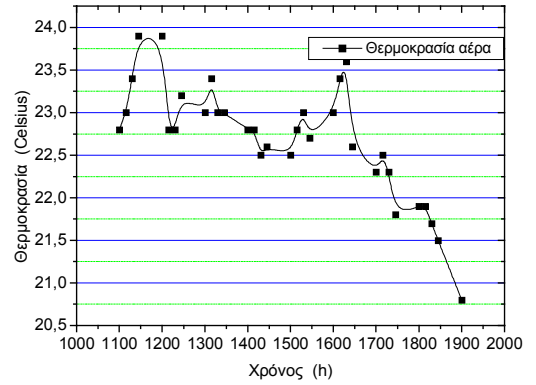
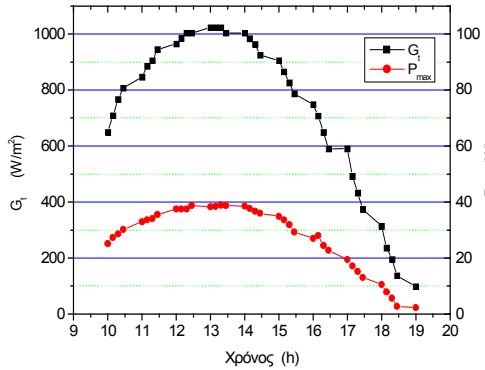
4.1 Ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα που αξιοποιούνται στην αξιολόγηση

4.1.1 Ηλιακά δεδομένα (Εργαστήριο ΦΒ πάρκο)

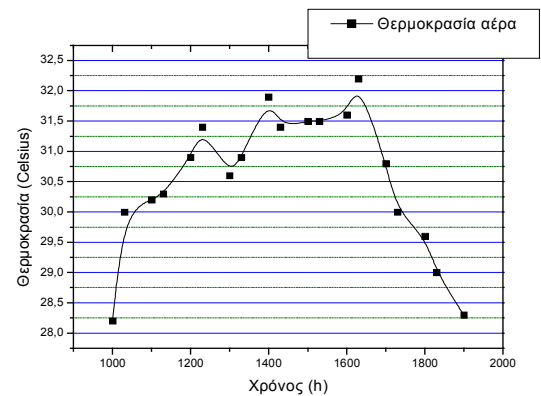
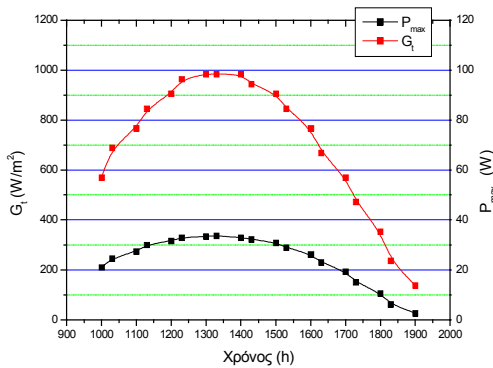
Τα δεδομένα αυτά αφορούν σε μετρήσεις ανά μισή ώρα της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας αέρα καθώς και των αντιστοιχών χαρακτηριστικών I – V του ΦΒ πλαισίου που χρησιμοποιήσαμε. Από τη

χαρακτηριστική υπολογίζεται η μέγιστη ισχύς P_{max} . Στο σχήμα δίδονται τα αντίστοιχα διαγράμματα για δύο μέρες.

18/5/2003



19/5/2003



4.1.2 Ανεμολογικά δεδομένα (Αυστραλία)

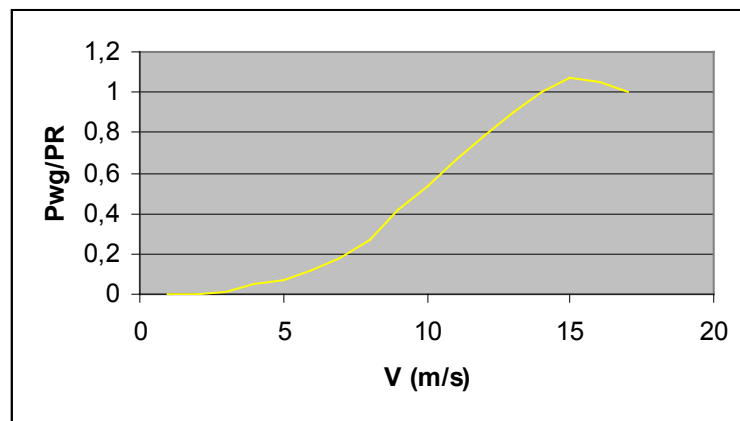
Η ΑΓ η οποία χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο σταθμό είναι της εταιρίας Westwind με τα επόμενα χαρακτηριστικά:

Πίνακας 6

κατασκευαστικά χαρακτηριστικά	3 kW
ταχύτητα εκκίνησης λειτουργίας	2.5 m/s
Ονομαστική ταχύτητα	14 m/s
Ταχύτητα αποκοπής	καμία
Ταχύτητα εκτροπής	17 m/s
Ονομαστική ισχύς	3kW
Ταχύτητα ρότορα	150 - 900
Διάμετρος ρότορα	3.7 m
Βάρος	190 kg

Προστασία υπερτάχυνσης	αυτόματος προσανατολισμός φτερού
Υλικό πτερωτής	υαλοβάμβακας
Τύπος εναλλακτήρα	σύνδεση περιέλιξης αστέρα
Τάση λειτουργίας	48V, 96V, 110V, 120V
Μαγνητικό υλικό	Ne - Fe - B

Στο σχήμα 39 δίδεται η χαρακτηριστική καμπύλη ανηγμένης ισχύος της συγκεκριμένης ΑΓ και στο σχήμα 40 η φωτογραφία της εγκατάστασης.



Σχήμα 39



Σχήμα 40: Westwind ΑΓ 3KW

4.2 Επεξεργασία δεδομένων. Έμμεσος και άμεσος υπολογισμός των $\langle \eta_{\Phi B} \rangle$ και $\langle \eta_{ΑΓ} \rangle$

Ο υπολογισμός του $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ μπορεί να γίνει είτε με βάση τον ορισμό του ($\bar{\eta}_{ΑΓ} = \bar{P}_{ΑΓ} / P_R$), αν διαθέτουμε δεδομένα ημερήσιας καταγραφής της αποδιδόμενης «στιγμιαίας» ισχύος της ΑΓ, είτε έμμεσα, από δεδομένα ημερήσιας καταγραφής «στιγμιαίας» ταχύτητας ανέμου ή μέσω των παραμέτρων k , c των αντιστοίχων καμπυλών Weibull. Η σύμπτωση των δύο τιμών αποδεικνύει την ορθότητα υπολογισμού του $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ από ανεμολογικά δεδομένα (Έμμεσος υπολογισμός). Ομοίως για τη ΦΒ συστοιχία. Ο $\bar{\eta}_{\Phi B}$ μπορεί να υπολογιστεί αφενός, άμεσα, αν διαθέτουμε δεδομένα ημερήσιας καταγραφής της αποδιδόμενης μέγιστης ισχύος από τη ΦΒ συστοιχία ($\bar{\eta}_{\Phi B} = \bar{P}_{\Phi B} / P_p$), αφ' ετέρου έμμεσα, αν διαθέτουμε δεδομένα ημερήσιας μεταβολής της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας κυψελίδας του ΦΒ πλαισίου ($\bar{\eta}_{\Phi B} = PR_{\sigma} \cdot H_t / G_{STC}$). Βεβαίως, ο ακριβής υπολογισμός της PR_{σ} απαιτεί τη γνώση της μεταβολής και άλλων παραγόντων ($PR_{\sigma} = PR_{opt} \cdot PR_T \cdot \eta_{\alpha\alpha}$), που συνθέτουν τις λεγόμενες οπτικές απώλειες και τις αναφερόμενες ως άλλες απώλειες (θερμικές, στα καλώδια σύνδεσης). Για απλότητα, τις οπτικές απώλειες μπορούμε να τις θεωρήσουμε σταθερές κατά τη διάρκεια της ημέρας, ίσες με τη μέση τιμή τους στο διάστημα αυτό.

4.2.1 Υπολογισμός του $\langle \eta_{\Phi B} \rangle$

Για να υπολογίσουμε τον $\bar{\eta}_{\Phi B}$ χρησιμοποιούμε όπως προαναφέρθηκε δύο τρόπους, έμμεσα και άμεσα. Ο έμμεσος τρόπος είναι και ο θεωρητικός με τον οποίο υπολογίζουμε το συντελεστή ισχύος ως εξής:

Πρώτον χρησιμοποιούμε τα δεδομένα ημερήσιας μεταβολής της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (G_t). Συγχρόνως έχουμε μετρήσει και τη θερμοκρασία του αέρα έτσι ώστε τελικά να βρούμε την θερμοκρασία κυψελίδας του ΦΒ πλαισίου (θ_c), η οποία υπολογίζεται μέσω αυτών των δύο δεδομένων. Αφού υπολογίσουμε και τη θ_c υπολογίζουμε την PR_{σ} μέσω της θ_c . Ο πολλαπλασιασμός τώρα της PR_{σ} με την G_t και το αποτέλεσμα τους διαιρεμένο δια χίλια δίνει τον συντελεστή ισχύος του ΦΒ.

Αντίστοιχα μπορούμε να υπολογίσουμε τον $\bar{\eta}_{\Phi B}$ άμεσα, δηλαδή μέσω πειραματικών δεδομένων όπως της μέγιστης ισχύος από ΦΒ συστοιχία. Αφού συλλέξουμε την μέγιστη ισχύ την πολλαπλασιάζουμε με το βήμα των μετρήσεων μας που ήταν ανά μισή ώρα άρα με 0,5. Διαιρώντας έπειτα με την μια μέρα των μετρήσεων, δηλαδή με 24, βρίσκουμε τη μέση μέγιστη ισχύ. Έτσι για να βρούμε τον συντελεστή ισχύος τώρα διαιρούμε τη μέγιστη μέση ισχύ δια την ισχύ αιχμής του ΦΒ πλαισίου που στην περίπτωση μας έχει μετρηθεί με 48 Wp.

Από την επεξεργασία των δεδομένων που αναφέραμε προηγουμένως προκύπτουν οι αντίστοιχοι συντελεστές ισχύος του ΦΒ πλαισίου για τις δύο μέρες.

Πίνακας7

Ημερομηνία	File	ηΦΒ(έμμεσο)	ηΦΒ(άμεσο)	ηΦΒ(έμμεσο)/ηΦΒ(άμεσο)
18/5/2003	pn(18-5-2003)	0,23	0,219	1,050228311
19/5/2003	pn(19-5-2003)	0,239	0,247	0,967611336

Στη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους βλέπουμε ότι οι τιμές των αποτελεσμάτων είναι αρκετά κοντά η μια με την άλλη.

4.2.2 Υπολογισμός του <ηΑΓ>

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα ο υπολογισμός του $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ μπορεί να γίνει είτε με δεδομένα ημερήσιας καταγραφής της αποδιδόμενης «στιγμιαίας» ισχύος της ΑΓ, είτε από δεδομένα ημερήσιας καταγραφής «στιγμιαίας» ταχύτητας ανέμου ή μέσω των παραμέτρων k, c των αντιστοίχων καμπυλών Weibull.

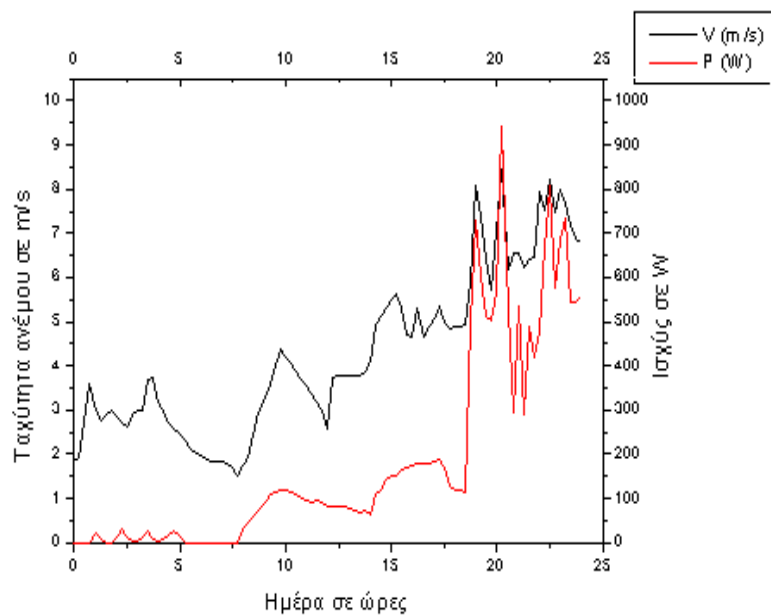
Η διαδικασία την οποία ακολουθούμε είναι η εξής:

Καταγράφουμε ανά τέταρτο την ταχύτητα του ανέμου μέσα σε μια μέρα. Έπειτα κάνουμε αναγωγή από ύψος 35m σε 18m διότι είχε γίνει αλλαγή της προηγούμενης ΑΓ απο την τωρινή την Westwind 3 KW τον Νοέμβριο του 2001. Αμέσως μετά υπολογίζουμε την κατανομή πιθανότητας των ταχυτήτων $f(u)$. Τέλος πολλαπλασιάζουμε την ανηγμένη ισχύ της ΑΓ, τα δεδομένα τις οποίες μας δίνονται από την καμπύλη της ισχύος της διαιρεμένη με την ονομαστική της ισχύ, με την $f(u)$. Αθροίζοντας έτσι τα αποτελέσματα που βρίσκουμε βρίσκουμε τον $\bar{\eta}_{ΑΓ}$.

Ένας δεύτερος τρόπος υπολογισμού εάν δεν διαθέταμε τα ανεμολογικά αυτά δεδομένα θα ήταν μέσω των παραμέτρων k, c της καμπύλης Weibull όπου και πάλι υπολογίζουμε την $f(u)$ και βρίσκουμε όπως πριν τον $\bar{\eta}_{ΑΓ}$.

Ο υπολογισμός τώρα από πειραματικά δεδομένα γίνεται όπως πριν, μόνο που αντί να καταγράφουμε ταχύτητα, καταγράφουμε την ισχύ εξόδου της ΑΓ. Αθροίζοντας έτσι όλες τις καταγεγραμμένες τιμές ισχύος, πολλαπλασιάζοντας με συντελεστή 0,25, διαιρώντας με τις ώρες, δηλαδή 24 και μετά δια την ονομαστική ισχύ της ΑΓ, βρίσκουμε τον $\bar{\eta}_{ΑΓ}$.

Παρακάτω φαίνεται ένα δείγμα των ημερήσιων γραφημάτων ταχύτητας ανέμου και ισχύος ΑΓ:



Σχήμα 41

Ομοίως για την ΑΓ τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω:

Πίνακας8

Ημερομηνία	File	ηΑΓ (έμμεσο)	ηΑΓ (έμμεσο μέσω Weibull)	ηΑΓ(άμεσο)	ηΑΓ(έμμ)/ηΑΓ(άμ)
4/6/2004	Υπολογισμός μέσου ηΑΓ με βάση δεδομένα Αυστραλίας4-6-04	0,028	0,02	0,017	1,64
5/6/2004	Υπολογισμός μέσου ηΑΓ με βάση δεδομένα Αυστραλίας5-6-04	0,095	0,089	0,09	1,05
7/6/2004	Υπολογισμός μέσου ηΑΓ με βάση δεδομένα Αυστραλίας7-6-04	0,064	0,075	0,059	1,08
9/6/2004	Υπολογισμός μέσου ηΑΓ με βάση δεδομένα Αυστραλίας9-6-04	0,054	0,068	0,064	0,84

Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι και πάλι οι τιμές των συντελεστών ισχύος είναι αρκετά κοντά η μία με την άλλη με ένα μικρό ποσοστό σφάλματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΦΒ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΑΓΡΟΙΚΙΑΣ ΣΤΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

5.1 Περιγραφή της εφαρμογής

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εφαρμογή των μεθόδων υπολογισμού ΦΒ υβριδικού συστήματος, που περιγράφηκαν με λεπτομέρεια στα προηγούμενα. Επιλέγουμε μια τυπική για την περίπτωση αυτή φωτοβολταϊκή εφαρμογή, που αφορά σε μια κατοικία σε αγροτική περιοχή, στα περίχωρα της πόλης του Ηρακλείου Κρήτης. Η επιλογή της θέσης σχετίζεται με το ότι για την περιοχή αυτή διαθέτουμε αναλυτικά ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα, για σειρά ετών.

A. Σύνθεση του υβριδικού συστήματος

- ΦΒ συστοιχία
- Ανεμογεννήτρια
- Συσσωρευτές
- Η/Ζ

B. Ενεργειακά στοιχεία κατανάλωσης

Κάλυψη μηνιαίων μέσων ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής, όπως αναφέρονται στη συνέχεια.

Γ. Δεδομένα:

- Ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης
- Τύπος ΦΒ πλαισίων (c-Si, mc-Si, ή άλλου υλικού)

Δ. Διαστασιολόγηση συστήματος:

Απαιτείται ο υπολογισμός

- των ονομαστικών τιμών των πηγών ΑΠΕ
- της χωρητικότητας του συσσωρευτή
- της ονομαστικής ισχύος του inverter
- της ονομαστικής ισχύος του Η/Ζ

5.1.1 Ενεργειακά δεδομένα της κατοικίας

Στον πίνακα 6 περιλαμβάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις της τυπικής αγροτικής κατοικίας που εξετάζουμε:

Πίνακας 9

α/α		Ισχύς	Συνολικός χρόνος(h)	Καταναλισκόμενη ενέργεια (Wh)
1	Φωτισμός (εντός οικίας: 4x20 W)	80	5	400
	(εκτός οικίας: 3x10W)	30	6	180
2	Τηλεόραση	80	7	560
3	Ψυγείο	100	16	1600
4	Πλυντήριο ρούχων	1000	1	1000
5	Ηλεκτρικά εργαλεία	1000	0,5	500
	Σύνολο	2290	38,7	4240

Συνολική κατανάλωση $E_k \approx 4,24$ kWh και μέγιστη ισχύ $P_k \sim 2,3$ kW.

5.1.2 Ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής

A. Ηλιακά δεδομένα

Τα ηλιακά δεδομένα αφορούν στο έτος 1998 και έγιναν στο εργαστήριο ΦΒ πάρκο του ΤΕΙ Κρήτης. Για τη μέτρηση της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε το πυρανόμετρο CM 11 της εταιρείας Kipp & Zonen, με ευαισθησία $5,17 \cdot 10^{-6}$ V/Wm⁻², το οποίο τοποθετήθηκε πάνω στο ΦΒ πλαίσιο, παράλληλα με αυτό. Για τον πειραματικό προσδιορισμό των σημείων της χαρακτηριστικής I-V, χρησιμοποιήθηκε διάταξη σχετικά ταχείας μεταβολής της αντίστασης εξόδου του ΦΒ πλαισίου (ηλεκτρονικό φορτίο), συνδεδεμένη στο ΦΒ πλαίσιο. Η διάταξη αυτή, κατασκευή του εργαστηρίου ΦΠ, επιτρέπει τη σύντομη (~1 min) λήψη των πειραματικών σημείων της χαρακτηριστικής, έτσι ώστε, κατά τη διάρκεια της μέτρησης, να μην αλλάζει ουσιαστικά η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου. Η τάση και η ένταση του ρεύματος μετριόταν με βολτόμετρο και αμπερόμετρο συνδεδεμένα στο ΦΒ πλαίσιο. Χρησιμοποιήθηκε επίσης ένα ψηφιακό θερμόμετρο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα.

B. Ανεμολογικά δεδομένα

Η περίοδος συλλογής και των ανεμολογικών δεδομένων έγινε κατά το ίδιο έτος, δηλαδή το 1998, από ανεμόμετρο της Vector instruments, τοποθετημένο σε ιστό, σε ύψος 10 m, ο οποίος βρίσκεται στο χώρο του ΦΒ πάρκου.

5.1.3 Επεξεργασία ηλιακών και ανεμολογικών δεδομένων

Γενικά

Μαζί στα ηλιακά και στα ανεμολογικά δεδομένα χρησιμοποιούμε ένα παρόμοιο τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων, δηλαδή γίνεται συλλογή της μέσης ταχύτητας του ανέμου και των ηλιακών δεδομένων που έχουν προαναφερθεί. Δηλαδή για τα ανεμολογικά δεδομένα βρίσκουμε όπως και σε προαναφερθέντα κεφάλαια την κατανομή πιθανότητας, και γνωρίζοντας συγχρόνως την ανηγμένη ισχύ της ΑΓ που θα χρησιμοποιηθεί υπολογίζουμε

τον συντελεστή ισχύος. Ομοίως και για τα ηλιακά δεδομένα βρίσκουμε την PR_{σ} όπως έχει και αυτό προαναφερθεί και καταλήγουμε έτσι στον συντελεστή ισχύος.

5.1.3.1 Επεξεργασία ηλιακών δεδομένων

Για να υπολογίσουμε τον $\langle \eta \Phi_B \rangle$ αξιοποιήθηκαν ηλιακά δεδομένα ενός έτους (τράπεζα δεδομένων του εργαστηρίου ΦΓ), δηλαδή την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασία του αέρα, και βγάλαμε μετέπειτα τον συντελεστή ισχύος για κάθε μήνα του έτους με διαδικασία που έχει προαναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο.

5.1.3.2 Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων

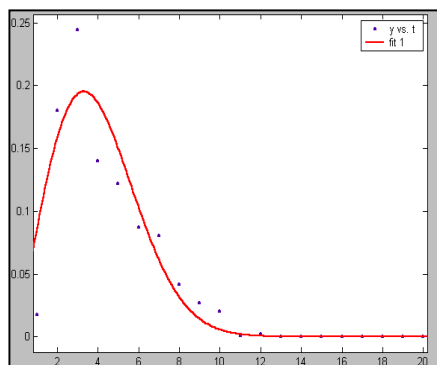
Τα ανεμολογικά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήσαμε είναι από ενός έτους. Για κάθε μήνα υπολογίστηκαν

α. οι πυκνότητες πιθανότητας $f(u)$ για κάθε μήνα του συγκεκριμένου έτους. Από την $f(u)$ μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής ισχύος της ΑΓ με βάση τη σχέση:

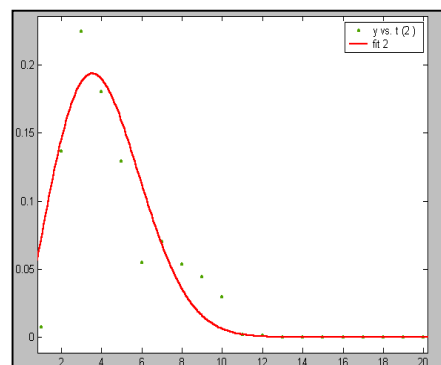
$$f(u) = \frac{dp}{du} = \frac{dt}{T \cdot du} \quad (24)$$

β. οι χαρακτηριστικές καμπύλες Weibull μέσω ενός προγράμματος το οποίο ονομάζεται Matlab. Το πρόγραμμα αυτό δίδει με βάση την καλύτερη προσαρμογή στα πειραματικά σημεία, την αντίστοιχη καμπύλη Weibull και τις αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων c και k . Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα για κάθε μήνα, που αφορούν τις $f(u)$ και τις αντίστοιχες καμπύλες Weibull.

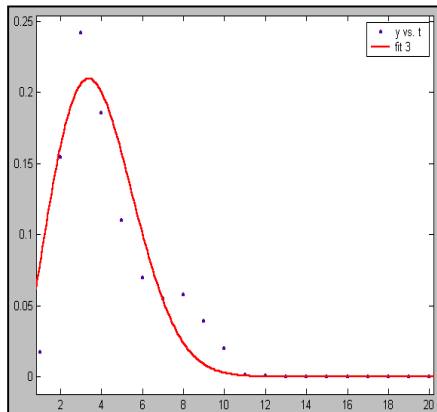
Ιανουάριος



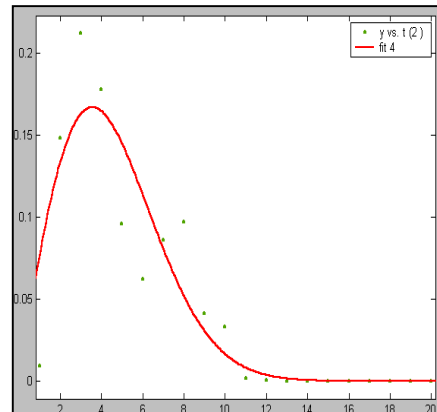
Φεβρουάριος



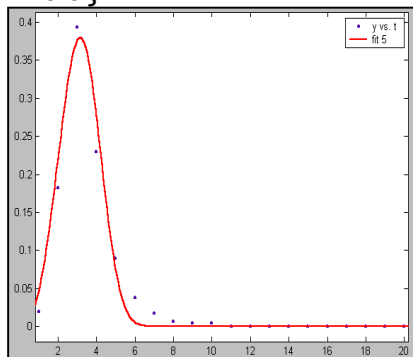
Μάρτιος



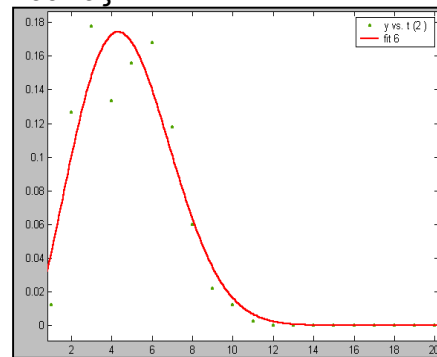
Απρίλιος



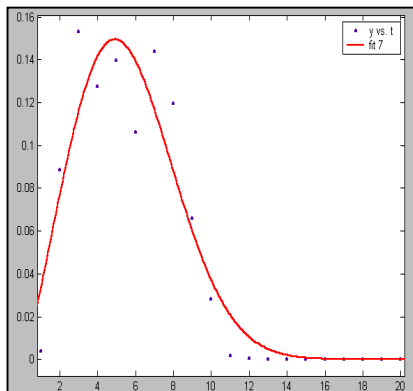
Μάιος



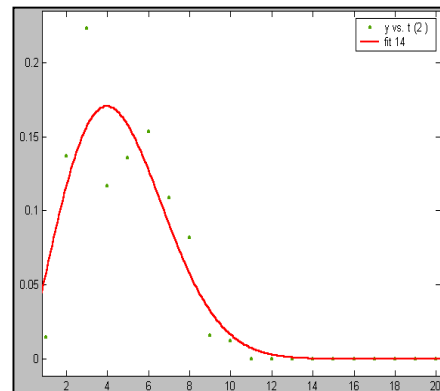
Ιούνιος



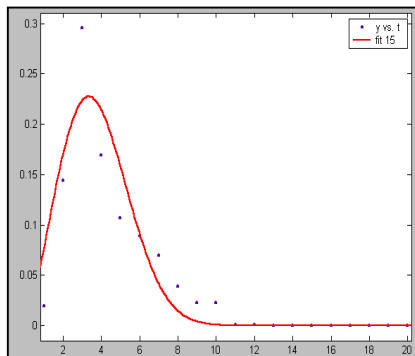
Ιούλιος



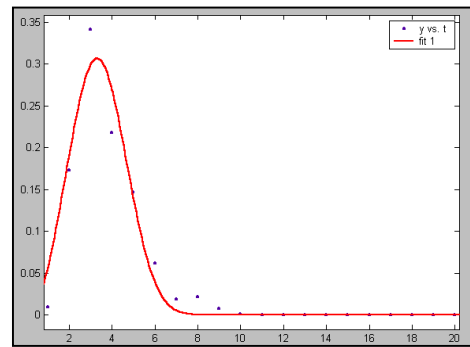
Αύγουστος



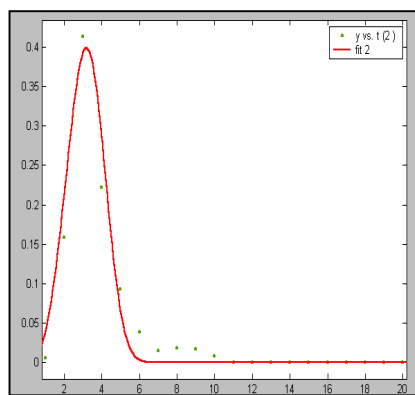
Σεπτέμβριος



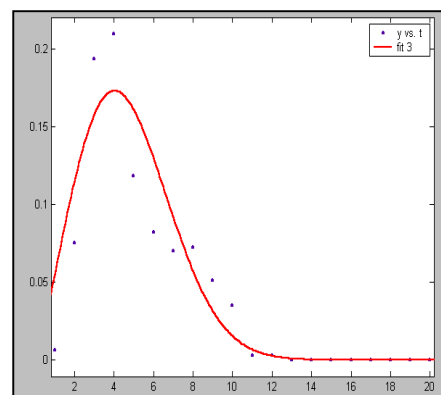
Οκτώβριος



Νοέμβριος

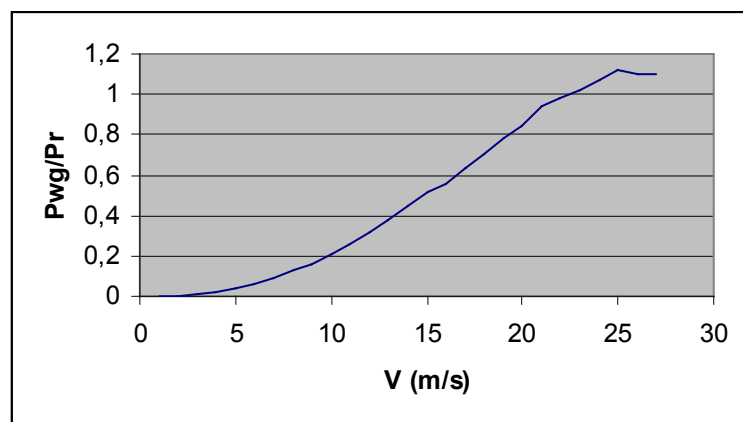


Δεκέμβριος



5.1.4 Χαρακτηριστικά λειτουργίας ανεμογεννήτριας

Θεωρούμε ανεμογεννήτρια με ανηγμένη καμπύλη ισχύος ίδια με αυτή του μοντέλου Αλκυονίδα, της εταιρείας mechatron ονομαστικής 1kW (σχήμα 42), με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :



Σχήμα 42

5.1.5 Συγκεντρωτικός πίνακας ηλιακών και ανεμολογικών στοιχείων της περιοχής εγκατάστασης και των πηγών ΑΠΕ καθώς και της μηνιαίες μέσης ημερήσιας ισχύος κατανάλωσης της εφαρμογής.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά οι συντελεστές ισχύος της ΑΓ και του ΦΒ, όπως και τα **k** και **c**, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία καθώς και η μέση ημερήσια ισχύς κατανάλωσης της εφαρμογής (Αγροτικής κατοικίας).

Πίνακας 11

Μήνες	Ηλιακά δεδομένα - ΦΒ συστοιχία		Ανεμολογικά δεδομένα – Χαρακτηριστική ανεμογεννήτριας			Κατανάλωση \bar{P}_L (W)
	H_t (kWh/m ² d)	$\bar{\eta}_{\Phi B}$	k	c m/s	$\bar{\eta}_{ΑΓ}$	
Ιανουάριος	2,49	0,108	2	4,5	0,153	176,7
Φεβρουάριος	3,62	0,156	2,1	4,7	0,169	176,7
Μάρτιος	4,7	0,200	2,1	4,7	0,156	176,7
Απρίλιος	5,34	0,224	1,9	5	0,194	176,7
Μάιος	6,12	0,251	2,3	3,6	0,077	176,7
Ιούνιος	6,58	0,265	2,3	5,5	0,190	176,7
Ιούλιος	6,49	0,259	2,2	6,3	0,250	176,7
Αύγουστος	6,71	0,267	2,1	5,3	0,185	176,7
Σεπτέμβριος	6,16	0,249	2,3	4,2	0,147	176,7
Οκτώβριος	4,87	0,201	2,3	3,8	0,097	176,7
Νοέμβριος	3,45	0,146	2,2	4,4	0,094	176,7
Δεκέμβριος	2,25	0,096	2,2	5,3	0,196	176,7

5.1.6 Οικονομικά δεδομένα

Κόστος ΦΒ πλαισίων: $c_{\Phi B} = 4,7 \text{ €/W}_p$

Κόστος ανεμογεννήτριας: $c_{\Phi B} = 3,5 \text{ €/W}_p$

Κόστος καυσίμου $c_{\text{καυσίμου}} = 0,5 \text{ €/kWh}$.

Χρόνος ζωής επένδυσης: $N = 20 \text{ έτη}$

Τρέχον επιτόκιο: $d = 5\%$

Πληθωρισμός: $i = 2\%$

Χρόνος αντικατάστασης συσσωρευτή: $N_{\text{Rσου}} = 10 \text{ έτη}$

Χρόνος αντικατάστασης Η/Ζ: $N_{\text{RHZ}} = 15 \text{ έτη}$

Παράγων παρούσας αξίας, $RF = 0,83$

Παράγων ανάκτησης κεφαλαίου, $CRF = 0,067$

5.1.7 Αποτελέσματα υπολογισμού ΦΒ υβριδικού συστήματος

Με εφαρμογή των προηγούμενων δεδομένων και της μέσης ισχύος κατανάλωσης υπολογίζονται οι τιμές ονομαστικής ισχύος ΦΒ και ΑΓ για την αγροικία καθώς και το μέγεθος του συσσωρευτή και του Η/Ζ.

ΦΒ συστοιχία: $P_p = 450 \text{ W}$

ΑΓ: $P_N = 900 \text{ W}$

Inverter: $P_{\text{inv}} = 2000 \text{ W}$ με τάση λειτουργίας $24 \text{ V}/220 \text{ V ac}$

Συσσωρευτής: $C \approx 923,7 \text{ Ah}$

$C_{\text{ΑΠΕmin}} = 5265 \text{ Euro}$

LCC = 23116 Euro
Ονομαστική ισχύς: H/Z = 5 kW

5.2 Συμπεράσματα - Σχόλια

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μια μεθοδολογία για τη λειτουργία συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η εφαρμογή της στον υπολογισμό ενός ΦΒ υβριδικού συστήματος για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων μιας αγροικίας στο Ηράκλειο Κρήτης. Ο κύριος σκοπός είναι να προσαρμόσουμε τα τεchnοοικονομικά μέρη της εφαρμογής με τις επιδόσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το συνολικό κόστος. Δηλαδή, να έχουμε τις καλύτερες δυνατές επιδόσεις με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος όπως παρουσιάστηκε στα παραδείγματα του 4^{ου} κεφαλαίου.

Εξετάστηκαν δύο μέθοδοι εφαρμογής. Η μια αφορούσε συστήματα πηγών ΑΠΕ τα οποία κάλυπταν πλήρως τις ανάγκες μας για το απαιτούμενο φορτίο της εφαρμογής. Η δεύτερη αφορούσε πάλι το ίδιο σύστημα αλλά με συμμετοχή του H/Z, το οποίο θα κάλυπτε τους μήνες του έτους τους οποίους το σύστημα ΑΠΕ αδυνατούσε να καλύψει (Μέθοδος ελαχιστοποίησης που LCC). Τα αποτελέσματα εφαρμογής τους ελέγχθηκαν σε σύγκριση με στοιχεία της βιβλιογραφίας. Υπολογίστηκε σε κάθε περίπτωση το κόστος ενέργειας.

Ο υπολογισμός των συντελεστών ισχύος της ΦΒ συστοιχίας και της ΑΓ του υβριδικού συστήματος, γίνεται με βάση

- το λόγο επίδοσης και την πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας για τη ΦΒ συστοιχία και
- τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής (πειραματικά ή από τη σχέση Weibull) και την ανηγμένη ισχύ της ΑΓ για την αιολική μηχανή.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών ελέγχθηκαν με βάση αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα για την αποδιδόμενη ισχύ από τις δύο αυτές ανανεώσιμες πηγές.

Τέλος, με βάση τη μεθοδολογία επιλογής του ελαχίστου LCC, υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες τιμές ονομαστικής ισχύος των ΑΠΕ, του H/Z, του inverter και της χωρητικότητας του συσσωρευτή, για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων αγροικίας στην περιοχή Ηρακλείου Κρήτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ελληνικά συγγράμματα

1. Ι. Φραγκιαδάκης – Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2004
2. Ι. Κ. Καλδέλης – Διαχείριση της αιολικής ενέργειας, Εκδόσεις Αθ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ 1999
3. Ι. Κ. Καλδέλης, Κ. Α. Καββαδίας – Εργαστηριακές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας, Εκδόσεις Αθ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ 2001
4. Β. Φασουλός – Σημειώσεις για το σεμινάριο κατάρτισης: Αιολική Ενέργεια, ΤΕΙ Κρήτης 2001

- Διεθνής βιβλιογραφία

Solar Electricity

Tomas Markvart
John Wiley & Sons, LTD,
Second edition, 2001

Protogeropoulos C., Brinkworh B. and Marshall R. (1997) "Sizing and technological optimization for hybrid solar Photovoltaic/Wind power systems with battery storage", International Journal of Energy Research, V21, 465-479.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΙΝΤΕΡΝΕΤ

1. Κέντρο ΑΠΕ <http://www.cres.gr>
2. The Australian greenhouse office <http://greenhouse.gov.au>
3. Wiley interscience <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/10126/PDFSTART>
4. Westwind turbines <http://www.westwind.com.au/turbines/2kw.htm>
5. Westwind turbines http://www.westwind.com.au/images/2_5kpwrurve.gif
6. Westwind turbine <http://wwwphys.murdoch.edu.au/WebRAPS/specifications/3kWwindturb.htm>
7. Historical daily data <http://wwwphys.murdoch.edu.au/WebRAPS/historicaldata/S2dailydata.htm>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ CD

