



## **ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ** **"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"**

### **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας με συνδυασμό  
Φωτοβολταϊκών συστημάτων και Ανεμογεννητριών

#### **Postgraduate Thesis**

Production of electric energy with combination  
of photovoltaic systems and wind generators

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή : **Τζαννίνη Εμμανουήλ**

Επιβλέπων : **ΠΕΤΡΟΣ Γ. ΒΕΡΝΑΔΟΣ, Ομότιμος Καθηγητής, Ηλεκτρολόγων  
Μηχανικών Τ.Ε.**

**Αιγάλεω, Ιούνιος 2017**



Copyright © Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Βερνάδο Πέτρο για την πολύτιμη καθοδήγηση του, το ενδιαφέρον και την διακριτική επίβλεψη του στην διπλωματική εργασία, καθώς και την οικογένεια μου που με στήριξε καθ' όλη την διάρκεια της πορείας μου.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους καθηγητές μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μας προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

\*Αφιερωμένη στον γιο μου που τον περιμένω!!

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα.....	i
Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	3
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	3
1.2 Ηλιακή Ενέργεια.....	7
1.3 Ατομική και Κρυσταλλική Δομή των Φ/Β στοιχείων.....	10
1.3.1 Κρύσταλλος Πυριτίου.....	11
1.4 Απόδοση κατασκευή και τεχνολογίες Φ/Β στοιχείων.....	13
1.4.1 Laser grooved cells.....	15
1.4.2 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου.....	15
1.4.3 Φ/Β Στοιχεία Λεπτής Μεμβράνης (thin films).....	16
1.4.4 Φ/Β spheral solar.....	16
1.5 Βασικοί τρόποι σύνδεσης Φ/Β.....	19
1.5.1 Στοιχεία σύνθεσης φωτοβολταϊκού συστήματος.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	22
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	22
2.2 Εφαρμογές της αιολικής ενέργειας.....	25
2.3 Σύστημα αποθήκευσης αιολικής ενέργειας.....	27
2.4 Κατάταξη αιολικών μηχανών και όριο Betz.....	28
2.5 Απόδοση αιολικών μηχανών.....	31
2.6 Καμπύλη Ισχύος αιολικής μηχανής.....	32
2.7 Μηχανές οριζόντιου άξονα περιστροφής.....	33
2.7.1 Τύποι γρήγορων αιολικών μηχανών.....	33
2.7.2 Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα.....	33
2.8 Μηχανές κάθετου άξονα περιστροφής.....	37

2.9 Αιολικά πάρκα.....	39
2.10 Αιολικά πάρκα στην θάλασσα.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Γενικά.....	45
3.3 Εφαρμογές υβριδικών συστημάτων.....	45
3.4 Ηλεκτροδότηση Περιοχών.....	50
3.5 Κριτήρια επιλογής μονάδων αποθήκευσης.....	52
3.6 Φωτοβολταϊκά – Αιολικά υβριδικά συστήματα.....	54
3.7 Περιγραφή του υπό μελέτη συστήματος.....	56
3.8 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα.....	57
3.9 Διαστασιοδότηση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος.....	59
3.10 Πλεονεκτήματα υβριδικών συστημάτων.....	60
3.11 Εφαρμογές υβριδικών συστημάτων.....	62
3.12 Τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού.....	63

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια δίνεται μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη ηλεκτρικών συστημάτων φιλικών προς το περιβάλλον. Στην κατεύθυνση αυτή πραγματοποιείται προοδευτική αντικατάσταση συστημάτων συμβατικών πηγών ενέργειας (όπως το πετρέλαιο) με νέα ανανεώσιμων.

Η διπλωματική εργασία αυτή εξετάζει συνδυασμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιο αναλυτικά, η δομή της εργασίας οργανώνεται σε 3 κεφάλαια

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία και τις εφαρμογές της.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την αιολική ενέργεια και την διαδικασία λειτουργίας της ανεμογεννήτριας καθώς και κάθε μηχανικό μέρος του συστήματος της.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται παρουσίαση των υβριδικών συστημάτων και της παραγωγής ενέργειας τους. Επεξήγηση του υπό μελέτη υβριδικού συστήματος Φωτοβολταϊκών - Ανεμογεννήτριας.

## **Abstract**

In the past few years a great emphasis has been given on the growth of electric systems which are friendly to the environment. In this direction, a progressive replacement of systems of conventional sources of energy (such as oil) is realized with new renewable systems.

This thesis examines the combination of renewable sources of energy for production of electric energy.

More analytically, the structure of this work is organized in 3 chapters. In the first chapter an import is being made in the exploitation of solar energy, in the photovoltaic technology and her applications.

The second chapter concerns the aeolian energy and the working process of a wind generator as well as each mechanic part of its system.

In the third chapter a presentation of hybrid systems is taking place alongside with the whole procedure of how they produce electric energy. Analysis of the sub-study hybrid system of Photovoltaic - Wind generator.





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Ο όρος "φωτοβολταϊκό φαινόμενο" περιγράφει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φως. Η ονομασία *Φωτοβολταϊκά* είναι σύνθετη λέξη και προέρχεται από τη λέξη "*φως*" και τη μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης που είναι το "*volt*".

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης, πήρε το όνομα της από τον Ιταλό φυσικό κόμη A.Volta, ο οποίος εφηύρε τη μπαταρία. Η ανακάλυψη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, αποδίδεται στο Γάλλο φυσικό E. Becquerel, ο οποίος δημοσίευσε το 1839 μια εργασία του, όπου περιέγραφε πειράματα που έκανε με μπαταρία υγρού, στη διάρκεια των οποίων διαπίστωσε ότι η τάση του συσσωρευτή αύξανε όταν οι πλάκες από άργυρο εκτίθονταν στο ηλιακό φως. Συμπτωματικά, η εργασία του Becquerel για την επίδραση του φωτός σε μίγματα αργύρου έθεσε τις βάσεις για τη φωτογραφία.

Το 1871 οι Adams και Day, περιέγραψαν τις μεταβολές των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του σεληνίου όταν αυτό εκτίθεται στο φως. Το σελήνιο είναι ένα μη-μεταλλικό στοιχείο, παρόμοιο με το θείο. Το 1883 ο Charles Edgar Fritts, ηλεκτρολόγος από τη Νέα Υόρκη, κατασκεύασε ένα ηλιακό στοιχείο από σελήνιο το οποίο, σε γενικές γραμμές παρουσίαζε ομοιότητες με τα σημερινά Φ/Β στοιχεία από πυρίτιο. Το ηλιακό στοιχείο ήταν κατασκευασμένο από λεπτά στρώματα σεληνίου με κάλυψη από πολύ λεπτά ημιδιαφανή χρυσά σύρματα και φύλλο γυαλιού για προστασία. Ο βαθμός απόδοσης ήταν πολύ μικρός.

Η απόδοση του ηλιακού στοιχείου ορίζεται ως το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει στην επιφάνεια του και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Το ποσοστό μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό ήταν μικρότερο του 1% στα πρώτα ηλιακά στοιχεία. Ωστόσο, τα στοιχεία από σελήνιο χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα στη φωτογραφία ως φωτόμετρα. Η μεγάλη ώθηση για την ανάπτυξη ηλιακών κελιών υψηλής απόδοσης δόθηκε στη δεκαετία του '50. Πραγματοποιήθηκε στα Bell Telephone Laboratories (Bell Labs) στο New Jersey των ΗΠΑ, όπου οι D.Chapin, C.Fuller και G.Pearson, ερευνούσαν την επίδραση του φωτός στους ημιαγωγούς.

Οι ημιαγωγοί είναι μη-μεταλλικά υλικά, όπως το γερμάνιο και το πυρίτιο, των οποίων οι ηλεκτρικές ιδιότητες βρίσκονται μεταξύ των αγωγών (μικρή αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων) και των μονωτών (μεγάλη αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων). Μερικά χρόνια πριν, το 1948, δύο άλλοι ερευνητές των Bell Labs, οι Bardeen και Brattain, κατασκεύασαν μια επαναστατική συσκευή με ημιαγωγούς, το transistor. Τα transistors κατασκευάζονται από ημιαγωγούς (συνήθως πυρίτιο) σε καθαρή κρυσταλλική μορφή, όπου εισάγονται προσεκτικά πολύ μικρές ποσότητες προσμίξεων, όπως βόριο ή φώσφορος. Η διαδικασία αυτή, γνωστή ως doping, μεταβάλλει σημαντικά την ηλεκτρική συμπεριφορά των ημιαγωγών.

Το 1953 η ομάδα των Chapin-Fuller-Pearson, στο Bell Labs, κατασκεύασαν στοιχεία από πυρίτιο με προσμίξεις που ήταν πιο αποδοτικά σε σχέση με τα πρώτα στοιχεία. Το 1954 είχαν καταφέρει να αυξήσουν την απόδοση σε 6%. Τα Bell Labs προχώρησαν σε επίδειξη της χρήσης των ηλιακών κελιών στην πράξη, παρέχοντας ενέργεια σε ενισχυτή τηλεφώνου (σε αγροτική περιοχή) στα μέσα της δεκαετίας του '50.

Το κόστος των πρώτων Φ/Β στοιχείων ήταν πολύ υψηλό για να αποτελέσουν μια ανταγωνιστική πηγή ενέργειας στις περισσότερες χρήσεις. Ωστόσο, το 1958 χρησιμοποιήθηκαν ηλιακά στοιχεία για την παροχή ενέργειας σε ένα μικρό ραδιοφωνικό πομπό του δεύτερου διαστημικού δορυφόρου των ΗΠΑ, του Vanguard I. Η επιτυχία αυτού του πειράματος οδήγησε στη γενικευμένη χρήση των Φ/Β, ως πηγή ενέργειας στους διαστημικούς δορυφόρους. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στη μείωση του κόστους και στην αύξηση της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων. Οι επίγειες εφαρμογές τους είναι ευρύτατα διαδεδομένες, ιδιαίτερα για παροχή ενέργειας σε συστήματα τηλεπικοινωνιών, φωτισμό και άλλες ηλεκτρικές συσκευές, σε περιοχές όπου η παροχή ηλεκτρισμού με συμβατικό τρόπο είναι πολύ ακριβή.

Τα Φ/Β στοιχεία χρησιμοποιούνται ευρέως και σε προϊόντα, όπως ρολόγια και μικροϋπολογιστές, ενώ λειτουργούν Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρισμού σε σύνδεση με το δίκτυο όχι μόνο κρατικοί αλλά και ιδιωτικοί οι οποίοι φτιάχνονται κατόπιν άδειας είτε ως ιδιωτικοί (π.χ. για απομακρυσμένες περιοχές οικιακής, εμπορικής και βιομηχανικής χρήσης) δηλαδή ενεργειακά ανεξάρτητες εγκαταστάσεις είτε συνδέονται με το εκάστοτε εθνικό δίκτυο. Οι καλύτερες εμπορικά διαθέσιμες Φ/Β μονάδες έχουν ολική απόδοση της τάξης του 16%.

Η βελτίωση της απόδοσης συνοδεύεται από μείωση του κόστους, το οποίο κυμαίνεται στα \$4 ανά W(p) (τιμές 1992) για μεγάλες αγορές. Το 1959, το κόστος των Φ/Β στοιχείων για διαστημικές εφαρμογές ήταν της τάξης των \$200,000 ανά W(p). Η παραγωγή Φ/Β και η απόδοσή τους αυξάνει, ενώ η τιμή τους μειώνεται συνεχώς. Η βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας των Φ/Β αναμένεται να συνεχιστεί.



Εικόνα 1. Φωτοβολταϊκό σύστημα παρακολούθησης του ηλίου (tracker)

Σήμερα τα φωτοβολταϊκά (ή Φ/Β) συστήματα αποτελούν μια από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Εκμεταλλεύόμενο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια.

Τα Φωτοβολταϊκά είναι Ηλεκτρονικές διατάξεις ημιαγωγών ( Φωτοδιόδων) που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν εκτεθούν στην Ακτινοβολία Φωτονίων του Ηλίου.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια) φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα. Κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος, γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί, με πλαίσιο από αλουμίνιο, σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Η κατασκευή μιας γεννήτριας κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει και από ερασιτέχνες, μετά από την προμήθεια των στοιχείων. Το κόστος είναι απίθανο να είναι χαμηλότερο από την αγορά έτοιμης γεννήτριας, καθώς η προμήθεια ποιοτικών στοιχείων είναι πολύ δύσκολη. Εκτός από το πυρίτιο, χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός.

Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας, πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC) και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης.

Ο Ήλιος εκπέμπει στη Γη 1 KW/m<sup>2</sup> αλλά με τη σημερινή τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών, δεν μπορεί να αποδοθεί ενέργεια μεγαλύτερη του 40%. Το ποσοστό της Ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε Ηλεκτρική ενέργεια από τα Φωτοβολταϊκά με σύγχρονη τεχνολογία χαμηλού κόστους κυμαίνεται από 10–19%.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, γενικά, κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις τους, τη διαμόρφωση των συστατικών τους μονάδων και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται σε άλλες πηγές ενέργειας και ηλεκτρικά φορτία.



Εικόνα 1.1. Φωτοβολταϊκή συστοιχία σε ηλιοστάτη, με εύρος περιστροφής 140°. Το σύστημα ακολουθεί την πορεία του ήλιου σε ημερήσια βάση με τη βοήθεια ειδικού αισθητήρα

## 1.2 Ηλιακή Ενέργεια

Η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας προέρχεται από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του ήλιου. Ως αποτέλεσμα, μεγάλες ποσότητες υδρογόνου μετατρέπονται σε ήλιο με τη σύγχρονη απελευθέρωση μεγάλων ποσών ενέργειας (σε αυτά τα ποσά ενέργειας που έφτασαν στη γη κατά το παρελθόν, οφείλεται και η δημιουργία όλων των ποσοτήτων πετρελαίου και άνθρακα που υπάρχουν στο εσωτερικό της γης).

Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει προς τη γη με ταχύτητα 300.000 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο και μεταφέρει ενέργεια με τα κύματά (ή φωτόνια) της. Όταν γίνει φασματοσκοπική ανάλυση της ακτινοβολίας, εμφανίζονται τα διάφορα χρώματα που περιέχονται σε αυτή. Το σύνολο αυτών των χρωμάτων, αποτελεί το ηλιακό φάσμα. Σε κάθε χρώμα αντιστοιχεί μια συχνότητα. Στο ένα άκρο του φάσματος, υπάρχει το κόκκινο χρώμα με συχνότητα  $4,3 \cdot 10^{14}$  ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο και στο άλλο άκρο, το ιώδες χρώμα με συχνότητα  $7,5 \cdot 10^{14}$  ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο.

Η ενέργεια κάθε φωτονίου Εφ βρίσκεται από τη σχέση:

$$E_{\phi} = h \nu$$

Η σταθερά του Planck, h, έχει τιμή  $6,63 \cdot 10^{-34}$  J s. Το ν είναι η συχνότητα του κύματος στο οποίο ανήκει το φωτόνιο. Με εφαρμογή της σχέσης αυτής προκύπτει ότι η ενέργεια κάθε φωτονίου του ορατού ηλιακού φάσματος κυμαίνεται μεταξύ της τιμής  $2,85 \cdot 10^{-19}$  J που έχει το φωτόνιο του κόκκινου χρώματος και της τιμής  $4,97 \cdot 10^{-19}$  J που έχει το φωτόνιο του ιώδους χρώματος.

Από όλες τις συχνότητες του ηλιακού φάσματος, μόνο οι μεγάλες συχνότητες στις οποίες αντιστοιχούν φωτόνια μεγάλης ενέργειας είναι δυνατό να προκαλέσουν ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο. Οι συχνότητες αυτές, αποτελούν το 75% του φάσματος περίπου, ενώ οι υπόλοιπες δεν προκαλούν αξιοσημείωτα αποτελέσματα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Ένα μέγεθος που έχει μεγάλη σημασία στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ως ένταση B της ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζεται το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε 1 m<sup>2</sup> επιφάνειας σε 1 δευτερόλεπτο:

$$B = \frac{E}{S \cdot t} = \frac{P}{S}$$

όπου E είναι ενέργεια και P η ισχύς που προσπίπτει στην επιφάνεια S σε χρόνο t

$$\text{Η ένταση } B \text{ μετράται σε } \frac{J}{m^2 \cdot s} = \frac{W}{m^2}$$

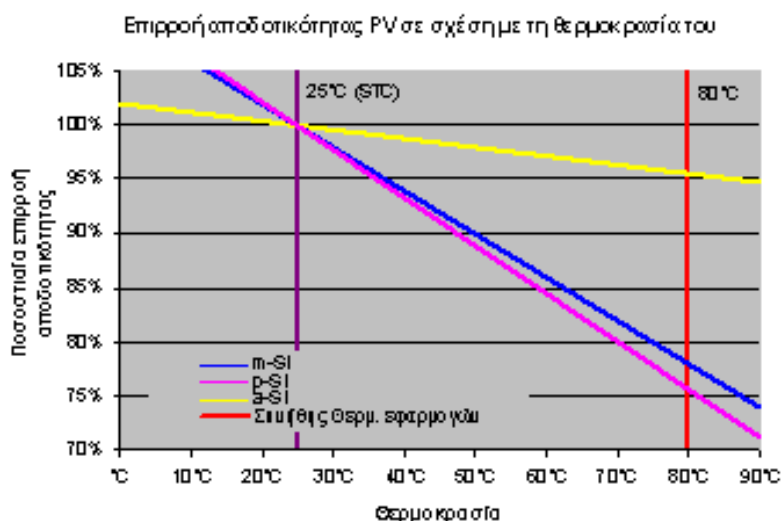
Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στα διάφορα σημεία μεταξύ του ήλιου και της επιφάνειας της γης, βρίσκεται από τη σχέση :

$$B_o = \frac{E_o}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t} = \frac{P_o}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Η ελάττωση της έντασης συμβαίνει σε όλη τη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα της γης, λόγω απορρόφησης. Όταν η ατμόσφαιρα είναι καθαρή και ο ήλιος αρκετά ψηλά ώστε οι ακτίνες να προσπίπτουν σχεδόν κάθετα στην επιφάνεια της γης, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια απ' ευθείας είναι γύρω στα 72%. Εκτός από το ποσοστό αυτό αλλά 7% φτάνουν στην επιφάνεια μετά από διάχυση στα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Τα υπόλοιπα 18% απορροφούνται από το όζον, τους υδρατμούς, τον αέρα και τη σκόνη ενώ 3% επιστρέφει πίσω στο διάστημα.

Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η μέγιστη τιμή της έντασης, που είναι γύρω στα 1,000 W/m, συμβαίνει το ηλιακό μεσημέρι, όταν δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ (το ηλιακό μεσημέρι δε συμπίπτει αναγκαστικά με το ωρολογιακό μεσημέρι).

Ένα χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών στοιχείων, είναι ότι η απόδοσή τους επηρεάζεται από τη θερμοκρασία που αναπτύσσουν κατά την έκθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία. Η επιρροή αυτή διαφέρει με τον τύπο του φωτοβολταϊκού. Σε γενικές γραμμές, η αποδοτικότητα μεταβάλλεται σε σχέση με τη θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού, όπως στο παρακάτω διάγραμμα.



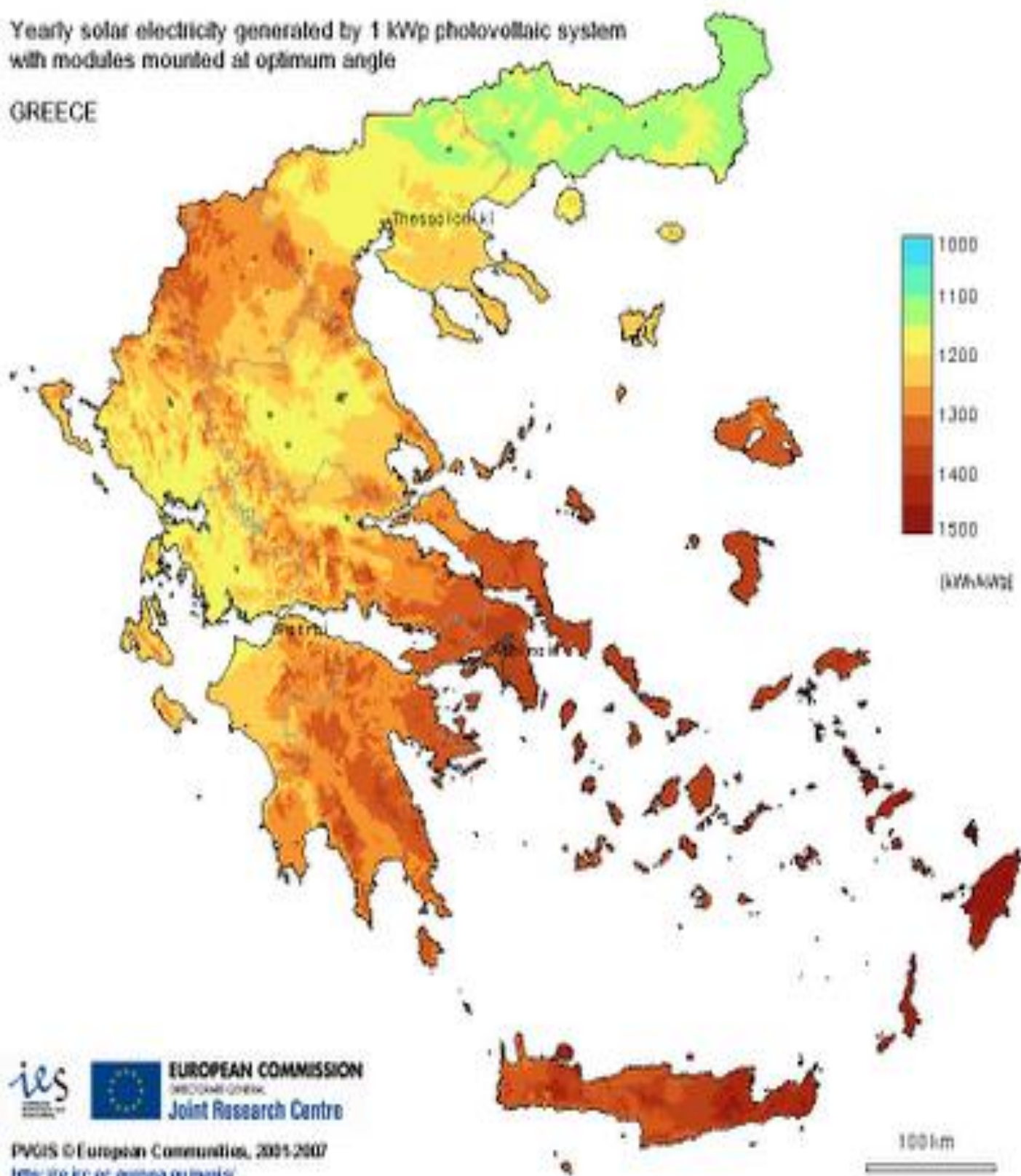
Γράφημα 1.2 Επίρροη αποδοτικότητας PV σε σχέση με την θερμοκρασία του

Για καλύτερη απόδοση στις Φ/Β εγκαταστάσεις, τα πάνελ τα τοποθετούμε με κατεύθυνση προς το νότο και σε κλίση 30°. Υπάρχουν όμως και συστήματα αυτοματισμού με βραχίονα τα οποία παρακολουθούν την κατεύθυνση του ηλίου για καλύτερη απόδοση. Αυτά τα συστήματα, ονομάζονται ηλιοστάτες.



Yearly solar electricity generated by 1 kWp photovoltaic system  
with modules mounted at optimum angle

GREECE



ies  
EUROPEAN COMMISSION  
Joint Research Centre

PVGIS © European Communities, 2001-2007  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

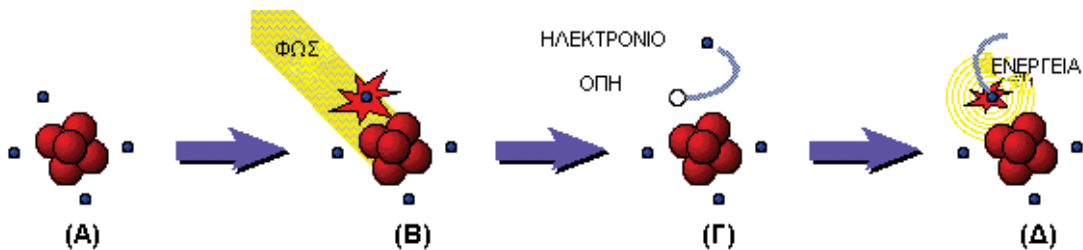


### 1.3 Ατομική και Κρυσταλλική Δομή των Φ/Β στοιχείων

Κάθε στοιχείο της φύσης, χαρακτηρίζεται από διαφορετική ατομική δομή. Ως προς τη δομή του, το άτομο μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα θετικά φορτισμένο πυρήνα, γύρω από τον οποίο περιφέρονται τα ηλεκτρόνια που είναι φορτισμένα αρνητικά.

Ο πυρήνας αποτελείται από τα θετικά πρωτόνια και τα ουδέτερα νετρόνια. Τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα, πράγμα που σημαίνει ότι ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα διατάσσονται σε στοιβάδες. Η εξωτερική στοιβάδα των ηλεκτρονίων ονομάζεται στοιβάδα σθένους, και είναι τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας αυτής (ηλεκτρόνια σθένους) που επηρεάζουν την αγωγιμότητα του ηλεκτρικού ρεύματος.

Αν λόγω κάποιου εξωτερικού αιτίου, κάποια ηλεκτρόνια σθένους αποκτήσουν αρκετή ενέργεια για να ξεφύγουν από την έλξη του πυρήνα, μεταπηδούν στη στοιβάδα αγωγιμότητας που είναι στοιβάδα μεγαλύτερης ενέργειας. Τα ηλεκτρόνια αυτά κινούνται άτακτα μεταξύ των ατόμων και λέγονται *ελεύθερα ηλεκτρόνια*.



*Δημιουργία οπής από την πρόσπτωση φωτονίου*

Με κριτήριο την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα στοιχεία χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες.

- 1ον. **Καλοί αγωγοί**
- 2ον. **Μονωτές**
- 3ον. **Ημιαγωγοί.**

Οι ημιαγωγοί είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των φωτοανιχνευτών και στα υπό μελέτη φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Σε όλα τα στερεά, τα άτομα έχουν καθορισμένες θέσεις και ταλαντεύονται λίγο. ανάλογα με την ενέργεια που τους έχει δοθεί. Γι' αυτό, τα στερεά έχουν καθορισμένο σχήμα το οποίο πολύ δύσκολα μπορεί να μεταβληθεί. Ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρονται τα στερεά, εξαρτάται από την εσωτερική δομή των ατόμων τους και τον τρόπο που συγκρατούνται τα άτομα μεταξύ τους. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες στερεών ανάλογα με την δομή τους.

- ✓ **Κρυσταλλικά και Πολυκρυσταλλικά στερεά.** Στην κρυσταλλική δομή υπάρχει κανονικότητα και τα άτομα κατέχουν ορισμένες θέσεις στο χώρο ώστε να σχηματίζουν κρύσταλλο γεωμετρικού σχήματος, όπως για παράδειγμα είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο. Στη πολυκρυσταλλική δομή, υπάρχουν πολλοί μικροί κρύσταλλοι προσανατολισμένοι σε διαφορετικές διευθύνσεις, όπως για παράδειγμα είναι τα μέταλλα και το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.
- ✓ **Άμορφα στερεά.** Στα στερεά αυτά δεν υπάρχει κανονική εσωτερική δομή και παρομοιάζονται με υγρά που έχουν πολύ μεγάλη εσωτερική τριβή ώστε να μη κινούνται σχεδόν καθόλου, όπως για παράδειγμα είναι το γυαλί και το άμορφο πυρίτιο.
- ✓ **Πολυμερή στερεά-** Στα στερεά αυτά τα μόρια σχηματίζουν μεγάλες αλυσίδες και κάθε μια περιέχει πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων που μπορεί να φθάσουν και στα 10,000. (π.χ. πολυαιθυλένιο). Οι αλυσίδες των μορίων συγκρατούνται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους και ανάλογα με τη σύνδεσή τους έχουν και διαφορετική αντοχή.

Ένα Φ/Β στοιχείο αποτελείται από συνδυασμό δύο λεπτών στρωμάτων από διαφορετικούς ημιαγωγούς, γνωστούς ως p ημιαγωγός και n ημιαγωγός. Οι ημιαγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από πυρίτιο (αν και είναι δυνατή η κατασκευή Φ/Β και από άλλα υλικά). Οι n ημιαγωγοί κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων (συνήθως φωσφόρου), έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο και για αυτό ο ημιαγωγός ονομάζεται n (negative-type). Οι p ημιαγωγοί κατασκευάζονται και αυτοί από κρυσταλλικό πυρίτιο, στο οποίο όμως εισάγονται διαφορετικού τύπου προσμίξεις (συνήθως βόριο), οπότε το υλικό παρουσιάζει έλλειμμα ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια που "λείπουν" ονομάζονται οπές. Η έλλειψη των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με την ύπαρξη θετικού φορτίου και γι' αυτό οι ημιαγωγοί του τύπου αυτού ονομάζονται p (positive-type).

### 1.3.1 Κρύσταλλος Πυριτίου

Ο κρύσταλλος του καθαρού πυριτίου έχει κυβική δομή. Το άτομο του πυριτίου έχει 4 ηλεκτρόνια σθένους. Κάθε άτομο συγκρατείται στο κρυσταλλικό πλέγμα, με αμοιβαία συνεισφορά δύο ηλεκτρονίων (ομοιοπολικός δεσμός) με άλλα 4 γειτονικά άτομα πυριτίου, σε ίσες αποστάσεις. Με τη δράση θερμότητας ή φωτονίων παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια ώστε ένα ηλεκτρόνιο να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας, όπου το ηλεκτρόνιο κινείται ελεύθερα μέσα στο πλέγμα και άγει το ηλεκτρικό του φορτίο. Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνει πίσω του μια οπή, δηλαδή μια περιοχή όπου υπάρχει θετικό φορτίο.

Οι κρύσταλλοι πυριτίου δημιουργούνται με την εισαγωγή απειροελάχιστης ποσότητας φωσφόρου. Κάθε άτομο φωσφόρου έχει 5 ηλεκτρόνια σθένους. Τέσσερα από τα 5 ηλεκτρόνια σθένους του P θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς. Το 5<sup>ο</sup> ηλεκτρόνιο, που περισσεύει, συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό φορτίο. Μικρή ενέργεια αρκεί για την απόσπασή του και τη μεταφορά του στη ζώνη αγωγιμότητας (του κρυστάλλου). Με την απομάκρυνση του 5<sup>ου</sup> ηλεκτρονίου το

άτομο του P μετατρέπεται σε θετικό ιόν. Σε κανονικές θερμοκρασίες, οι κρύσταλλοι η έχουν περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων. Το πεντασθενές άτομο προσμίξεων συμπεριφέρεται ως δότης ηλεκτρονίων.

Οι κρύσταλλοι πυριτίου p δημιουργούνται με την εισαγωγή απειροελάχιστης ποσότητας βορίου. Κάθε άτομο βορίου έχει 3 μόνο ηλεκτρόνια σθένους, τα οποία προσφέρονται στα 3 γειτονικά άτομα πυριτίου. Το 4<sup>ο</sup> άτομο πυριτίου σχηματίζει ένα δεσμό στον οποίο λείπει ένα ηλεκτρόνιο. Με απορρόφηση λίγης ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να μετακινηθεί προς την κενή θέση, αφήνοντας στην προηγούμενη θέση του μια οπή. Συγχρόνως, με την απόκτηση του επιπλέον ηλεκτρονίου και τη συμπλήρωση του 4<sup>ου</sup> δεσμού το άτομο φορτίζεται αρνητικά (αρνητικό ιόν). Συνεπώς, οι p κρύσταλλοι έχουν περισσότερες οπές από ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα τρισθενή άτομα στο πλέγμα του Si συμπεριφέρονται ως αποδέκτες ηλεκτρονίων.

Ένα φωτόνιο, με την απαραίτητη ενέργεια, εισέρχεται σε ένα στοιχείο πυριτίου και συναντά ένα άτομο πυριτίου, εκτοπίζει ένα ηλεκτρόνιο και δημιουργεί μια οπή. Το ηλεκτρόνιο θα κινείται προς το στρώμα του η πυριτίου. Η οπή τείνει να κινηθεί προς το στρώμα του p-τύπου πυριτίου. Το ηλεκτρόνιο κινείται προς ένα συλλέκτη φορτίων στη μπροστινή επιφάνεια του στοιχείου, δημιουργεί ρεύμα σε εξωτερικό κύκλωμα και επανέρχεται στο στρώμα του p-τύπου πυριτίου όπου μπορεί να ενωθεί με τις οπές. Όταν φωτόνιο, με ενέργεια μεγαλύτερη από την ενεργειακή διαφορά των στοιβάδων, προσπίπτει σε άτομο πυριτίου, οδηγεί σε συνδυασμό ηλεκτρονίου-οπής και η περίσσεια ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Φωτόνιο, με ενέργεια μικρότερη από την ενεργειακή διαφορά των στοιβάδων, περνά από το στοιχείο χωρίς να προσδίδει καθόλου ενέργεια. Μερικά φωτόνια ανακλώνται από την μπροστινή επιφάνεια παρά την ύπαρξη ειδικού επικαλυπτικού στρώματος. Μερικά φωτόνια χάνονται καθώς η επιφάνεια του συλλέκτη δεν τους επιτρέπει να προσεγγίσουν τον κρύσταλλο.

Κατηγορία Φωτοβολταϊκών	Απόδοση (%)
<b>Πυριτίου (Si)</b>	
Si – κρυσταλλικό	24,7±0,5
Si – πολυκρυσταλλικό	20,3±0,5
Si – λεπτού υμενίου	16,6±0,4
<b>III-V</b>	
GaAs – κρυσταλλικό	25,1±0,8
GaAs – λεπτού υμενίου	24,5±0,5
GaAs – πολυκρυσταλλικό	18,2±0,5
InP – κρυσταλλικό	21,9±0,7
<b>Πολυεπαφών</b>	
GaInP/GaAs/Ge	32,0±1,5
GaInP/GaAs	30,3
GaAs/CIS	25,8±1,3
a-Si/CIGS	14,6±0,7
a-Si/μc-Si	11,7±0,4
<b>Λεπτών Υμενίων</b>	
CIGS	18,4±0,5
CdTe	16,5±0,5
<b>Αμόρφου /Νανοκρυσταλλικό Si</b>	
Si – άμορφο	9,5±0,3
Si – νανοκρυσταλλικό	10,1±0,2
<b>Φωτοχημικά</b>	
Νανοδομημένα με χρωστική	8,2±0,3

Πίνακας 1.3 Απόδοση φωτοβολταϊκών στην επιφάνεια της γης και σε συνθήκες : 25-°C και 1,5A.M.

## 1.4 Απόδοση κατασκευή και τεχνολογίες Φ/Β στοιχείων





Η ενέργεια ενός φωτονίου είναι ανάλογη της συχνότητας του φωτός που συνδέεται με αυτό. Φωτόνια μικρού μήκους κύματος, έχουν μεγαλύτερη ενέργεια από αυτά με μεγαλύτερο μήκος κύματος (κοντά στην ερυθρή άκρη του ορατού φάσματος). Έχει μεγάλη σημασία, η ενεργειακή διαφορά των ζωνών του υλικού που χρησιμοποιείται στο Φ/Β στοιχείο να ταιριάζει με το φάσμα του φωτός που προσπίπτει σε αυτό. Εάν το μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας του εισερχόμενου ηλιακού φάσματος βρίσκεται στην περιοχή του φάσματος από κίτρινο έως πράσινο (φωτόνια ενέργειας 1.5 eV), τότε ένας ημιαγωγός με ενεργειακή διαφορά ζωνών της ίδιας τάξης θα έχει μεγαλύτερη απόδοση.

Γενικά, ημιαγωγοί με ενεργειακή διαφορά από 1.0 έως 1.5eV είναι κατάλληλοι για Φ/Β στοιχεία. Το πυρίτιο έχει ενεργειακή διαφορά στοιβάδων της τάξης του 1.1eV. Η μέγιστη θεωρητική απόδοση μετατροπής που μπορεί να επιτευχθεί σε μια απλή ένωση Φ/Β κελιού από πυρίτιο, υπολογίζεται σε 30%, με τη χρήση τεχνικών παγίδευσης του φωτός, έτσι ώστε να αξιοποιείται ο μεγαλύτερος δυνατός αριθμός φωτονίων. Έχουν σχεδιαστεί στοιχεία πολλών ενώσεων ώστε σε κάθε ένωση να απορροφάται συγκεκριμένο τμήμα του προσπίπτοντος φάσματος. Η θεωρητική απόδοση αυτών των κελιών μπορεί να φθάσει το 66%, για πολύ μεγάλο αριθμό ενώσεων.

Πρακτικά, οι βαθμοί απόδοσης που έχουν επιτευχθεί είναι κατά πολύ χαμηλότεροι και συγκεκριμένα τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση, μετατρέποντας έως και το 17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση, μεταξύ 13% και 15% και είναι φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά, ενώ υπάρχουν και τα άμορφα που αποτελούνται από μια ενιαία επιφάνεια κι όχι από διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτά έχουν χαμηλότερη απόδοση, γύρω στο 5% - 10% και είναι τα οικονομικότερα. Χρειάζονται απλώς μεγαλύτερη επιφάνεια για να δώσουν την ίδια ισχύ με τα μονοκρυσταλλικά ή τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά.

Το στοιχείο που χρησιμοποιείται στην κατασκευή φ/β στοιχείων ευρείας κατανάλωσης είναι το πυρίτιο σε όλες τις μορφές του: κρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό και άμορφο.

Γενικά ακολουθούνται τέσσερα στάδια κατά την κατασκευή Φ/Β στοιχείων πυριτίου και πλαισίων.

-  Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή των κρυστάλλων άμορφου πυριτίου.
-  Ακολουθεί η αποκοπή ή ο σχηματισμός λεπτών στρωμάτων από τα υλικά αυτά και η εισαγωγή σε αυτά μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων (προσμείξεις) για να σχηματιστεί το η-πυρίτιο ή ρ-πυρίτιο.
-  Μετά ακολουθεί η συγκόλληση μεταλλικών ηλεκτροδίων στις δύο επιφάνειες των στρωμάτων και η επικάλυψή τους με κατάλληλο υλικό που εμποδίζει την ανάκλαση του φωτός.
-  Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή πλαισίου Φ/Β στοιχείων με σκοπό την προστασία τους από τις φυσικές και χημικές μεταβολές που γίνονται συνεχώς στην ατμόσφαιρα.

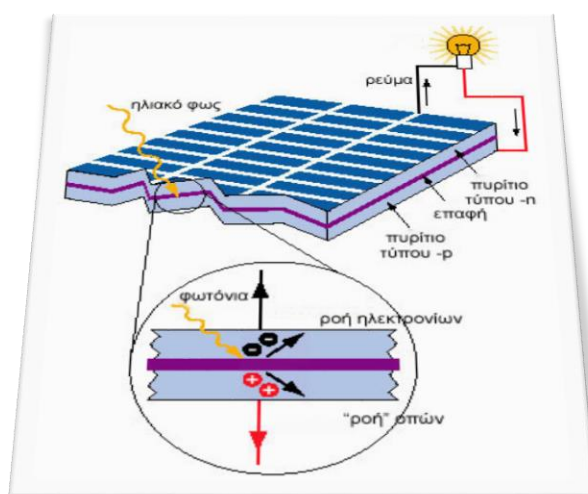
Για την παρασκευή, γενικά, του πυριτίου χρησιμοποιούνται πυριτική άμμος, περιεκτικότητας 99,5% σε διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) και άνθρακας (C), που αναμειγνύονται μεταξύ τους και θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα είναι η πρόκληση αναγωγής από τον άνθρακα στο διοξείδιο του πυριτίου και στη συνέχεια η λήψη μετά από σχετικό καθαρισμό, του πυριτίου σε λιωμένη κατάσταση.

Για να σχηματισθεί μεγάλη ποσότητα στερεού κρυσταλλικού πυριτίου, ένα πολύ μικρό κομμάτι κρυσταλλικού πυριτίου τοποθετείται σε επαφή με την επιφάνεια του λιωμένου πυριτίου που βρίσκεται σε κατάλληλο περιστρεφόμενο δοχείο. Το κομμάτι πυριτίου δρα σαν πυρήνας κρυστάλλωσης και έτσι το πυρίτιο επικάθεται σε αυτό, με αποτέλεσμα να μεγαλώσει και να σχηματισθεί σταδιακά ένας νέος μεγάλος κρύσταλλος πυριτίου με τη συνεχή ανύψωση από το λιωμένο πυρίτιο. Το τελικό σχήμα και μέγεθος του κρυσταλλικού πυριτίου που λαμβάνεται, είναι κυλινδρικό, διαμέτρου 7,5 cm. μέχρι 12 cm και μήκους 1 m περίπου.

Για να κατασκευαστούν τα φ/β στοιχεία, αποκόπτονται από τον κύλινδρο κυκλικές φέτες πάχους 0,25 mm δηλαδή όσο το πάχος ενός συνηθισμένου ξυραφιού, όμως η μέθοδος αυτή είναι πολύ δαπανηρή.

Για να μετατραπεί η φέτα αυτή σε μια p-η κρυσταλλοδίοδο που αποτελεί το βασικό μέρος του Φ/Β στοιχείου πρέπει να εισαχθούν σε αυτή τα σχετικά στοιχεία (Βόριο και Φωσφόρος) σε κατάλληλη αναλογία. Το βόριο ρίχνεται από την αρχή στο λιωμένο πυρίτιο, ώστε ο κρύσταλλος που θα σχηματιστεί να έχει την αναλογία του βαρίου που χρειάζεται για να είναι p-πυρίτιο.

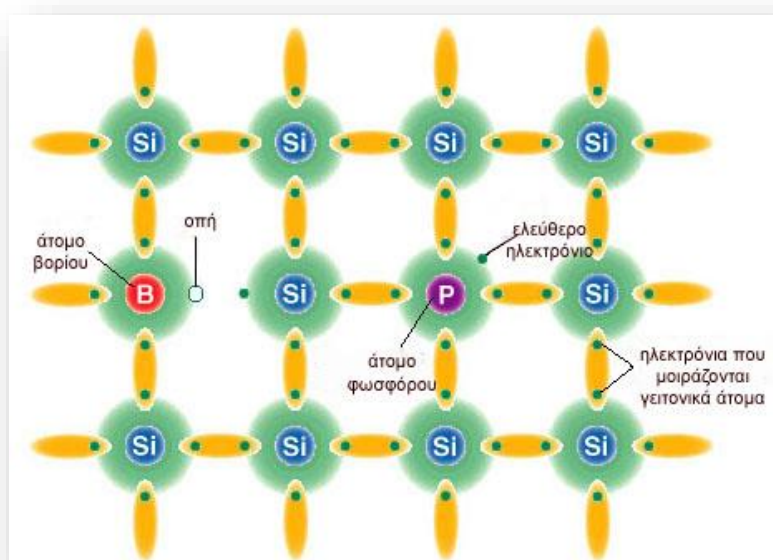
Για να μετατραπεί η περιοχή κάτω από τη μια επιφάνεια της φέτας σε n- πυρίτιο, ο φωσφόρος διαβιβάζεται με τη βοήθεια ενός αερίου πάνω από την επιφάνεια που θερμαίνεται οπότε άτομα φωσφόρου διαχέονται μέσα στο p-πυρίτιο μέχρι βάθος μερικών δεκάτων του μικρού ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$ ). Για να εισχωρήσουν σε μεγαλύτερο βάθος, ο ημιαγωγός θερμαίνεται περισσότερο, με αποτέλεσμα να διεισδύσουν σε βάθος 1  $\mu\text{m}$ . Φυσικά εισάγονται τόσα άτομα φωσφόρου, ώστε τα ηλεκτρόνια που θα δώσουν, να καλύψουν όλες τις οπές που έχουν δημιουργήσει τα άτομα βαρίου και επιπλέον να δώσουν τον κατάλληλο αριθμό ηλεκτρονίων για να σχηματιστεί επιφανειακά το n-πυρίτιο. Έτσι το η-πυρίτιο βρίσκεται σε επαφή με το p-πυρίτιο. Στην επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο, εμφανίζεται ο φραγμός που εμποδίζει τη δίοδο φωτοηλεκτρονίων από το n-πυρίτιο στο p-πυρίτιο.



Σχήμα 1.4 Φυσική απεικόνιση φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου

Η κατασκευή του φωτοβολταϊκού στοιχείου συμπληρώνεται με τις μεταλλικές επαφές στις δύο επιφάνειες. Η p-επιφάνεια επικαλύπτεται πλήρως με μεταλλικό στρώμα που δρα σαν ηλεκτρόδιο και η η-επιφάνεια έρχεται σε επαφή με ηλεκτρόδιο σχήματος Π πλεγματικής μορφής ώστε το μεγαλύτερο μέρος της επιφανείας του η-πυριτίου να μένει ελεύθερο για να δέχεται το φως.

Μια άλλη μέθοδος παραγωγής Φ/Β κρυστάλλου είναι η **μέθοδος του Πολωνού Jan Czochralski**. Ένας γόνος κρυστάλλου τοποθετείται στη βάση κάθετου βραχίονα έτσι ώστε, μόλις που να βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια του τήγματος. Ο βραχίονας ανυψώνεται αργά και ο κρύσταλλος αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια μεταξύ του κρυστάλλου και του τήγματος. Ο κρύσταλλος περιστρέφεται αργά έτσι ώστε η ανομοιογένεια του υγρού να μην περάσει στον κρύσταλλο. Συσκευή ελεγχόμενη από υπολογιστή ελέγχει το ρυθμό ανάπτυξης ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή της επιθυμητής διαμέτρου. Γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας με ακρίβεια, καθώς ο κρύσταλλος αναπτύσσεται σε καθορισμένη και πολύ υψηλή θερμοκρασία. Το τήγμα παρουσιάζει την τάση να είναι ανομοιογενές καθώς τα δύο υγρά διαχωρίζονται λόγω βαρύτητας.



Σχήμα 1.4.1 Προσθήκη ατόμων φωσφόρου και βορίου σε κρύσταλλο πυριτίου

### 1.4.1 Laser grooved cells

Οι πιο αποδοτικές μονοκρυσταλλικές Φ/Β μονάδες που είναι εμπορικά διαθέσιμες, έχουν απόδοση της τάξης του 16% και χρησιμοποιούν την τεχνολογία 'laser-grooved buried-grid' που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Νέας Νότιας Ουαλίας στην Αυστραλία. Ανάμεσα στις καινοτομίες αυτών των κελιών, είναι η χρήση διάταξης σε σχήμα πυραμίδας, μέσα στη οποία βρίσκονται οι ηλεκτρικές επαφές, με στόχο την απορρόφηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσού φωτός, τη μείωση των ηλεκτρικών αντιστάσεων και των απωλειών λόγω σκιασμού.

### 1.4.2 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου

Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου κατασκευάζονται από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου σε ειδικούς κλιβάνους στους οποίους ψύχεται αργά τήγμα πυριτίου για τη δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων. Επειδή προκύπτουν απευθείας από



ορθογώνιες ράβδους, τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία είναι τετράγωνης μορφής και μεγαλύτερου μεγέθους από τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία. Έχουν χαμηλότερη απόδοση αλλά και κόστος από τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία.

### 1.4.3 Φ/Β Στοιχεία Λεπτής Μεμβράνης (thin films)

Χρησιμοποιούνται πολύ λεπτά στρώματα του ημιαγωγού με αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού κόστους. Αυτή τη στιγμή τα πιο γνωστά ηλιακά στοιχεία αυτού του είδους παράγονται από άμορφο πυρίτιο. Άμορφο σημαίνει ότι η συμμετρία του κρυστάλλου καταστρέφεται για αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικές ατομικές μονάδες. Τα στοιχεία λεπτής μεμβράνης έχουν χαμηλότερη απόδοση από τα στοιχεία καθαρού κρυστάλλου, αλλά αναμένεται ότι τα χαρακτηριστικά τους θα βελτιωθούν.

Λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου τοποθετείται σε φύλλο γυαλιού, το οποίο έχει καλυφθεί από διάφανο οξειδίο του κασσίτερου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός και στη συνέχεια η όλη διάταξη κόβεται με laser για την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικά συνδεδεμένων αλλά ξεχωριστών στοιχείων και στο τέλος γίνεται η ενσωμάτωση τους σε μια Φ/Β μονάδα.

Με τη δεύτερη μέθοδο, λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου τοποθετείται σε μεταλλικό υπόστρωμα και επεξεργάζεται πριν καλυφθεί από λεπτό στρώμα διάφανου αγωγού. Το υλικό κόβεται και παράγεται μια σειρά ηλεκτρικά συνδεδεμένων αλλά ξεχωριστών Φ/Β στοιχείων. Τα τελευταία ενσωματώνονται σε μια Φ/Β μονάδα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολύ λεπτής μεμβράνης από χαλκό-ίνδιο-γάλλιο-diselenide, που έχουν μεγαλύτερη απόδοση (8-13%) από αυτή του άμορφου πυριτίου.

### 1.4.4 Φ/Β spherical solar

Είναι σχετικά νέα τεχνολογία, το πρωτοποριακό προϊόν spherical solar. Αντίθετα με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά κύτταρα, το νέο υλικό δεν επικάθεται σε άκαμπτη βάση πυριτίου, αλλά είναι φτιαγμένο από χιλιάδες πάμφθινα σφαιρίδια πυριτίου (κατασκευάζονται από υπολείμματα πυριτίου που προκύπτουν από τη βιομηχανία των chips των ηλεκτρονικών υπολογιστών), εγκλωβισμένα ανάμεσα σε δύο φύλλα αλουμινίου.

Κάθε σφαιρίδιο λειτουργεί ως ανεξάρτητο μικροσκοπικό φωτοβολταϊκό κύτταρο, απορροφώντας την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντάς την σε ηλεκτρισμό. Τα φύλλα αλουμινίου προσδίδουν στο υλικό τη φυσική αντοχή που χρειάζεται, του επιτρέπουν να είναι εύκαμπτο αλλά και ελαφρύ, ενώ ταυτόχρονα παίζουν το ρόλο ηλεκτρικής επαφής. Η γεμάτη φυσαλίδες επιφάνεια που δημιουργούν τα σφαιρίδια επιτρέπει πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση ηλιακού φωτός, χαρίζοντας στο υλικό αποδοτικότητα της τάξης του 11%. Οι εφευρέτες του, υποστηρίζουν ότι μπορεί να καλύψει οποιουδήποτε σχήματος επιφάνειες, αυξάνοντας κατά πολύ τους χώρους όπου μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και δίνοντας στους αρχιτέκτονες τη δυνατότητα να σχεδιάσουν κτίρια με καμπύλες που θα μπορούν να είναι εξοπλισμένα με φωτοβολταϊκά, χωρίς μάλιστα να απαιτούνται ενισχυμένες κατασκευές για τη στήριξή τους.



Εικόνα 1.4.2 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα σε στέγη

Επίσης, στην Ιαπωνία ανακοινώθηκε μια νέα σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων διαμέτρου 1mm που μπορούν να συνδυαστούν για την κατασκευή σφαιρικών ή καμπυλόγραμμων συστοιχιών.

Η καινοτομία που παρουσιάζεται σε αυτά τα στοιχεία, είναι πως χρησιμοποιούν σημαντικά λιγότερη ποσότητα ημιαγωγών silicon σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά στοιχεία, έχοντας ανάλογη απόδοση, όπως επίσης και η δυνατότητα της προσαρμογής τέτοιων στοιχείων σε κάθε δυνατό συνδυασμό επιφανείας, ξεφεύγοντας από το τετριμμένο παραλληλόγραμμο σχήμα ενός κοινού panel.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες ανακαλύψεις. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

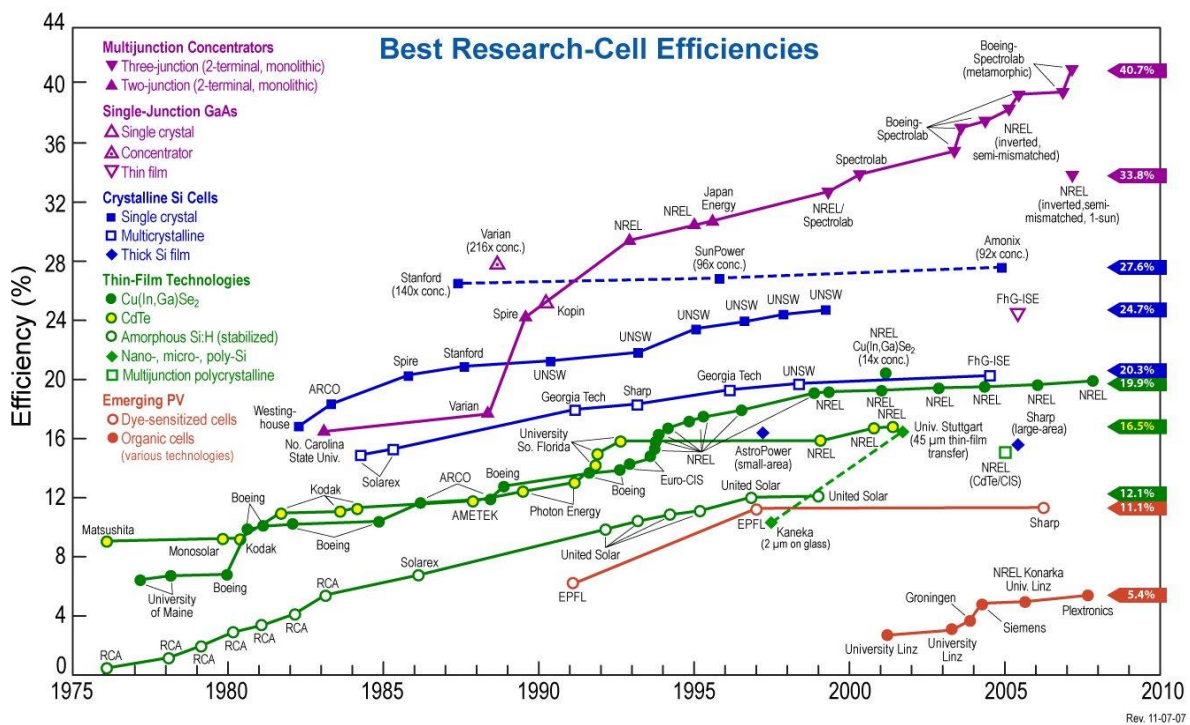
- ❖ Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
  
- ❖ Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές της Μίκρο- και Νάνο- τεχνολογίας στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών, με σκοπό τόσο την αύξηση της απόδοσής τους όσο και τη μείωση του κόστους τους. Η επόμενη γενιά φωτοβολταϊκών, βασίζεται στη χρήση πολυστρωματικών υμενίων με κατάλληλες ιδιότητες και μικρομορφολογία, ενώ στην



3<sup>η</sup> γενιά υπάρχει σημαντική αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών όπου δοκιμάστηκαν ιδέες για τη χρήση υμενίων με ενσωματωμένες κβαντικές τελείες (νανοδομές ημιαγωγικών υλικών) πυριτίου, γερμανίου ή κασσίτερου. Για την κατασκευή και παραγωγή αυτών των σύνθετων υμενίων χρησιμοποιούνται, όπως αναφέραμε, τεχνικές της Μίκρο- και Νάνο- τεχνολογίας.

Στη χώρα μας πραγματοποιούνται ήδη εργαστηριακές έρευνες για την εξέλιξη των ανόργανων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε οργανικά κελιά, με τη χρήση καινοτόμων νάνο-υλικών όπως νάνο-σωλήνες. Έτσι λοιπόν φτάσαμε στην 4<sup>η</sup> γενιά οργανικών φωτοβολταϊκών συστημάτων (εύκαμπτα, με μικρό βάρος και με δυνατότητα λειτουργίας του σε χαμηλό φωτισμό), τα οποία δημιουργούν ένα μεγάλο εύρος από νέες εμπορικές εφαρμογές. Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής με εμπορικό προσανατολισμό είναι και η ενσωμάτωση των νέων εύκαμπτων φωτοβολταϊκών στα εμπορικά αυτοκίνητα της FIAT, που εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία (Ευρωπαϊκό Προγράμμα Smartronics).



Γράφημα 1.4.3 Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

## 1.5 Βασικοί τρόποι σύνδεσης Φ/Β

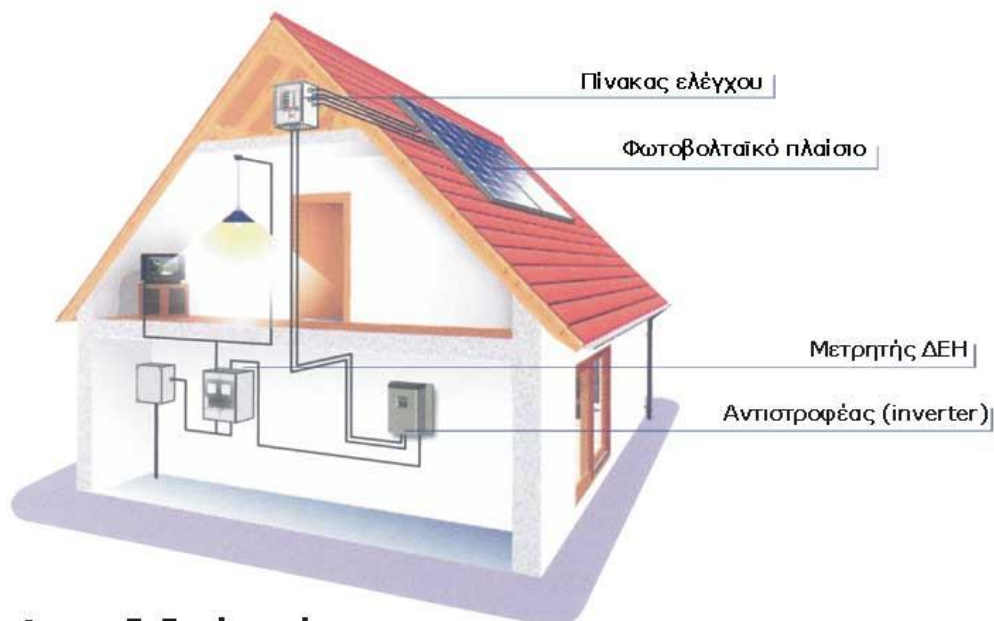
Οι δύο βασικές κατηγορίες τους είναι τα:

- ✓ Συνδεδεμένα στο δίκτυο ρεύματος της ΔΕΗ (grid connected systems)

Αυτά τα συστήματα συνδέονται με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ηλεκτρισμός που παράγεται από ένα Φ/Β σύστημα μπορεί ή να χρησιμοποιηθεί άμεσα (κάτι που είναι σύνηθες για συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια γραφείων και άλλων εμπορικών χρήσεων) ή να πωληθεί στη ΔΕΗ (κάτι που είναι σύνηθες για οικιακά συστήματα που ο ιδιοκτήτης μπορεί να λείπει κατά τη διάρκεια της ημέρας). Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία, τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι, στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο.

Επίσης, στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων, δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης. Στην πράξη δηλαδή, η ΔΕΗ λειτουργεί σαν μια αποθήκη ενέργειας, γι' αυτό τα συστήματα αυτά δεν χρειάζονται μπαταρίες για αποθήκευση.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι στην αντιμετώπιση, από την ηλεκτρική εταιρεία, ενός διασυνδεδεμένου συστήματος Φ/Β. Για παράδειγμα, στη Γερμανία, όλη η ενέργεια που παράγεται, πωλείται στην ηλεκτρική εταιρεία και ο καταναλωτής αγοράζει για τις ανάγκες του. Αντίθετα, στην Αυστρία, η ενέργεια που παράγεται, πρώτα καλύπτει τις ανάγκες του παραγωγού και το περίσσειμα δίνεται (πωλείται) στο ηλεκτρικό δίκτυο.



**Εικόνα 1.5 Διασυνδεδεμένο σύστημα**  
(ανταλλάσσει ενέργεια με το δίκτυο της ΔΕΗ)

Και τα

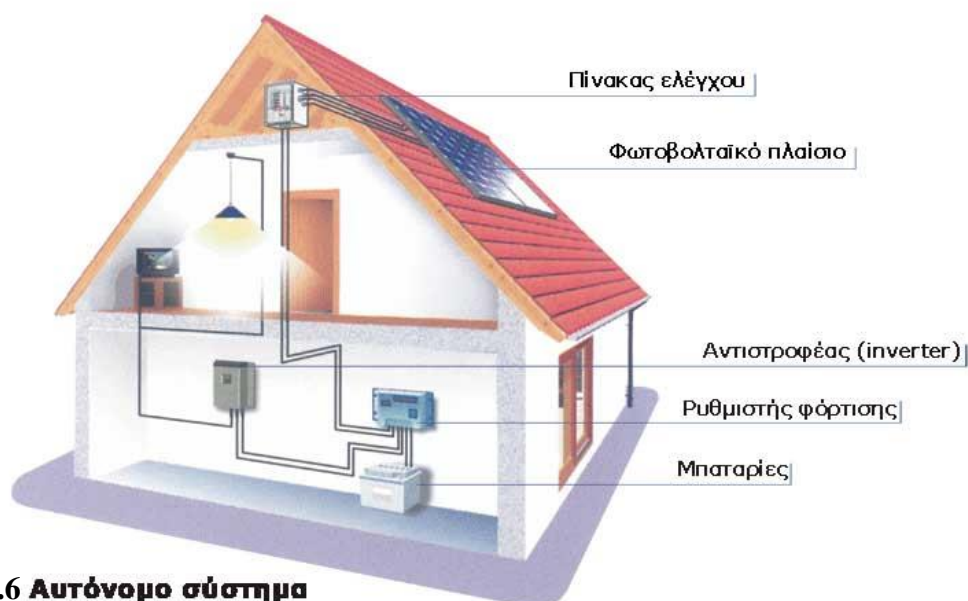
- ✓ Αυτοδύναμα ή Αυτόνομα Φ/Β συστήματα (off-grid systems/inselanlagen)

Τα ανεξάρτητα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν ανεξάρτητα από το δίκτυο παροχής ρεύματος της ΔΕΗ και είναι γενικά κατασκευασμένα ώστε να τροφοδοτούν φορτία συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτοί οι τύποι συστημάτων μπορεί να τροφοδοτούνται μόνο από μια συστοιχία φωτοβολταϊκών ή μπορεί να χρησιμοποιούν τον άνεμο ή ηλεκτρογεννήτριες σαν βοηθητική πηγή ενέργειας, οπότε και ονομάζονται Υβριδικά Φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ο πιο απλός τύπος ανεξάρτητου συστήματος, είναι τα συστήματα άμεσης ζεύξης, όπου το συνεχές ρεύμα της εξόδου του φωτοβολταϊκού οδηγείται απευθείας σε ένα φορτίο συνεχούς ρεύματος. Επειδή δεν υπάρχει αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα αυτά, το φορτίο λειτουργεί μόνο κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, κάνοντας το σύστημα αυτό ιδανικό για εφαρμογές, όπως ανεμιστήρες εξαερισμού, αντλίες νερού, και μικρούς κυκλοφορητές για ηλιακούς θερμοσίφωνες. Το ακριβές ταίριασμα της ωμικής αντίστασης του ηλεκτρικού φορτίου με τη μέγιστη ισχύ εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, είναι ένα κρίσιμο βήμα στο σχεδιασμό συστημάτων άμεσης ζεύξης με ικανοποιητική απόδοση.

Σήμερα, υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραιές τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα, τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα.

Βέβαια, υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος, θα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει τη συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση.



**Εικόνα 1.6 Αυτόνομο σύστημα**

Ό,τι σύστημα και να επιλέξουμε, θα συνοδεύεται από κάποιο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας. Στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων, το "σύστημα αποθήκευσης" είναι το δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ τα αυτόνομα συστήματα συνοδεύονται από μπαταρίες.

### 1.5.1 Στοιχεία σύνθεσης φωτοβολταϊκού συστήματος :

- ◆ Τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Όταν είναι συνδεδεμένα σε σειρά, αυξάνεται η αποδιδόμενη τάση (Τάση(V) (ενός πάνελ)  $\times$  διαθέσιμα πάνελ σε σύνδεση σε σειρά = αποδιδόμενη τάση(V)), ενώ όταν είναι συνδεδεμένα παράλληλα, αυξάνεται η αποδιδόμενη ένταση (Ένταση(A) (ενός πάνελ)  $\times$  διαθέσιμα πάνελ σε σύνδεση σε σειρά = αποδιδόμενη ένταση(A)). Για παράδειγμα, αν έχουμε 5 φωτοβολταϊκά πάνελ ισχύος 120Wp το καθένα, συνδεδεμένα σε σειρά, θα έχουν συνολική τάση περίπου 120V και ένταση 5A. Συνδεδεμένα παράλληλα, θα έχουν συνολική τάση περίπου 24V και ένταση 25A.
- ◆ Το ρυθμιστή φόρτισης. Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που ελέγχει τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του Φ/Β συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Επίσης, φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστωθεί μείωση της τάσης κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης και προστατεύει την μπαταρία από τυχόν πλήρη αποφόρτιση που θα οδήγούσε στην καταστροφή της.
- ◆ Συσσωρευτές. Η μπαταρία είναι μια συσκευή η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και την αποδιδόμενι με τη μορφή ηλεκτρισμού. Οι μπαταρίες είναι χρήσιμες στις περισσότερες περιπτώσεις αλλά απαιτούν μία περιοδική συντήρηση. Μοιάζουν με τις μπαταρίες των αυτοκινήτων, αλλά είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μας δίνουν περισσότερο από το αποθηκευμένο ρεύμα τους κάθε ημέρα. Η ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορούμε να απαιτήσουμε από αυτές μετά την δύση του ήλιου ή σε συννεφιασμένο καιρό, καθορίζεται από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών στοιχείων και το είδος/ποσότητα των μπαταριών.
- ◆ Τον inverter . Ο inverter είναι μια συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα 220V. Έτσι, μπορούμε να τροφοδοτήσουμε από την μπαταρία του φωτοβολταϊκού συστήματος, όλες τις συσκευές που απαιτούν 220 Volt. Αυτό που έχει σημασία είναι ότι η ισχύς όλων των συσκευών που θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, να μην ξεπερνά την επιτρεπόμενη ισχύ του inverter τάσης. Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας, θα κλείσει αν κατά λάθος ξεπεράσουμε τα διαθέσιμα Watt που μπορεί να αντέξει -προστατεύοντας έτσι τις ηλεκτρικές συσκευές μας- καθώς και αν τείνει να αδειάσει η μπαταρία.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

### 2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η αιολική ενέργεια, είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Ο άνθρωπος κατάλαβε πολύ νωρίς την χρησιμότητα της αιολικής ενέργειας και βρήκε διάφορους τρόπους για να την εκμεταλλευτεί από πολύ νωρίς. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Χρησιμοποιήθηκε επίσης στους ανεμόμυλους κυρίως για το άλεσμα των δημητριακών και για άντληση νερού.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και στον χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν. Στην Ελλάδα οι ανεμόμυλοι άντλησης νερού χρησιμοποιούνταν κυρίως στην Ανατολική Κρήτη. Οι ιστορικές και αρχαιολογικές αναφορές υποστηρίζουν ότι οι αιολικές μηχανές (ανεμόμυλοι) χρησιμοποιήθηκαν από τους αρχαίους λαούς όπως : τους Κινέζους, τους Πέρσες, και τους Αιγυπτίους. Το κύριο υλικό κατασκευής τους ήταν το ξύλο, τα πανιά καθώς και οι λιθόκτιστες κατασκευές. Στην Αίγυπτο διατηρούνται οι πέτρινες βάσεις ανεμόμυλων με ηλικία μεγαλύτερη των τριών χιλιάδων ετών ενώ ιστορικές μαρτυρίες μας πληροφορούν ότι ήδη από τον 17ο αιώνα πχ στην Βαβυλωνία είχαν δημιουργήσει σχέδιο προκειμένου να αρδεύσουν την πεδιάδα της Μεσοποταμίας με την βοήθεια της αιολικής ενέργειας.

Αρχαιολογικές ανασκαφές που έγιναν στις αρχές του 20ου αιώνα στο Αφγανιστάν έφεραν στο φως πλήθος από ανεμόμυλους κάθετου άξονα στο Σίστρα και στην περιοχή της Βακτρίας, η οποία αποικίσθηκε κυρίως από Έλληνες της Στρατιάς του Μεγάλου Αλεξάνδρου. Αργότερα τον 3ο αιώνα πχ ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς, σχεδίασε τον πρώτο κατά πάσα πιθανότητα ανεμόμυλο οριζόντιου άξονα με τέσσερα πτερύγια.

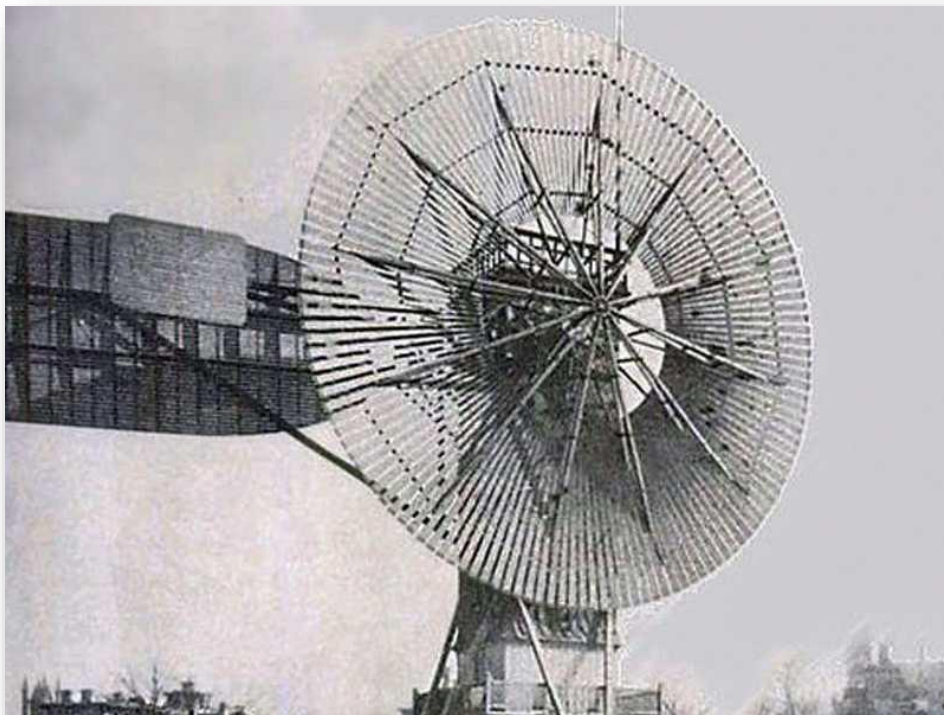
Η χρήση των ανεμόμυλων για την άλεση των δημητριακών και την άρδευση συνεχίσθηκε στις χώρες της Ανατολής, στην Μικρά Ασία και στο Αιγαίο και κατά την Βυζαντινή εποχή. Στην Ευρώπη υπολογίζεται ότι οι ανεμόμυλοι εμφανίσθηκαν περίπου το 1200μ.Χ και μεταφέρθηκαν από τους σταυροφόρους κατά την επιστροφή τους. Κατά την εποχή του μεσαίωνα οι ανεμόμυλοι εμφανίζονται στην Ολλανδία, στην Ισπανία, στην Πορτογαλία, στη Γαλλία και στην Ιταλία. Στην Ολλανδία γύρω στο 1500μΧ οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση των νερών από περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλότερη στάθμη από αυτή της θάλασσας.

Ο τύπος του ανεμόμυλου που χρησιμοποιήθηκε στην Ευρώπη την εποχή του Μεσαίωνα ήταν κυρίως οριζόντιου άξονα με τέσσερα πτερύγια (περιστρεφόμενου κλωβού, περιστρεφόμενης οροφής). Οι κυρίες χρήσεις του ήταν το άλεσμα των



σιτηρών, το κόψιμο του καπνού, του ξύλου και άλλων γεωργικών προϊόντων καθώς και η άντληση νερού για άρδευση ή αποξήρανση. Ένας άλλος τύπος ανεμόμυλου ο οποίος εξαπλώθηκε ιδιαίτερα κατά την εποχή της Αναγέννησης ήταν ο αργός πολύπτερος ανεμόμυλος ο οποίος χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για την άντληση νερού και ονομάζεται «Αμερικάνικος ανεμόμυλος».

Η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.



Εικόνα 2.1 Η πρώτη ανεμογεννήτρια που κατασκευάστηκε το 1887

Πολλές χώρες καταβάλουν προσπάθειες αρκετά χρονιά να καταφέρουν να εκμεταλλευτούν την αιολική ενέργεια. Η Δανία έχει παράδοση 50 χρόνων στο τομέα αυτό και μελετά την παραπέρα ανάπτυξη των προγραμμάτων της. Οι Δανοί είναι οι πρώτοι που παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο ενώ και στην Αμερική χρησιμοποιούνται ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής για ηλεκτροδότηση. Το 1891 λειτούργησε στη Δανία πειραματικός ανεμοκινητήρας με δυο ηλεκτρικές γεννήτριες 2x9kW και διάμετρο 22,8m κάτω από την επίβλεψη του καθηγητή P.La Cour. Το 1930 κατασκευάστηκε στη Βαλτική μηχανή 100kW από τους Sabanin και Yuriev. Το 1940 κατασκευάστηκε στο Βέρμοντ των Η.Π.Α ένας πειραματικός ανεμόμυλος δυο πτερυγίων (ανεμογεννήτρια) σημαντικής ισχύος.

Στην Γαλλία έχουν εγκατασταθεί σε πρώτη φάση και λειτουργούν 200 μικροί ανεμοκινητήρες για την εξυπηρέτηση των φωτοσημάνσεων στην ναυτιλία. Στην Η.Π.Α για πρώτη φορά λειτούργησε ανεμογεννήτρια 1,25 MW στην διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου στην πολιτεία Βέρμοντ. Την περίοδο 1870 έως 1930 στο Σικάγο, το κέντρο της βιομηχανικής παραγωγής ανεμόμυλων σύμφωνα με εκτιμήσεις είχε παραγωγή έξι εκατομμυρίων (6.000.000) μονάδων.

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και την τεχνολογική πρόοδο χρησιμοποιήθηκαν άλλες μορφές ενέργειας όπως η ατομική ενέργεια και η θερμική ενέργεια (μηχανή εσωτερικής καύσης) ενώ οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου περιόρισαν το ενδιαφέρον για την αιολική ενέργεια. Η ρύπανση όμως και τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς και οι ενεργειακές κρίσεις μας υποχρέωσαν να στρέψουμε ξανά το ενδιαφέρον μας στην αιολική ενέργεια και την κατάστρωση προγραμμάτων για την αξιοποίηση της.

## 2.2 Εφαρμογές της αιολικής ενέργειας

Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Βέβαια εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν και άλλες εφαρμογές αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού, οι οποίες περιλαμβάνουν την παραγωγή θερμότητας και την άντληση. Η πιο σημαντική χρήση των αιολικών μηχανών είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε με αυτόνομη χρήση (με τη βοήθεια συσσωρευτών), είτε σε σύνδεση με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Για αιολική ηλεκτροπαραγωγή ο άνεμο κινητήρας συνδέεται με μία ηλεκτρογεννήτρια, σύγχρονη ή ασύγχρονη ή ακόμα και συνεχούς ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται τροφοδοτεί καταναλώσεις συνεχούς ρεύματος, όπως ραδιόφωνα, τηλεοράσεις, υπολογιστές, κτλ.

Οι περισσότερες, όμως, ανεμογεννήτριες είναι εναλλασσόμενου ρεύματος, είτε σύγχρονες είτε ασύγχρονες, και είναι συνδεδεμένες κατά κύριο λόγο με το ηλεκτρικό δίκτυο. Οι ασύγχρονες γεννήτριες είναι οικονομικές, δεν εμφανίζουν σημαντικά προβλήματα διασύνδεσης με το τοπικό δίκτυο, αλλά δεν μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα, διότι απαιτούν εξωτερική διέγερση, την οποία παίρνουν από το δίκτυο. Αντίθετα, οι σύγχρονες γεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα, αλλά εμφανίζουν προβλήματα συνεργασίας με το ηλεκτρικό δίκτυο, λόγω της σχετικής τους ακαμψίας.



Εικόνα 2.2 Φωτοβολταϊκό πάρκο



Η κλιμάκωση της παραγωγής από Α/Γ, που ισχύει σήμερα είναι:

- άνεμο κινητήρες μικρής ισχύος έως 50 KW
- άνεμο κινητήρες μέσης ισχύος 50 KW - 1 MW
- άνεμο κινητήρες μεγάλης ισχύος >1 MW

Οι αιολικές μηχανές μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται κυρίως σε απομονωμένες περιοχές για κάλυψη αγροτικών ή κτηνοτροφικών αναγκών και συγκεκριμένα για άντληση και θέρμανση νερού, θέρμανση κατοικίας, φωτισμό και άλλες μικροεφαρμογές. Δεν είναι συνδεδεμένες σε δίκτυο και χρησιμοποιούν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που φορτίζει συσσωρευτές.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμοκινητήρες μέσης και μεγάλης ισχύος μπορεί να γίνεται σε συνεργασία με δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις :

- i. Λειτουργία αιολικής μηχανής για εξοικονόμηση καυσίμου.  
Αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη νησιωτική Ελλάδα όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι και το κόστος της παραγόμενης KWh είναι ιδιαίτερα υψηλό εξαιτίας του αυξημένου κόστους του kg του καυσίμου λόγω της θαλάσσιας μεταφοράς του και του μικρού μεγέθους του σταθμού.
- ii. Λειτουργία αιολικής μηχανής ως σταθμού βάσης, θεωρώντας ότι η εγκατεστημένη ισχύς diesel μειώνεται.
- iii. λειτουργία αιολικής μηχανής ως αντλητικού σταθμού για αποθήκευση νερού και χρησιμοποίησή του στην υδροηλεκτρική εκμετάλλευση.

Μία τυπική εφαρμογή αιολικής ενέργειας είναι η χρήση ανεμοκινητήρων για την άρδευση του οροπέδιου του Λασιθίου της Κρήτης. Όπως επίσης το σύστημα άντλησης με ανεμόμυλους που σχεδιάστηκε στον Καναδά με σκοπό άντληση νερού και κατόπιν με μεγάλη πίεση εκτόξευσή του ως τεχνητή βροχή για πότισμα. Ακόμα στις εφαρμογές άντλησης νερού μπορούν να αναφερθούν και σύγχρονα συστήματα αφαλάτωσης στα οποία ο ανεμοκινητήρας μέσω αντλιών προωθεί το θαλασσινό νερό διαμέσου μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης και παράγει πόσιμο νερό π.χ. Μήλος.

Όσο αφορά στην μηχανική κίνηση που παράγεται από την ενέργεια του ανέμου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας στην παραγωγή θερμότητας είτε με την τριβή μεταξύ στερεών είτε με την κατάθλιψη υγρών. Η θερμότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων, στη βιομηχανία, στην αποξήρανση γεωργικών προϊόντων κτλ.

## 2.3 Σύστημα αποθήκευσης αιολικής ενέργειας

Το βασικό μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η ασυνέχεια της παραγωγής της και η αδυναμία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά βούληση με σκοπό την κάλυψη της στιγμιαίας ζήτησης. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές μας ανάγκες σε περιόδους άπνοιας ή σε μια προσπάθεια καλύτερης προσαρμογής της ενεργειακής ζήτησης και προσφοράς. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε τα συστήματα αποθήκευσης γεγονός που αυξάνει το κόστος εγκατάστασης ενώ προστίθενται επιπλέον απώλειες κατά την μετατροπή.

Το συστήματα αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας είναι οι συστοιχίες συσσωρευτών. Αποτελούν την πιο κατάλληλη μέθοδο αποθήκευσης μικρών ποσοτήτων ενέργειας. Το μέγεθος τους και η συνδεσμολογία τους εξαρτάται από την απαιτούμενη επάρκεια ενέργειας και το είδος των καταναλώσεων. Το κόστος των συσσωρευτών είναι αρκετά μεγάλο ιδιαίτερα για συσσωρευτές μεγάλου επιτρεπόμενου αριθμού φορτίσεων - αποφορτίσεων, και απαιτείται προσεκτική συντήρηση της εγκατάστασης. Σε καταναλώσεις εναλλασσόμενου ρεύματος είναι απαραίτητη η ύπαρξη ανορθωτών, μετασχηματιστών και σταθεροποιητών τάσεων και συχνότητας.



Εικόνα 2.3 Αιολικό πάρκο με σύστημα αποθήκευσης ενέργειας

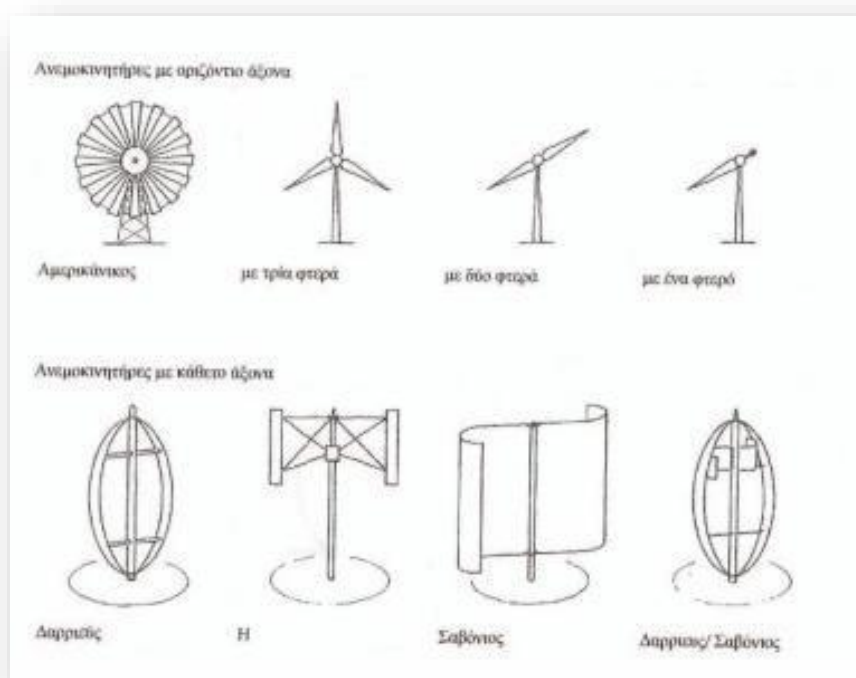
## 2.4 Κατάταξη αιολικών μηχανών και όριο Betz

Οι αιολικές μηχανές είναι ανθρώπινες επινοήσεις που έχουν σαν σκοπό την αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Μέχρι σήμερα έχει δοκιμαστεί πλήθος ανεμογεννητριών, χωρίς όμως να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός της εκμετάλλευσης του ανέμου. Οι μηχανές κατατάσσονται σε μηχανές *οριζόντιου* και *κατακόρυφου* άξονα, σε αργόστροφες και ταχύστροφες, σε πολυπτέρυγες και ολιγοπτέρυγες, σε μικρές - μεσαίες- μεγάλες.

Συνήθως τις Αιολικές μηχανές τις ξεχωρίζουμε μεταξύ τους από τον αριθμό των πτερυγίων της πτερωτής τους, από το αν έχουν οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα περιστροφής και φυσικά από την απόδοσή τους, η οποία εκφράζεται από τον συντελεστή ισχύος  $C_p$  που είναι ο λόγος της μηχανικής ισχύος  $P_g$  της Αιολικής μηχανής προς την διαθέσιμη ισχύ του ανέμου που διαπερνά κάθετα την επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής της αιολικής μηχανής:

Συντελεστής ισχύος :  $C_p = 2P_g / \rho A v^3$

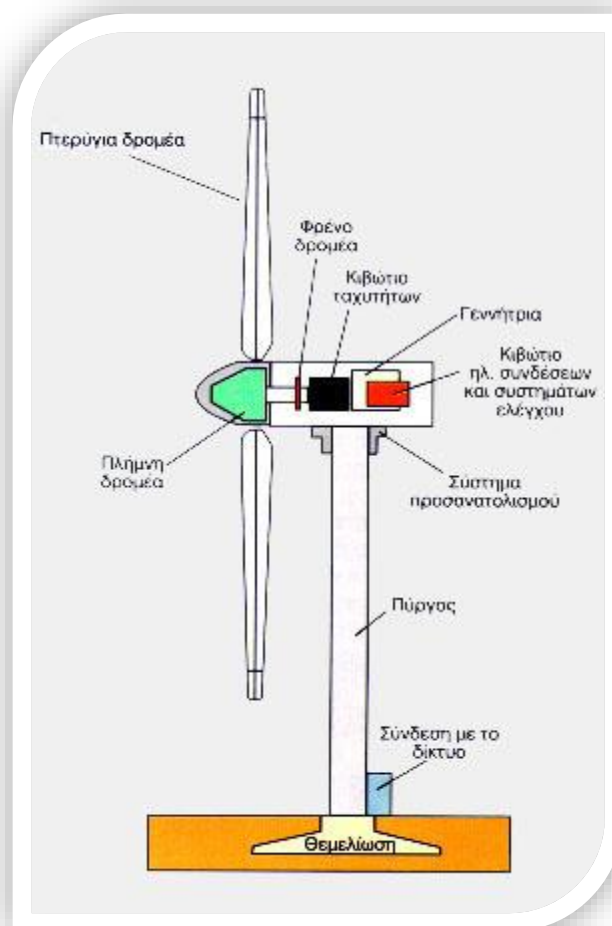
Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ικανότητα εξαγωγής έργου μιας αιολικής μηχανής και είναι πάντοτε μικρότερος από το όριο του Betz. Συγκεκριμένα ο Betz απέδειξε ότι η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παράγει μια ανεμογεννήτρια ισούται το πολύ με τα  $(16/27)$  της διαθέσιμης αιολικής ισχύος . Η τιμή του  $C_p$  είναι πάντοτε μικρότερη από το όριο του Betz ( $C_p = 0.59$ ) γεγονός που οφείλεται στον σχηματισμό στροβίλων και τη δημιουργία μηχανικών τριβών κατά την περιστροφή της πτερωτής .



Σχήμα 2.4 Μοντέλα ανεμογεννητριών

Οι μηχανές οριζοντίου άξονα αποτελούνται κατά κύριο λόγο από:

- Την πτερωτή
- Τον άξονα κίνησης
- Το κιβώτιο μετάδοσης
- Τα συστήματα πέδησης
- Το σύστημα προσανεμισμού
- Την ηλεκτρική γεννήτρια
- Τον πύργο στήριξης



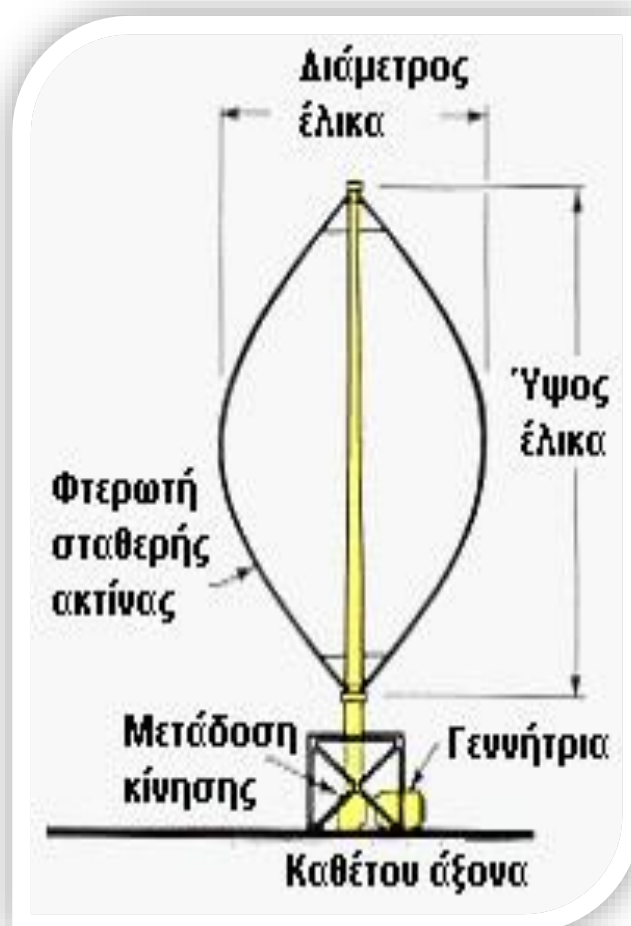
Σχήμα 2.4.1 Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα αποτελούν τους πλέον ανταγωνιστικούς ανεμοκινητήρες και είναι εφοδιασμένες με:

- Αυτόματο προσανατολισμό στη διεύθυνση του ανέμου
- Σύστημα μετάδοσης της κίνησης στο έδαφος

Οι μηχανές του κατακόρυφου άξονα έχουν μικρότερο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης και προβλήματα κατά την εκκίνηση τους.

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα περιστροφής έχουν, συνήθως, χαμηλότερη απόδοση σχετικά με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, γι' αυτό δεν είναι και ιδιαίτερα διαδεδομένες. Ωστόσο, παρουσιάζουν μεγαλύτερο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον, ενώ είναι πιθανό να είναι πιο αποτελεσματικές στο αστικό περιβάλλον, καθώς έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται τους ανέμους διαφορετικών κατευθύνσεων.



Σχήμα 2.4.1 Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα

## 2.5 Απόδοση αιολικών μηχανών

Στην πραγματικότητα ο συντελεστής απόδοσης μιας αιολικής μηχανής είναι κατά πολύ μικρότερος από το όριο του Betz. Ο συντελεστής αυτός μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο της αιολικής μηχανής και το λόγο ταχύτητας του ακροπτερυγίου

$$\lambda = \omega R / V$$

όπου :  $V$  είναι η ταχύτητα του ανέμου (m/s)

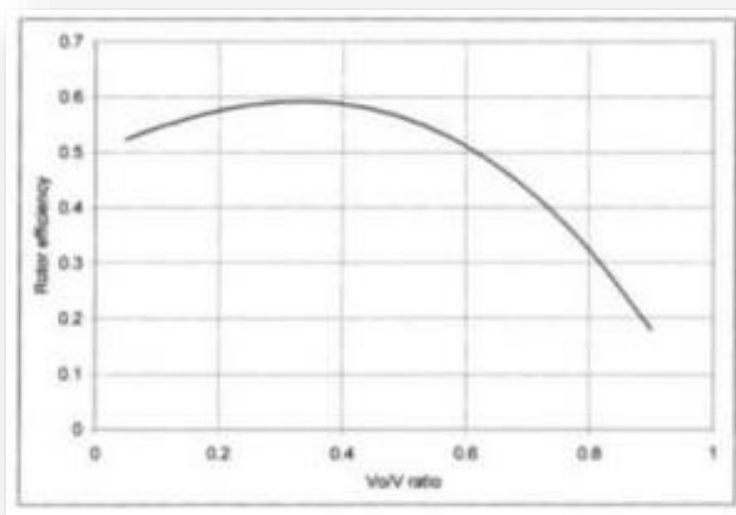
$R$  είναι η ακτίνα της φτερωτής (m)  $\omega$  είναι η γωνιακή ταχύτητα της φτερωτής (rad/s)

Η πραγματική ισχύς που παίρνουμε τελικά από μία αιολική μηχανή εξαρτάται και από την απόδοση του καθενός από τα υποσυστήματα που απαρτίζουν την αιολική μηχανή . Στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μία αιολική μηχανή ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ενέργειας , η ισχύς  $P_m$  που παίρνουμε από την αιολική μηχανή μπορεί να γραφεί:

$$P_m = C_p * n_1 * n_2 * n_3 * P_d$$

όπου:

$n_1$  είναι η απόδοση του πολλαπλασιαστή της τάσης  $n_2$  είναι η απόδοση της γεννήτριας  $n_3$  είναι η απόδοση των συσσωρευτών  $P_d$  είναι η διαθέσιμη ισχύς του ανέμου (  $\rho A v^3 / 2$  )



Γράφημα 2.5 Μεταβολή του συντελεστή απόδοσης του δρομέα με τον λόγο των ταχυτήτων του ανέμου μετά και πριν την A/Γ

## 2.6 Καμπύλη Ισχύος αιολικής μηχανής

Η απόδοση μιας αιολικής μηχανής μεταβάλλεται στα διάφορα πεδία ταχυτήτων του ανέμου. Έτσι για κάθε αιολική μηχανή υπάρχουν τρεις χαρακτηριστικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου, η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας ( $V_{jn}$ ), η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας ( $V_r$ ) και η ταχύτητα αποκοπής ( $V_{out}$ ).

Η αιολική μηχανή παρουσιάζει απώλειες λόγω τριβών σε όλα τα κινούμενα μέρη της. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αποδίδει ισχύ μόνο όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μία ορισμένη τιμή χαρακτηριστική για κάθε μηχανή. Η ταχύτητα αυτή λέγεται "ταχύτητα έναρξης λειτουργίας" ( $V_{in}$ ). Επομένως για τιμές της ταχύτητας του ανέμου μικρότερες από την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας η αιολική μηχανή δεν αποδίδει ενέργεια και συνεπώς δεν έχουμε αξιοποίηση της ισχύος του ανέμου.

Για τιμές της ταχύτητας του ανέμου μεγαλύτερες από την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας έχουμε μια συνεχή αύξηση της ωφέλιμης ισχύος της μηχανής μέχρις ότου η ταχύτητα του ανέμου πάρει την τιμή ( $V_r$ ) πέρα από την οποία ενεργοποιείται σύστημα που διατηρεί σταθερή την παρεχόμενη από την ανεμογεννήτρια ισχύ (ονομαστική ισχύς της αιολικής μηχανής). Η ταχύτητα ( $V_r$ ) ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα και είναι χαρακτηριστική για κάθε μηχανή.

Σε πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου η αιολική μηχανή τίθεται εκτός λειτουργίας για λόγους ασφαλείας. Η ταχύτητα του ανέμου πέρα από την οποία η αιολική μηχανή τίθεται εκτός λειτουργίας ονομάζεται "ταχύτητα αποκοπής" ( $V_{max}$ ). Συνεπώς για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από ( $V_{max}$ ) η ισχύς του ανέμου παραμένει και πάλι αναξιοποίητη.

## 2.7 Μηχανές οριζόντιου άξονα περιστροφής

Οι αιολικές μηχανές οριζόντιου άξονα ταξινομούνται:

- ✓ Στους κλασσικούς παραδοσιακούς ανεμόμυλους
- ✓ Στις αργές αιολικές μηχανές (12-24 πτερύγια )
- ✓ Στις γρήγορες αιολικές μηχανές (2-4 πτερύγια)
- ✓ Σε άλλους τύπους αιολικών μηχανών : μονόπτερη αιολική μηχανή, αιολική μηχανή με χωνί διάχυσης , πτερωτή με μικρές εγκάρσιες επιφάνειες στα άκρατων πτερυγίων.

### 2.7.1 Τύποι γρήγορων αιολικών μηχανών

Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα είναι ο πύργος στηρίξεως, η πτερωτή, ο άξονας περιστροφής, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, η ηλεκτρική γεννήτρια καθώς και το σύστημα προσανεμισμού της μηχανής.

### 2.7.2 Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Τα κυριότερα σημεία που πρέπει να μελετηθούν στην κατασκευή μιας ανεμογεννήτριας ή ανεμοκινητήρα οριζοντίου άξονα είναι :

#### 1. Σχεδιασμός της πτερωτής

Στο σχεδιασμό της πτερωτής αναζητείται ο βέλτιστος συνδυασμός μεταξύ :

- ◆ Του πλάτους των πτερυγίων
- ◆ Της αεροτομής
- ◆ Της συστροφής
- ◆ Του γεωμετρικού βήματος
- ◆ Του αριθμού των πτερυγίων



Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, με τον βαθμό απόδοσης τους, με το κόστος κατασκευής καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων.

## **2. Αντοχή των υλικών κατασκευής των πτερυγίων.**

Για την αντοχή των υλικών των πτερυγίων πρέπει να γίνει:

- ◆ Μελέτη των τάσεων & ταλαντώσεων των πτερυγίων
- ◆ Εύρεση των καταλλήλων υλικών
- ◆ Εύρεση τρόπων κατασκευής

Η πτερωτή της ανεμογεννήτριας αποτελείται από τα πτερύγια τα οποία είναι κατασκευασμένα συνήθως από ελαφριά κράματα μετάλλων όπως ενισχυμένος πολυεστέρας αλλά και από ξύλο σε συνδυασμό με ρητίνες. Μια τυπική μέθοδος κατασκευής πτερυγίων ανεμογεννήτριας βασίζεται στη συνδυασμένη χρήση χάλυβα και πλαστικού, όπου το κεντρικό τμήμα χαλύβδινο τμήμα απορροφά τα καμπτικά και στρεπτικά φορτία ενώ χρησιμοποιούνται πλαστικά κελύφη για να επιτύχουμε την ιδανική αεροδυναμική μορφή στα πτερύγια.

## **3. Συμπεριφορά της πτερωτής στην εκκίνηση ,επιβράδυνση**

Για λόγους ασφαλείας της ανεμογεννήτριας, τα πτερύγια είναι συνήθως εφοδιασμένα με σύστημα αεροδυναμικής πέδησης (αερόφρενα) τα οποία διακόπτουν τη λειτουργία της μηχανής σε έκτακτες περιπτώσεις.

## **4. Ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων**

Αυτή γίνεται για τους εξής λόγους :

- 📖 Για τον περιορισμό της ισχύος όταν επικρατούν ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική ταχύτητα  $V_r$
- 📖 Για τη διατήρηση σταθερών στροφών
- 📖 Για να μπορούμε με αλλαγή του βήματος να έχουμε τη βέλτιστη απόδοση σε διαφορετικά πεδία ταχυτήτων του ανέμου
- 📖 Για τον καθορισμό του βήματος που αντιστοιχεί στη μέγιστη ροπή

Για την βελτίωση δηλαδή της συνολικής συμπεριφοράς της πτερωτής χρησιμοποιούνται πτερωτές μεταβλητού βήματος. Η μεταβολή του βήματος μιας πτερωτής γίνεται με την περιστροφή του πτερυγίου γύρω από τον διαμήκη άξονα με αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας προσβολής τους από τον άνεμο. Έτσι επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής της ανεμογεννήτριας, η

βελτίωση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο έλεγχος της παραγόμενης ισχύος και ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια.

#### **5. Προσανατολισμός - προσανεμισμός της πτερωτής.**

Ο προσανατολισμός επιτυγχάνεται κυρίως με :

- ❖ Καθοδηγητικό πτερύγιο
- ❖ Με αυτόματο έλεγχο μέσω ενός αισθητηρίου οργάνου και ενός σερβομηχανισμού που περιστρέφει την άτρακτο της μηχανής με τη βοήθεια οδοντωτής περιστροφής.

#### **6. Μελέτη αυτοματισμών σε σχέση με την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας και την ταχύτητα εξόδου.**

Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να μελετηθεί το βήμα των πτερυγίων . Η μεταβολή αυτή του βήματος των πτερυγίων επιτυγχάνεται με :

- ≈ Υδραυλικά- μηχανικά- ηλεκτρικά συστήματα
- ≈ Ηλεκτρικά συστήματα
- ≈ Συστήματα με αντίβαρα
- ≈ Συστήματα με ελαστικά έδραση των πτερυγίων

#### **7. Προσδιορισμός του ύψους από το έδαφος του άξονα της πτερωτής**

Η αύξηση του ύψους είναι ευθέως ανάλογη του κόστους εγκατάστασης ,αλλά συγχρόνως και της παραγόμενης ισχύος . Εκείνο που καθορίζει βασικά το ύψος είναι η τραχύτητα του εδάφους και τα εμπόδια στην ροή του αέρα.

#### **8. Σχεδιασμός της πλήμνης**

Η πλήμνη αποτελεί το δεύτερο συστατικό της πτερωτής (δρομέα) και περιλαμβάνει το μέρος εκείνο της ανεμογεννήτριας πάνω στο οποίο προσαρμίζονται τα πτερύγια.

#### **9. Μελέτη κατασκευής του άξονα**

Ο άξονας της ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα ώστε να μεταφέρει ισχυρές μη μόνιμες ισχυρές στρεπτικές και καμπτικές ροπές ενώ η έδραση του γίνεται συνήθως σε δύο ένσφαιρα έδρανα ικανά να παραλαμβάνουν το βάρος του άξονα και τα φορτία που του ασκούνται.

## **10. Η κατασκευή η θεμελίωση και η επίδραση του πύργου στήριξης στην ροή του αέρα.**

Ο πύργος στήριξης πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με την σταθερότητα και αντοχή της κατασκευής. Αποτελείται από μεταλλικό δικτύωμα ή από στήλη μπετόν ή από μεταλλικό σωλήνα για τις μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στήριξης είναι συνήθως ίσο με την διάμετρο της πτερωτής ενώ για την επιλογή του λαμβάνουμε υπόψη το κόστος κατασκευής και θεμελίωσης. Όταν ο πύργος στήριξης είναι καλά σχεδιασμένος , η επίδραση στην ροή του αέρα, που έχει σαν συνέπεια την μείωση της απόδοσης του συστήματος και τις ταλαντώσεις των πτερυγίων, είναι μικρή.

## **11. Η μορφή του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή.**

Η μελέτη αυτή έχει πρακτικό ενδιαφέρον ,γιατί φανερώνει την επίδραση του ανεμοκινητήρα στο περιβάλλον ,καθώς και την αλληλεπίδραση ανεμοκινητήρων που βρίσκονται σε σειρά.

## **12. Η δυνατότητα τοποθέτησης πολλών Αιολικών μηχανών σε σειρές.**

Στην περίπτωση αυτή απαιτείται μελέτη για τον προσδιορισμό της ελάχιστης απόστασης που πρέπει να έχουν μεταξύ τους οι Αιολικές μηχανές.

## **13. Ηλεκτρικές γεννήτριες**

Οι ηλεκτρικές γεννήτριες χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική καθώς και τα συστήματα αυτοματισμού. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Γενικά, η υφιστάμενη τάση είναι ο περιορισμός και η απλούστευση του μηχανικού μέρους και η αντιμετώπιση των προβλημάτων ελέγχου με το ηλεκτρονικό τμήμα της ανεμογεννήτριας. Με την συνδρομή της σύγχρονης τεχνολογίας ο έλεγχος ισχύος μέσω ηλεκτρονικών είναι ακριβέστερος, ταχύτερος και πιο αξιόπιστος σε σχέση με τα μηχανικά συστήματα.

## 2.8 Μηχανές κάθετου άξονα περιστροφής

Οι πρώτοι ανεμόμυλοι που εμφανίστηκαν τον 7ο π.Χ. αιώνα ήταν κατακόρυφου άξονα περιστροφής. Εδώ θα αναφέρουμε επιγραμματικά τους κυριότερους από αυτούς.

- I. Στην πρώτη ομάδα Αιολικών μηχανών κατακόρυφου άξονα ανήκουν:
  - Το κυπελλοφόρο ανεμόμετρο ( μόνο θεωρητικά θα μπορούσε να παράγει ενέργεια )
  - Το πανεμόνιο ( Τα πτερύγια του είναι λίγο ως πολύ ημικυλινδρικά )
  - Η μηχανή του Lafond.
  - Η Αιολική μηχανή του Savonius.
  
- II. Στην δεύτερη ομάδα Αιολικών μηχανών κατακόρυφου άξονα ανήκουν μηχανές με σταθερά πτερύγια , οι οποίες είναι γνωστές με το όνομα τύπου Darrieus.
  
- III. Άλλοι τύποι Αιολικών μηχανών κατακόρυφου άξονα είναι :
  - Προφυλαγμένες μηχανές
  - Μηχανές με περιστρεφόμενα πτερύγια
  - Μηχανές τύπου tornado.

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου και αποτελούν απλές κατασκευές. Οι πιο γνωστοί τύποι μηχανών κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου «Darrieus» και «Savonius». Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από άξονα τους ο οποίος είναι κάθετος στην διεύθυνση του ανέμου. Έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς την διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου.

Τα πτερύγια των μηχανών αυτών είναι δύο ή τρία και δεν παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας προσβολής και κατά συνέπεια η καλύτερη αεροδυναμική συμπεριφορά της μηχανής. Τα πτερύγια κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου και έχουν σχοινοειδή μορφή, είναι συμμετρικής διατομής, σταθερής χορδής και χωρίς συστροφή.

Η γεννήτρια τους τοποθετείται κατά κανόνα στο έδαφος και με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η συντήρηση του συστήματος. Λόγο των υψηλών ταχυτήτων εκκίνησης ιδιαίτερα στα μεγάλα συστήματα χρησιμοποιείται βοηθητικός κινητήρας για την εκκίνηση.

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης είναι τοποθετημένο κατακόρυφα. Ο δρομέας στηρίζεται σε δύο έδρανα. Η μηχανή διατηρείται σε κατακόρυφη θέση με την βοήθεια ενταντήρων οι οποίοι συνδέουν την κορυφή του άξονα της μηχανής με το έδαφος.

Η έδραση του δρομέα, το κιβώτιο πολλαπλασιασμού των στροφών, ο ελαστικός σύνδεσμος για την απόσβεση των στρεπτικών ταλαντώσεων, το σύστημα πέδησης και το κέλυφος προστασίας των μηχανισμών δεν διαφέρει ιδιαίτερα από αυτά των μηχανών οριζοντίου άξονα.



Εικόνα 2.8 Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα

## 2.9 Αιολικά πάρκα

Τα Αιολικά Πάρκα αποτελούνται από σειρές από αιολικές μηχανές μετατρέποντας την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική έτσι γίνεται η εκμετάλλευση του τοπικού αιολικού δυναμικού που αποτελείται από μια ανεξάντλητη φυσική πηγή. Η λειτουργία των ανεμογεννητριών δεν απαιτεί πρώτες ύλες, εκτός από την αιολική ενέργεια και δεν εκπέμπει καμία μορφή ρύπου ή αποβλήτων επίσης, το παραγόμενο προϊόν μεταφέρεται απευθείας στο δίκτυο της ΔΕΗ προς κατανάλωση και επομένως, δεν απαιτείται κανενός είδους μετατροπή πρώτης ύλης ή προϊόντος.

Μια αιολική μηχανή μπορεί να εγκατασταθεί πρακτικά σε οποιονδήποτε ανοικτό χώρο. Δεδομένου όμως ότι τα σύγχρονα αιολικά πάρκα αποτελούν εμπορικές εφαρμογές, θα πρέπει η εγκατάσταση των αιολικών μηχανών να μην γίνεται αυθαίρετα, αλλά να είναι αντικείμενο μελέτης και βελτιστοποίησης. Διάφορες μεθοδολογίες έχουν αναπτυχθεί για την επιλογή των θέσεων των αιολικών πάρκων, υπάρχουν όμως μερικά βασικά σημεία τα οποία πρέπει να έχει κανείς υπόψη του, όπως:

- ◆ Στις κορυφογραμμές η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.
- ◆ Σε κοιλάδες ή περάσματα μεταξύ υψωμάτων, η ταχύτητα του ανέμου ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη.
- ◆ Στα οροπέδια, ειδικά σε όσα βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο, η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.
- ◆ Μεγάλες ταχύτητες ανέμου εμφανίζονται επίσης σε πολλές παράκτιες περιοχές.

Οι περιοχές στις οποίες πιστεύεται ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντική, μπορούν να εντοπιστούν από την μελέτη χαρτών και την συλλογή ιστορικών πληροφοριών αναφορικά με το κλίμα τους. Επισκέψεις στις περιοχές αυτές επιτρέπουν την συλλογή πληροφοριών σχετικά με την ένταση και την διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων. Σε περιοχές με αρκετά δέντρα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση αυτή δείκτες, όπως οι Griggs - Puttnam και Barsch, οι οποίοι βασίζονται στον βαθμό παραμόρφωσης της βλάστησης. Προσφάτως έχουν δημιουργηθεί άτλαντες αιολικού δυναμικού, οι οποίοι παρέχουν τις ασφαλέστερες πληροφορίες για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού διαφόρων περιοχών. Τέτοιος είναι ο European Wind Atlas ο οποίος έχει εκπονηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Μετά τον αρχικό εντοπισμό ορισμένων περιοχών στις οποίες είναι δυνατή η εγκατάσταση αιολικών μηχανών, πρέπει να συλλεχτούν λεπτομερέστερες πληροφορίες ώστε να γίνει η τελική επιλογή. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται λεπτομερείς χρονοσειρές της ταχύτητας του ανέμου, ώστε να εκτιμηθεί η μέση ετήσια ταχύτητα αλλά και το εύρος μεταβολής της.

Η κατανομή συχνοτήτων της ταχύτητας του ανέμου δίνει πληροφορίες σχετικά με την μέση τιμή και τις πιθανότερες τιμές ταχύτητας καθώς επίσης και για τον αριθμό των ιδιαίτερα υψηλών ταχυτήτων και των νηνεμιών. Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, γιατί αν σε κάποια περιοχή, για παράδειγμα, εμφανίζονται συχνά ταχύτητες μεγαλύτερες των 25m/s ίσως αυτή να μην είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για εμπορική εκμετάλλευση, δεδομένου ότι η λειτουργία των μηχανών θα πρέπει να σταματάει αρκετά συχνά για λόγους ασφαλείας. Η κατανομή συχνοτήτων παρέχει επίσης τις απαραίτητες πληροφορίες για την διαστασιολόγηση των αιολικών μηχανών. Τα απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα προέρχονται είτε από ιστορικά μετεωρολογικά αρχεία, είτε από μετρήσεις in situ, είτε τέλος με την βοήθεια μοντέλων.

Εκτός από την ταχύτητα του ανέμου, διάφορες άλλες παράμετροι επηρεάζουν την τελική επιλογή εγκατάστασης των αιολικών μηχανών όπως:

- πρόσβαση στο δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού,
- τοπικές περιβαλλοντικές επιδράσεις,
- οδική πρόσβαση,
- απόσταση από κατοικημένες περιοχές,
- επίδραση του θορύβου,
- παράσιτα σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοφωνικών - τηλεοπτικών σταθμών )

Αναλυτικότερα, πρωταρχική σημασία στην εύρεση των πιθανών θέσεων εγκατάστασης αιολικών μηχανών κατέχει ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών εκείνων που θα επιτρέψει τη μέγιστη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της περιοχής.



Εικόνα 2.9 Αιολικό πάρκο

Γενικά μία λεπτομερής διαδικασία που μπορεί να υιοθετηθεί στην εγκατάσταση των αιολικών πάρκων είναι η ακόλουθη:

A. Καθορισμός της κατανομής των μέσων ωριαίων :

- ♣ τιμών της ταχύτητας του ανέμου και
- ♣ διευθύνσεων του ανέμου

B. Εξακρίβωση :

- ♣ της σταθερότητας της μέσης ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου καθώς και της ύπαρξης επικρατούντων ανέμων στην περιοχή
- ♣ της ύπαρξης τοποθεσιών όπου επικρατεί επιταχυνόμενη ροή στο πεδίο του ανέμου
- ♣ της συχνότητας εμφάνισης ριπών ανέμου.
- ♣ της συχνότητας και του μεγέθους έντονων ανέμων
- ♣ της συχνότητας και της χρονικής διάρκειας νήνεμων περιόδων
- ♣ της συχνότητας εμφάνισης καταιγίδων, θυελλών και κεραυνών
- ♣ της συχνότητα εμφάνισης τυφώνων
- ♣ της συχνότητας εμφάνισης έντονων χιονοπτώσεων και περιόδων παγετού
- ♣ της συχνότητας εμφάνισης αμμοθυελλών ,και
- ♣ της εμφάνισης οριακών θερμοκρασιών (πολύ υψηλών ή πολύ χαμηλών)

Γ. Προσδιορισμός

- ♣ της τραχύτητας και των χαρακτηριστικών του εδάφους σε γειτονικές περιοχές
- ♣ της κατακόρυφης κατανομής του ανέμου (βαθμίδα ανέμου) σαν συνάρτηση της ατμοσφαιρικής σταθερότητας και των συνθηκών επιφανείας
- ♣ του οξειδωτικού η μη χαρακτήρα της περιοχής

Δ. Υπολογισμός

- ♣ της μέσης πυκνότητας του αέρα, της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας , των ωρών της ηλιοφάνειας καθώς και των μέσων ετήσιων και εποχιακών θερμοκρασιών
- ♣ της δομικής ικανότητας στήριξης βαριών κατασκευών του εδάφους

E. Πληροφορία για τη σεισμικότητα της περιοχής

- ♣ Τα προβλήματα που δημιουργούνται από τις μαζικές εγκαταστάσεις αιολικών μηχανών , εντοπίζονται σε δυο κυρίως σημεία είναι:



- ♣ Το πεδίο ροής του ανέμου πίσω από μια ανεμογεννήτρια χαρακτηρίζεται από μειωμένες ταχύτητες ανέμου σε σχέση με το ελεύθερο πεδίο ροής του ανέμου. Ο λόγος είναι προφανής. Ένα ποσοστό από την κινητική ενέργεια του ανέμου που προσπίπτει στη μετωπική επιφάνεια που σαρώνει η φτερωτή της αιολικής μηχανής δεσμεύεται από αυτή και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια ενώ το ποσοστό που παραμένει ανεκμετάλλευτο μεταφέρει μέρος της αρχικής ενέργειας του ανέμου στο πεδίο ροής πίσω από την ανεμογεννήτρια.
- ♣ Η μηχανική ανατάραξη που δημιουργεί η περιστροφή της φτερωτή ζέχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία τοπικών στροβίλων που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά λειτουργικά προβλήματα σε γειτονικά εγκαταστημένες αιολικές μηχανές. Το γενικότερο λοιπόν πρόβλημα , είναι η εύρεση της βέλτιστης θέσης εγκατάστασης των αιολικών μηχανών μέσα σ' ένα αιολικό πάρκο κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αλληλεπίδραση των ανεπτυγμένων πεδίων ροής των ανεμογεννητριών να είναι η μικρότερη δυνατή ή και ανύπαρκτη.

### **2.10 Αιολικά πάρκα στην θάλασσα**

Σε μία τοποθεσία περίπου 10 χιλιόμετρα από την ανατολική ακτή της Ιρλανδίας, το έργο του Ark low ιδιοκτησία της GE Energy λειτουργεί τώρα ως μοντέλο επίδειξης νέας τεχνολογίας για την 3.6 MW offshore μηχανή της GE Energy ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο . Σύμφωνα με τη Βρετανική Ομοσπονδία Αιολικής Ενέργειας (British Wind Energy Association), το έργο παράγει αρκετή ενέργεια ώστε να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες περίπου 16.000 νοικοκυριών στην Ιρλανδία. Με την συμπλήρωση του πρώτου χρόνου λειτουργίας του offshore αιολικού πάρκου της GE Energy στο Ark low, παρατηρήθηκαν μερικά εντυπωσιακά νούμερα. Επιτεύχθηκε συλλογικά για μερικούς μήνες ποσοστό διαθεσιμότητας περίπου 99% από τις επτά αιολικές μηχανές 3.6 MW, ενώ η χαμηλότερη τιμή για την τελευταία χρόνια ήταν 87.7% με μέσω όρο τον περασμένο χρόνο τα 95%. Η GE Energy υπολογίζει ότι κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος παρήχθησαν περίπου 88.5 εκατομμύρια kWh. Επιπροσθέτως, η μηχανή GE 3.6 λειτούργησε καλά σε ανεξάρτητες δοκιμασίες. Κατά τη διάρκεια του 2004, η γερμανική εταιρία δοκιμών "Windiest" υπολόγισε την καμπύλη ισχύος της πρότυπης μηχανής που βρίσκεται εγκατεστημένη στην Ισπανία.

Η Windtest, χρησιμοποιώντας ανεμόμετρα τύπου RisoeKai Thies, παρατήρησε υψηλές ταχύτητες εξόδου σε όλες της ταχύτητες του αέρα. Συνολικά αυτές οι μετρήσεις έδειξαν ότι η πρότυπη μηχανή όχι μόνο ικανοποίη σε αλλά και υπερέβη τις μηχανικές προσδοκίες. Οι νέες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Ark low επαλήθευσαν τα αποτελέσματα αυτά. Η Windiest παρατήρησε ότι η καμπύλη ισχύος στο Ark low ήταν 2-3% υψηλότερη από αυτή που οι μηχανικοί αρχικά υπολόγιζαν.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Στην σημερινή εποχή η ζήτηση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Η ενεργειακή εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο φέρνει στην επιφάνεια ζητήματα όπως η αναμενόμενη εξάντληση τους και τα θέματα που σχετίζονται με την εξόρυξη και εκμετάλλευσή τους. Επιπρόσθετα η καύση των ορυκτών καυσίμων είναι η κύρια αιτία πίσω από την διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας. Αυτοί είναι οι βασικοί παράγοντες που τις τελευταίες δεκαετίες οι ΑΠΕ έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον όλων των σπουδών έρευνας και ανάπτυξης.

Οι δύο κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για μαζική παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ηλιακή και η αιολική. Ο στοχαστικός χαρακτήρας πολλών μορφών ΑΠΕ θέτει ορισμένους τεχνοοικονομικούς και λειτουργικούς περιορισμούς κατά τη χρήση τους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Για παράδειγμα η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει την χρήση αποθηκευτικών μέσων εξαιτίας των διακυμάνσεων στην διάθεσή της. Το ίδιο ισχύει και για την αιολική ενέργεια. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν άλλες μορφές ΑΠΕ που παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα και υπάρχει καλύτερη προβλεψιμότητά τους, όπως η γεωθερμία και η βιομάζα.

Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην έρευνα και ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας τα οποία γενικά ορίζονται ως εκείνα τα συστήματα παραγωγής ενέργειας που υπάρχουν περισσότερες από μια ηλεκτρικές γεννήτριες διαφορετικής τεχνολογίας ως προς το εν χρήσει καύσιμο.

Τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ ικανοποιούν τη ζήτηση για ενέργεια άμεσα χωρίς τη χρήση μεγάλων γραμμών μεταφοράς. Ο συνδυασμός διαφορετικών αλλά συμπληρωματικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας βασισμένων στις ΑΠΕ και ο συνδυασμός ανανεώσιμων και μη (όπως ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη) πηγών ενέργειας είναι γνωστός σαν υβριδικό σύστημα ενέργειας. Συνήθως τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν δύο ή και περισσότερες

ΑΠΕ συνδυασμένες με συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας όπως είναι οι ντηζελογεννήτριες .

Ο σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος πρέπει να λαμβάνει υπόψη ένα αριθμό παραγόντων όπως:

- Την εθνική πολιτική για την προώθηση των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας και γενικότερα για την προώθηση των ΑΠΕ
- Τα χαρακτηριστικά του φορτίου και η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται (ημερήσιες kWh, peak).
- Τη διαθεσιμότητα και την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της ΑΠΕ.
- Το ποσοστό διεύθυνσης της τεχνολογίας της ΑΠΕ στο υβριδικό σύστημα.
- Το κόστος εγκατάστασης και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης καθώς

Με βάση τα ανωτέρω κριτήρια, για τον ελληνικό χώρο, αλλά και γενικότερα παγκοσμίως, οι πλέον ώριμες τεχνικά και ανταγωνιστικές οικονομικά τεχνολογίες Α.Π.Ε. για εισαγωγή σε υβριδικούς σταθμούς, είναι:

- τα αιολικά πάρκα, για μεγάλου και μικρού μεγέθους σταθμούς
- οι μικρές ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά (μετά τη μείωση του κόστους εγκατάστασής τους) για μικρού μεγέθους σταθμούς.

## 3.2 Γενικά

Ένα υβριδικό σύστημα ισχύος είναι ένα δυναμικό σύστημα ισχύος το οποίο χρησιμοποιεί πάνω από μία μεθόδους παραγωγής ενέργειας για να καλύπτει την απαιτούμενη ενέργεια. Συνήθως, εκτός από τα φωτοβολταϊκά, συνδυάζονται και άλλες πηγές ενέργειας, (κυρίως τοπικές και ανανεώσιμες) όπως ανεμογεννήτριες, μικρουδροηλεκτρική ισχύ, υδροηλεκτρική ισχύ ποταμών, βιομάζα. Συχνό φαινόμενο, όμως, είναι να συνδυάζεται μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μία συμβατική πηγή όπως η τροφοδοσία από το τοπικό δίκτυο ή από ηλεκτρογεννήτριες πετρελαίου (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος - H/Z), μπαταρίες και γεννήτριες μετατροπής.

Γενικά τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν τις μορφές ενέργειας για να τροφοδοτούν το σύστημα συνεχώς με σταθερή τάση, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους διακοπής της τροφοδοσίας. Χαρακτηρίζονται ως δυναμικά συστήματα, καθώς είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να εναλλάσσονται ανάμεσα στις διαθέσιμες πηγές ενέργειας ή και να τις συνδυάζουν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να εξαρτώνται κατά το ελάχιστο από τις μεταβολές των εξωγενών παραγόντων, όπως το τοπικό δίκτυο, η ηλιοφάνεια, η ένταση του ανέμου, η ροή του νερού κ.τ.λ.

## 3.3 Εφαρμογές υβριδικών συστημάτων

Τα υβριδικά συστήματα κατά κύριο λόγο εφαρμόζονται για την αδιάλειπτη λειτουργία σημαντικών οικιακών, επαγγελματικών εφαρμογών ή εφαρμογών πρώτης ανάγκης όπως στρατιωτικές μονάδες, αεροδρόμια, νοσοκομεία ηλεκτρικών φορτίων ή ευαίσθητων φορτίων, σε περιοχές όπου το κεντρικό δίκτυο παρουσιάζει προβλήματα (διακοπές ή μεταβολές τάσης).

Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός είναι αυτός μιας συστοιχίας φωτοβολταϊκών και μιας ανεμογεννήτριας. Τα φωτοβολταϊκά είναι πιο ισχυρά για μικρά φορτία, ενώ οι ανεμογεννήτριες, συνήθως, βοηθούν για μεγαλύτερα φορτία. Επίσης, για οικιακή χρήση υπάρχουν τα υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών θερμικής ισχύος (PV-T). Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συλλέκτες που ενσωματώνουν σε ένα σώμα την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για την κάλυψη όλων των τύπων αναγκών ενός κτιρίου. Ενώ στα τυπικά φωτοβολταϊκά πάνελ ο συντελεστής απόδοσης πέφτει με την άνοδο της θερμοκρασίας, αντίθετα τα υβριδικά πάνελ PV-T επωφελούνται απορροφώντας την περιττή θερμότητα του φωτοβολταϊκού τμήματος για την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Αυτή η λειτουργία δρα ευεργετικά για το φωτοβολταϊκό τμήμα, το οποίο λειτουργεί σε ιδανικές θερμοκρασίες και επομένως παράγει έως και 50% περισσότερη ενέργεια από ένα αντίστοιχο απλό φωτοβολταϊκό πάνελ.

Σε εφαρμογές που η ανάγκη για συνεχή παροχή ενέργειας είναι επιτακτική μπορεί να εφαρμοστεί ο συνδυασμός μιας συστοιχίας φωτοβολταϊκών με μια ανεμογεννήτρια και μία ηλεκτρογεννήτρια πετρελαίου. Έτσι, επιτυγχάνεται η αξιόπιστη λειτουργία

του συστήματος όλο το χρόνο (και το χειμώνα όπου η ανεμογεννήτρια παίζει ένα σημαντικό ρόλο ενίσχυσης όλου του φωτοβολταϊκού συστήματος). Παράλληλα η ηλεκτρογεννήτρια πετρελαίου, συνήθως ενεργοποιείται αυτόματα σε έκτακτες περιπτώσεις για να υποβοηθήσει το φωτοβολταϊκό σύστημα. Εφόσον το υβριδικό σύστημα αποτελείται μόνο από ηλεκτρογεννήτρια και είναι εγκατεστημένο σε συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο, τότε το κεντρικό δίκτυο χρησιμοποιείται ως εφεδρική πηγή σε περίπτωση ανάγκης.



Σχήμα 3.1 Αναπαράσταση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων με αποθήκευση

Τα υβριδικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο ή η μεταφορά καυσίμων είναι αντιοικονομικές επιλογές. Παρέχουν επιπλέον την δυνατότητα μελλοντικής σύνδεσης με το δίκτυο και μπορούν να φανούν χρήσιμα σαν μια αποτελεσματική λύση παροχής ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ακόμα και σε εξειδικευμένους καταναλωτές. Αποτελούν δυναμικά συστήματα καθώς είναι σχεδιασμένα για να εναλλάσσονται ανάμεσα στις διαθέσιμες πηγές ενέργειας ή και να τις συνδυάζουν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να εξαρτώνται στο ελάχιστο από εξωγενείς παράγοντες. Σύμφωνα με το νόμο 3468/2006, ως υβριδικό σύστημα ή αλλιώς υβριδικός σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

- Χρησιμοποιεί τουλάχιστον μια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο σε ετήσια βάση δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του συστήματος αυτού.
- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών του σταθμού δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.

Ένα από τα κυριότερα οφέλη από την αξιοποίηση υβριδικών συστημάτων είναι η διασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτώνται πολύ από τις καιρικές συνθήκες, οι οποίες εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Επιπλέον, τα υβριδικά συστήματα συμβάλλουν στη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών και στην απεξάρτηση από συγκεκριμένες συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Τέλος, τα υβριδικά συστήματα επιτυγχάνουν την οικονομικότερη λειτουργία των συμβατικών μονάδων, καθώς αυτές είτε δε λειτουργούν καθόλου είτε λειτουργούν σε σταθερό φορτίο.

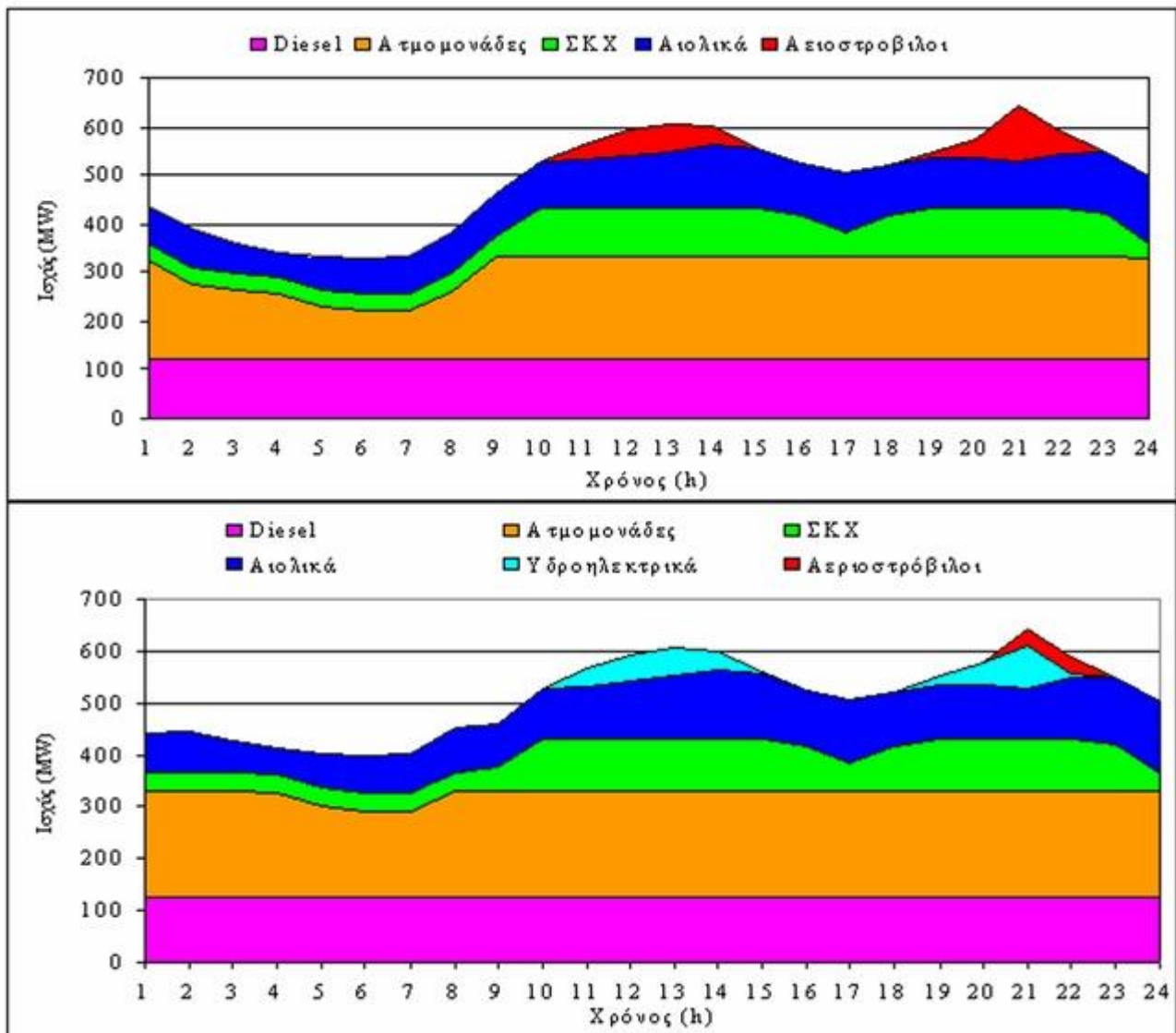
Τέτοιου είδους συστήματα παρέχουν ενέργεια όμοιας ποιότητας με εκείνης του δικτύου σε ένα εύρος από 1kW μέχρι πολλές εκατοντάδες kW, δηλαδή μπορούν να τροφοδοτήσουν από ένα πολύ μικρό σύστημα, όπως μια κεραία αναμεταδότη μέχρι και ολόκληρες περιοχές. Η ταξινόμηση των υβριδικών συστημάτων μπορεί να γίνει με γνώμονα δύο παράγοντες. Ο πρώτος αναφέρεται στο αν το σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο ή αν το σύστημα θα είναι αυτόνομο, ενώ το δεύτερο κριτήριο αναφέρεται στο μέγεθος του έργου και στο αν αυτό αφορά σε μεμονωμένες κατοικίες ή σε ολόκληρες περιοχές.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, ένα υβριδικό σύστημα κατασκευάζεται με σκοπό την αυτονομία και κυρίως σε περιοχές που δεν είναι οικονομικά βιώσιμη ή δυνατή η σύνδεση με το δίκτυο.

Ένας υβριδικός σταθμός μεγάλου μεγέθους μπορεί να εντάσσεται σε ένα σύστημα με σκοπό:

- ✓ Τη διαρκή κάλυψη της ζήτησης ισχύος, καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, αποσκοπώντας στην 100% ετήσια κάλυψη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Σ.Η.Ε. Στην περίπτωση αυτή, δίνοντας μια πολύ γενική και απλοϊκή περιγραφή της λειτουργίας, ο υβριδικός σταθμός αποθηκεύει ενέργεια από τη μονάδα Α.Π.Ε., όποτε υπάρχει διαθέσιμη περίσσεια ισχύος σε σχέση με τη ζήτηση, και διαθέτει ισχύ προς κάλυψη της ζήτησης όταν η διαθέσιμη ισχύς από τη μονάδα Α.Π.Ε. υστερεί ως προς τη ζήτηση.
- ✓ Την κάλυψη της ζήτησης ισχύος κατά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα εντός του εικοσιτετραώρου. Τα χρονικά διαστήματα αυτά περιέχουν, συνήθως, τις αιχμές ζήτησης ισχύος. Ουσιαστικά, στις περιπτώσεις αυτές ο υβριδικός σταθμός λειτουργεί με σκοπό την απαλοιφή αιχμών ισχύος από το Σ.Η.Ε., αποθηκεύοντας ενέργεια όχι από τις θερμοηλεκτρικές μονάδες βάσης, αλλά από τις μονάδες Α.Π.Ε. από τις οποίες συνοδεύεται.

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται δύο διαγράμματα σύνθεσης παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στο αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης για ένα τυπικό θερινό εικοσιτετράωρο, με και χωρίς την παρουσία υβριδικού σταθμού. Στο πρώτο διάγραμμα, το οποίο αφορά στη λειτουργία του συστήματος χωρίς τον υβριδικό σταθμό, η ζήτηση ισχύος κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμών ισχύος παράγεται αποκλειστικά από τους αεριοστρόβιλους. Στο δεύτερο διάγραμμα, στο οποίο υποτίθεται ότι το σύστημα υποστηρίζεται από τον υβριδικό σταθμό, επιτελείται αποθήκευση ενέργειας μέσω της αυξημένης παραγωγής ισχύος από τους ατμοστρόβιλους τις πρώτες πρωινές ώρες, προκειμένου να είναι δυνατή η κάλυψη των αιχμών ισχύος κατά τη διάρκεια της ημέρα από τον υβριδικό σταθμό, αντί των αεριοστρόβιλων.



Γράφημα 3.2 Γραφική αποτύπωση αποτελέσματος της απαλοιφής αιχμών ισχύος από υβριδικό σταθμό στην ημερήσια σύνθεση παραγωγής ισχύος για ένα εικοσιτετράωρο στο αυτόνομο σύστημα της Κρήτης.



### 3.4 Ηλεκτροδότηση Περιοχών

Τα υβριδικά συστήματα, δε χρησιμοποιούνται μόνο για την αυτονόμηση μεμονωμένων οικιών, αλλά και για την ηλεκτροδότηση ολόκληρων περιοχών. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από κάποιο συνδυασμό μέσω παραγωγής και στη συνέχεια τροφοδοτείται στους καταναλωτές με χρήση κάποιου τοπικού δικτύου. Ως υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής ορίζεται οποιοδήποτε αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, στο οποίο ενσωματώνονται περισσότερες από μία πηγές ενέργειας που λειτουργούν μαζί με τον απαραίτητο υποστηρικτικό εξοπλισμό, περιλαμβανομένης της αποθήκευσης της ενέργειας, με στόχο την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ή στο σημείο εγκατάστασής του.

Τα βασικά μέρη που συνιστούν ένα υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής είναι:

- οι μονάδες παραγωγής της ενέργειας,
- η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας,
- η μονάδα ελέγχου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και συντονισμού των ποικίλων διαθέσιμων επιλογών για βέλτιστη κάλυψη των αναγκών.

Οι τεχνολογίες παραγωγής που χρησιμοποιούνται πιο συχνά μπορεί να είναι ηλεκτρογεννήτριες συμβατικών καυσίμων, οι οποίες και έχουν τη δυνατότητα γρήγορης απόκρισης στο απαιτούμενο φορτίο, αν και μπορεί να είναι θορυβώδεις και μη συμφέρουσες οικονομικά. Σε περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό, σημαντικές ποσότητες ενέργειας μπορούν να παράγουν ανεμογεννήτριες. Λόγω της στοχαστικότητας του ανέμου, όμως, επιβάλλεται η διασύνδεση των ανεμογεννητριών με άλλες τεχνολογίες ή η αποθήκευση της ενέργειας για την επίτευξη σταθερής τροφοδοσίας. Γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε υβριδικά συστήματα.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι εύκολα στην εγκατάσταση και δεν απαιτούν συντήρηση και είναι ιδανικά για εγκατάσταση σε περιοχές όπου η παροχή καυσίμων μπορεί να αποτελεί πρόβλημα, αλλά απαιτούν μεγάλη έκταση για τη εγκατάσταση ενός συστήματος με ικανοποιητική ισχύ, ενώ επιπλέον η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από αυτά δεν είναι σταθερή.

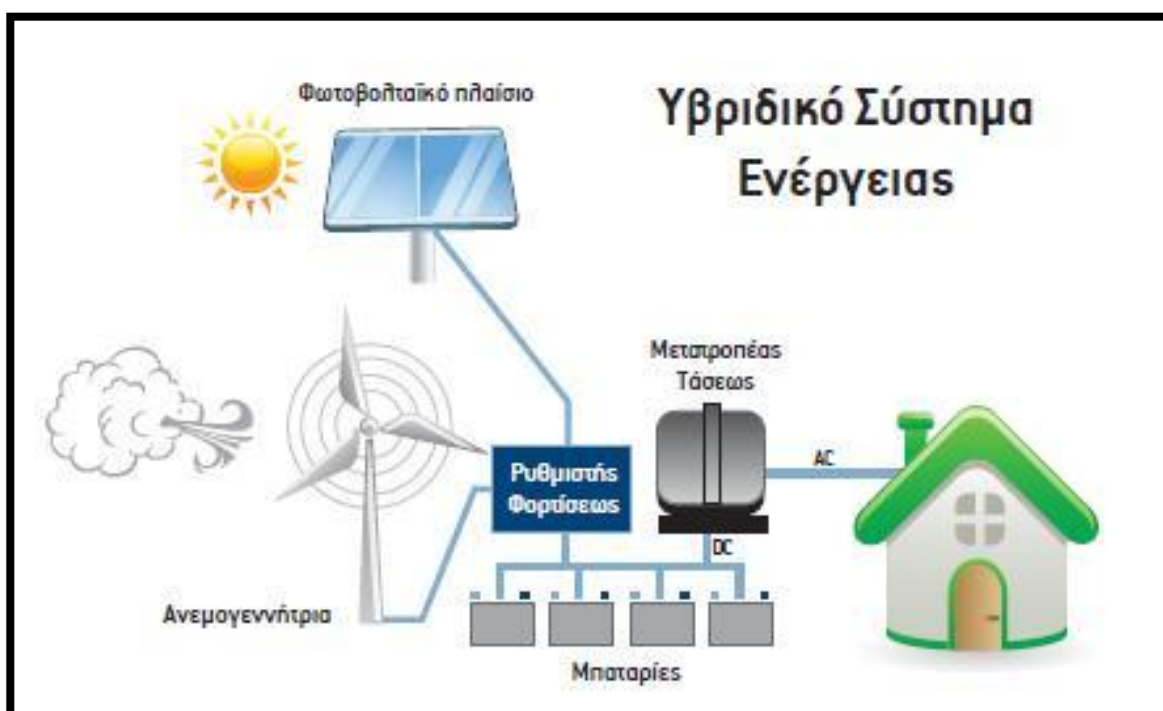
Τα υδροηλεκτρικά έργα παρέχουν πιο σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρισμού σε σχέση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα υδροηλεκτρικά, δε χαρακτηρίζονται από μεγάλες ασυνέχειες στην παροχή ενέργειας και για αυτό ακόμα και μικρά έργα (<10MW) μπορούν να είναι βιώσιμα, ιδιαίτερα αν συνδυαστούν και με κάποια άλλη πηγή ενέργειας. Επιπλέον με την χρήση και άλλων συστημάτων

βιώσιμη είναι και η αξιοποίηση πολύ μικρών υδροηλεκτρικών σχηματισμών της τάξεως των 200kW ή ακόμα και μικρότερων.

Σημαντική παραγωγή ηλεκτρισμού μπορεί να προκύψει από τη χρήση βιομάζας ως καύσιμο, καθώς οι διαθέσιμες πηγές καύσιμης ύλης είναι πολυάριθμες και ποικίλλουν από αγροτικά και δασικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες, όπως επίσης και τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας, όπως είναι η καύση και η αεριοποίηση.

Τέλος, για τη μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υβριδικά συστήματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες τεχνολογίες λιγότερο διαδεδομένες, όπως είναι οι κυψέλες υδρογόνου, τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα και τα συστήματα παραγωγής ενέργειας από τη θάλασσα (κυματισμός και παλίρροιες).

Η μεταβλητότητα ορισμένων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα των ανανεώσιμων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μη πλήρη κάλυψη της ζήτησης από την παραγωγή αυτή καθαυτή. Επιπλέον, τυχόν γεννήτριες του συστήματος δεν είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν άμεσα σε μια απότομη αύξηση της ζήτησης. Για να ξεπεραστούν τέτοιου είδους προβλήματα πρέπει στο σύστημα να υπάρχει κάποιο μέσο αποθήκευσης της ενέργειας.



Σχήμα 3.3 Αναπαράσταση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων με αποθήκευση

### **3.5 Κριτήρια επιλογής μονάδων αποθήκευσης**

Η μονάδα αποθήκευσης σε ένα υβριδικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πλέον χαρακτηριστική συνιστώσα του σταθμού, αυτή δηλαδή που θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τον τύπο του σταθμού και τον τρόπο λειτουργίας του.

Το είδος της μονάδας αποθήκευσης καθορίζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από το μέγεθος του σταθμού, κάτι που συνεπάγεται τις απαιτήσεις σε αποθηκευτική ικανότητα, αλλά και σε ισχύ φόρτισης και εκφόρτισης των μονάδων αποθήκευσης.

Σε υβριδικούς σταθμούς μικρού μεγέθους (με παραγωγή και αποθήκευση ισχύος μικρότερη του 1MW), μπορούν να εφαρμοστούν μία σειρά από εναλλακτικές τεχνολογίες αποθήκευσης, οικονομικά ανταγωνιστικές και τεχνικά επαρκείς, όπως:

- ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές διαφόρων τύπων
- κυψέλες καυσίμου σε συνδυασμό με μονάδες ηλεκτρόλυσης
- σταθμοί αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.

Οι ανωτέρω τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν και σε μεσαίου μεγέθους σταθμούς (έως 5MW), με σημαντικά όμως αυξημένα κόστη εγκατάστασης και παραγωγής ανά μονάδα αποθηκευμένης ενέργειας.

Τέλος σε υβριδικούς σταθμούς με απαίτηση φόρτισης / εκφόρτισης άνω των 5MW, ως μονάδα αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- αντλιοσταμειυτήρες ή αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά
- μονάδες συμπιεσμένου αέρα.

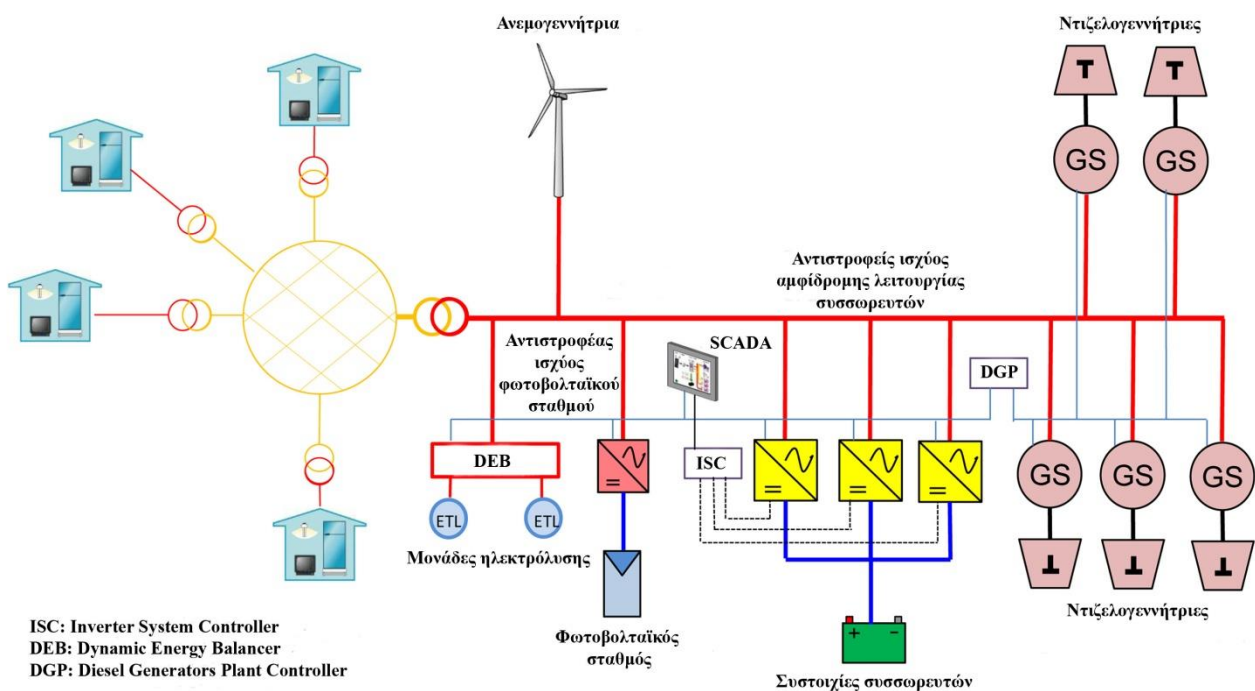
Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά μπορούν να εισαχθούν ακόμα και σε μικρότερου μεγέθους υβριδικούς σταθμούς (από 2 – 5MW) και να παρουσιάζουν υπό προϋποθέσεις (διαθέσιμη γεωμορφολογία, μέγεθος της ζήτησης) καλύτερα οικονομικά στοιχεία από τις άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης.

Το πιο διαδεδομένο μέσο αποθήκευσης είναι οι μπαταρίες, ενώ άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν ηλεκτροχημικά συστήματα με εξωτερική αποθήκευση όπως κυψέλες καυσίμου, ηλεκτρικά συστήματα όπως πυκνωτές και μηχανικά συστήματα με χαρακτηριστικό παράδειγμα την άντληση του νερού. Η επιλογή που χρησιμοποιείται περισσότερο ιδιαίτερα σε μεγάλα υβριδικά συστήματα και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον είναι τα αντλητικά υδροηλεκτρικά συστήματα, ιδιαίτερα σε παραθαλάσσιες περιοχές ή σε περιοχές που είναι κοντά σε μεγάλο υδάτινο σώμα. Σε αυτή την περίπτωση, όταν η ανανεώσιμη πηγή προσφέρει στο σύστημα περισσότερη ενέργεια από τη ζητούμενη, νερό αντλείται από τη θάλασσα σε δεξαμενές σε

μεγαλύτερο υψόμετρο. Όταν η ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος είναι μεγαλύτερη από την παροχή, τότε ενεργοποιείται το υδροηλεκτρικό σύστημα και το νερό από τις δεξαμενές επανέρχεται στη θάλασσα, δια μέσω στροβίλων και γεννητριών και με αυτό τον τρόπο παράγεται άμεσα ηλεκτρική ενέργεια.

Με αυτό το γνώμονα κινούνται σήμερα πολλά υβριδικά έργα στην Ελλάδα. Σε πολλές περιπτώσεις, έχει χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός ανεμογεννητριών με υδροηλεκτρικά συστήματα, ενώ δεν είναι σπάνιος και ο συνδυασμός ανεμογεννητριών με φωτοβολταϊκά πλαίσια. Δύο από τα μεγαλύτερα έργα υβριδικής παραγωγής ενέργειας βρίσκονται στην Ικαρία και στο Ρέθυμνο. Το δεύτερο έργο βρίσκεται στην περιοχή Αμάρι του Ρεθύμνου και αναμένεται να έχει συνολική ισχύ 50MW και να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του Ρεθύμνου κατά 65%, ενώ είναι δυνατή και η περαιτέρω ενεργειακή αναβάθμιση της ισχύος του υβριδικού σταθμού μέχρι τα 100MW.

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται υβριδικός σταθμός μικρού μεγέθους αποτελούμενος από αιολικό πάρκο, φωτοβολταϊκό σταθμό και ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές. Οι σταθμοί αυτοί εισάγονται συνήθως με σκοπό την 100% κάλυψη της ζήτησης ισχύος.






Σχήμα 3.4 Υβριδικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μικρού μεγέθους.

### 3.6 Φωτοβολταϊκά – Αιολικά υβριδικά συστήματα

Η μελέτη για ένα πιο αξιόπιστο και οικονομικότερο ενεργειακό σύστημα με χρήση ΑΠΕ οδήγησε στη δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και Α/Γ. Σε ένα τέτοιο σύστημα η αποδοτικότητα του εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από το ηλιακό και το αιολικό δυναμικό, τα οποία ποικίλουν τοπικά και χρονικά. Η χρήση τέτοιων πηγών ενέργειας προκαλεί προβλήματα τα οποία μπορούν βέβαια να ξεπεραστούν σταδιακά από την χρήση αυτών τους σε ένα βέλτιστο συνδυασμό τους. Η δυναμική της μιας πηγής μπορεί να υπερκαλύψει την αδυναμία της άλλης σε μία ορισμένη χρονική περίοδο. Αυτό είναι εμφανές αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι σε πολλές περιοχές περισσότερη ηλιακή ενέργεια και λιγότερη αιολική είναι διαθέσιμη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, κατ' αντιστοιχία με τους χειμερινούς μήνες όπου έχουμε περισσότερη αιολική ενέργεια και λιγότερη ηλιακή. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν μια καθαρή και αξιόπιστη τεχνολογία. Υπερέχουν σε σχέση με άλλες τεχνολογίες καθώς απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, εφόσον δεν έχουν κινούμενα μέρη, ενώ η πηγή της ενέργειάς τους είναι το φυσικό φως. Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt.

Μεμονωμένες ΑΠΕ ή ενσωματωμένες σε υβριδικά συστήματα είναι ένα από τους τρόπους παραγωγής ηλεκτρισμού σε κάποιες περιοχές στις αναπτυσσόμενες χώρες. Από την άλλη πλευρά, αποτελούν μία εναλλακτική μορφή παραγωγής και παροχέτευσης ηλεκτρισμού σε απομονωμένες περιοχές του αναπτυγμένου κόσμου. Παρ' όλα αυτά ανακύπτουν προβλήματα που περιορίζουν την ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων σε σχέση με την χρήση μεμονωμένων τεχνολογιών, που κατά κύριο λόγο είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα τέτοιων συστημάτων. Αυτή η πολυπλοκότητα έχει να κάνει με τη χρήση δύο διαφορετικών τεχνολογιών-πηγών σε συνδυασμό κάνοντας το υβριδικό σύστημα δύσκολο στην ανάλυση. Έτσι απαιτείται επισταμένη μελέτη στα αιολικά και ηλιακά δεδομένα, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την τοποθεσία του συστήματος. Ο σχεδιαστής πρέπει να είναι σε θέση να κάνει την βέλτιστη επιλογή φωτοβολταϊκών πάνελ και εγκατεστημένης ισχύος της Α/Γ.

Η χρήση της έννοιας αιολικό δυναμικό χρησιμοποιείται για να δηλώσει τα εξής μεγέθη:

-  Το φυσικό διαθέσιμο αιολικό δυναμικό. Την κινητική ενέργεια των αερίων μαζών, οι οποίες κινούνται κάθε χρόνο επάνω από την εξεταζόμενη περιοχή.
-  Το τεχνικώς αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό. Το μέρος του φυσικού διαθέσιμου αιολικού δυναμικού το οποίο είναι τεχνικώς εφικτό να δεσμευτεί για την παραγωγή ενέργειας, χωρίς οικονομικό περιορισμό. Το δυναμικό αυτό μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο γιατί εξαρτάται από την εκάστοτε διαθέσιμη τεχνολογία.
-  Το οικονομικώς αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό. Είναι το μέρος του τεχνικώς διαθέσιμου αιολικού δυναμικού, του οποίου το κόστος αξιοποίησης είναι οικονομικώς συμφέρον. Το δυναμικό αυτό μεταβάλλεται με το χρόνο διότι εξαρτάται από την εκάστοτε διαθέσιμη τεχνολογία αλλά και τις οικονομικές συνθήκες.

Η αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι περισσότερο πολύπλοκη από την αντίστοιχη του ηλιακού της δυναμικού όπως αναφέραμε παραπάνω, διότι ο άνεμος επηρεάζεται σημαντικά από πολλούς παράγοντες, όπως η τοποθεσία, η μορφολογία του εδάφους, τα πιθανά εμπόδια (δέντρα ή κτίρια) και από τελείως τοπικές παραμέτρους (θαλάσσια αύρα, απόγειος αύρα, αύρα μεταξύ κοιλάδας και βουνού). Η απουσία μετεωρολογικών δεδομένων ακριβώς, ή πολύ κοντά στη θεωρούμενη θέση εγκατάστασης μίας Α/Γ μπορεί να οδηγήσει σε τελείως εσφαλμένη διαστασιολόγηση και επιλογή για την Α/Γ και ίσως σε ολοκληρωτική οικονομική αποτυχία. Επομένως για τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού δεν αρκεί μόνο η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου. Θα πρέπει να υπάρχει προσδιορισμός των στιγμιαίων τιμών της με δειγματοληψία η οποία θα έχει όσο το δυνατόν μικρότερη περίοδο.

### 3.7 Περιγραφή του υπό μελέτη συστήματος

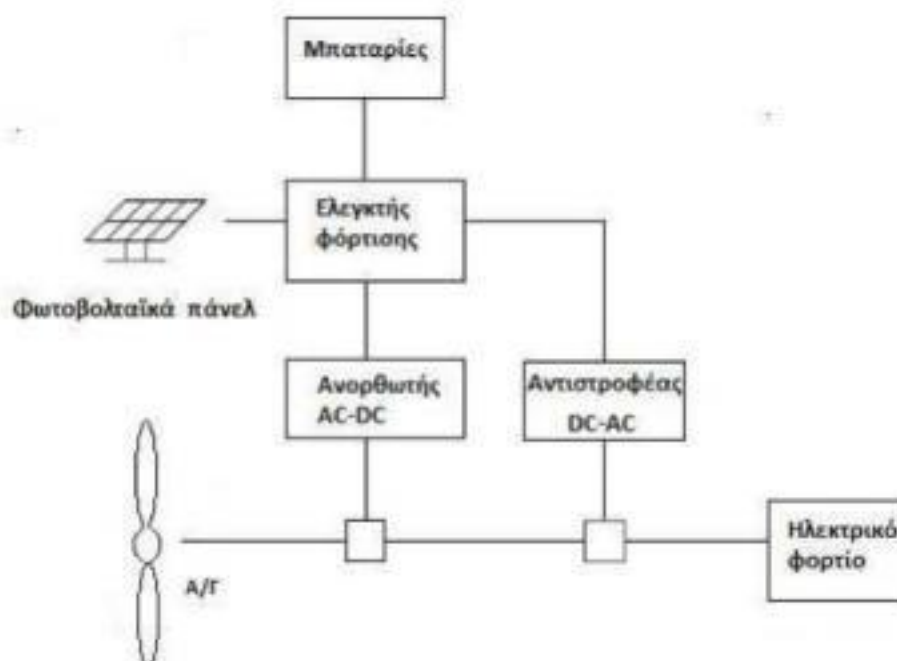
Περιγραφή του υπό μελέτη συστήματος

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αυτόνομου υβριδικού συστήματος μπορούμε να έχουμε τις εξής καταστάσεις:

Αν η ζήτηση ενέργειας είναι μικρότερη από την παραγόμενη ενέργεια από την Α/Γ, το πλεόνασμα ενέργειας που παράγει μαζί με την ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά αποθηκεύεται μέσω των μετατροπέων (ανορθωτή, αντιστροφέα) ισχύος και του ρυθμιστή φόρτισης στις μπαταρίες που διαθέτει το σύστημα.

Αν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που παράγει η Α/Γ τότε το πλεόνασμα ενέργειας καλύπτεται από τα φωτοβολταϊκά μέσω του μετατροπέα ισχύος. Αν παρ' όλα αυτά το φορτίο δεν καλύπτεται ούτε από τα φωτοβολταϊκά, τότε εισέρχεται στο σύστημα και η ενέργεια των μπαταριών, εάν και εφόσον είναι φορτισμένες περισσότερο από το κατώτερο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισής τους, πάλι μέσω μετατροπέα ισχύος.

Τέλος σημειώνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις όταν η χωρητικότητα των μπαταριών φτάσει στο ανώτερο ή στο κατώτερο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης το σύστημα ελέγχου σταματάει τη φόρτιση ή την αποφόρτιση των μπαταριών αντίστοιχα.



Σχήμα 3.5 Αναπαράσταση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων με αποθήκευση

### 3.8 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το νόμο υπ' αριθμόν 3468/2006[46] στην Ελλάδα ως υβριδικός σταθμός ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που :

A) Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ.

B) Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο υβριδικός σταθμός από το δίκτυο κατά το προηγούμενο εδάφιο, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδο της στον σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο δίκτυο από τις μονάδες ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται για τα μη Διασυνδεδεμένα νησιά , σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται διαφορετική τεχνολογία από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται μια συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται σε ετήσια βάση , από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

Γ) Η μέγιστη ισχύς των μονάδων του σταθμού ΑΠΕ δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού , προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20 %.

Επίσης για την παραχώρηση άδειας παραγωγής για υβριδικούς σταθμούς ΑΠΕ επιγραμματικά αναφέρουμε κάποια κομμάτια του Άρθρου 6 του νόμου 3468/2006:

Οι αιτήσεις για χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υβριδικούς σταθμούς συνοδεύονται και από αναλυτική μελέτη στην οποία περιγράφονται ο τρόπος ένταξης και λειτουργίας των υβριδικών σταθμών στο ηλεκτρικό δίκτυο του μη διασυνδεδεμένου νησιού , σε ετήσια βάση , η υποχρέωση για εγγυημένη παροχή ισχύος και οι όροι και προϋποθέσεις λειτουργία τους. Ως εγγυημένη ισχύς νοείται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που υποχρεούται ο υβριδικός σταθμός να διαθέτει στο δίκτυο κατά συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Στις υποβαλλόμενες αιτήσεις περιλαμβάνεται και πρόταση τιμολόγησης της διαθεσιμότητας της ισχύος των μονάδων ελεγχόμενης παραγωγής του υβριδικού σταθμού , της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες αυτές, η οποία απορροφάται από το δίκτυο του διασυνδεδεμένου νησιού , καθώς και της ηλεκτρικής ενέργειας την οποία απορροφά ο σταθμός από το δίκτυο του μη διασυνδεδεμένου νησιού, καθώς και της ηλεκτρικής ενέργειας την οποία απορροφά ο σταθμός από το δίκτυο για την πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης του.



Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε), κατά την αξιολόγηση των υποβαλλόμενων αιτήσεων , λαμβάνει υπόψη της, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του υβριδικού σταθμού, σύμφωνα με την υποβαλλόμενη πρόταση, καθώς και τη μείωση σε ετήσια βάση λειτουργίας του αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος του μη διασυνδεδεμένου νησιού, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τις συμβατικές μονάδες , λόγω υποκατάστασης της από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ.

Τα τεχνικά και λοιπά στοιχεία τα οποία είναι αναγκαία για την εκπόνηση της μελέτης που προβλέπεται στην παράγραφο 1 καθορίζονται από την Ρ.Α.Ε για κάθε μη διασυνδεδεμένο νησί και γνωστοποιούνται από τον διαχειριστή του δικτύου των μη διασυνδεδεμένων νησιών , σε κάθε ενδιαφερόμενο για εγκατάσταση υβριδικού σταθμού.

Στην άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υβριδικούς σταθμούς περιγράφονται λεπτομερώς οι όροι της σύμβασης πώλησης, στον διαχειριστή μη διασυνδεδεμένων νησιών, της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον υβριδικό σταθμό, καθώς και οι όροι απορρόφησης από το δίκτυο , της αναγκαίας ηλεκτρικής ενέργειας. Στην άδεια αυτή καθορίζεται η περίοδος κατά την οποία ο σταθμός υποχρεούται να διαθέσει την εγγυημένη ισχύ του.

Ο κάτοχος άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμό ΑΠΕ εγκατεστημένο σε μη διασυνδεδεμένο νησί, υποχρεούται να πουλά την παραγόμενη ενέργεια μόνο στον διαχειριστή μη διασυνδεδεμένων νησιών , ο οποίος υποχρεούται εντός της προθεσμίας που ορίζεται στην άδεια παραγωγής να συνάπτει τις αναγκαίες συμβάσεις με το κάτοχο της άδειας , συμπεριλαμβανομένης της σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την χορήγηση της άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υβριδικούς σταθμούς που εγκαθίστανται στο σύστημα ή στο διασυνδεδεμένο δίκτυο , εφαρμόζεται αναλόγως η διαδικασία που προβλέπεται στα άρθρα 3,4 και 5

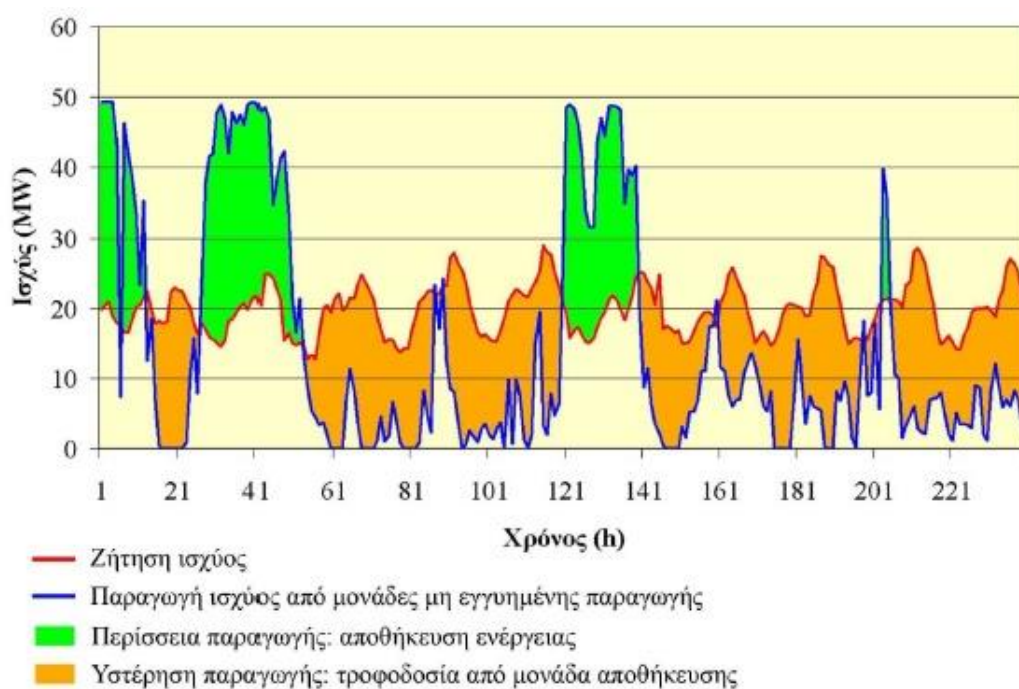
### 3.9 Διαστασιοδότηση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος

Σε τέτοιου είδους συστήματα, πολύ σημαντικό ρόλο έχει η διαστασιολόγηση τους, καθώς λόγω της έλλειψης μετεωρολογικών δεδομένων, η αξιολόγηση ειδικά του αιολικού δυναμικού είναι δύσκολη, αφού ο άνεμος επηρεάζεται από πολλαπλούς παράγοντες, όπως είναι η τοποθεσία, η μορφολογία του εδάφους, τα πιθανά εμπόδια και άλλοι τοπικοί παράγοντες. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, μπορεί η ζήτηση ενέργειας να είναι μικρότερη από την παραγόμενη.

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

Γενικά η διαδικασία διαστασιοδότησης διαιρείται σε τέσσερα θεμελιώδη βήματα:

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



Γράφημα 3.6 Γραφική απεικόνιση του αλγόριθμου λειτουργίας ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος (Σάμος)

### 3.10 Πλεονεκτήματα υβριδικών συστημάτων

Τα υβριδικά συστήματα εκμεταλλεύονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας και παρέχουν ενέργεια τέτοιας ποιότητας όπως αυτής του δικτύου, με ένα εύρος από 1kWμέχρι πολλές εκατοντάδες kW. Έτσι μπορούν να αναπτυχθούν σαν αυτόνομα συστήματα μέσα σε μικρά συστήματα διανομής ενέργειας (mini-grids) ή να ενταχθούν σε υπάρχουσες θερμικές μονάδες βασιζόμενες στο πετρέλαιο μετά από τις απαραίτητες επεμβάσεις στο υπάρχον σύστημα.

Τα υβριδικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε περιοχές όπου η σύνδεση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και η μεταφορά του καυσίμου θεωρούνται αντιοικονομικές επιλογές. Παρέχουν επίσης την δυνατότητα μελλοντικής σύνδεσης με το δίκτυο στις περιοχές που γίνεται η εγκατάσταση τους. Επιπλέον λόγω της υψηλής αποδοτικότητας τους και της αξιοπιστίας τους, τέτοιου τύπου συστήματα μπορούν να φανούν χρήσιμα σαν μια αποτελεσματική λύση παροχής ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ή ακόμη και σε εξειδικευμένους καταναλωτές, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και οι νοσοκομειακές μονάδες.

Τα υβριδικά συστήματα που παρέχουν τεχνολογία με καύσιμο λειτουργούν με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση, επειδή προβλέπεται παραγωγή ενέργειας από αυτό μόνο σε περιόδους υψηλής ζήτησης φορτίου ή χαμηλού ανανεώσιμου δυναμικού. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με μια αυτόνομη μονάδα συμβατικής τεχνολογίας μόνη της.

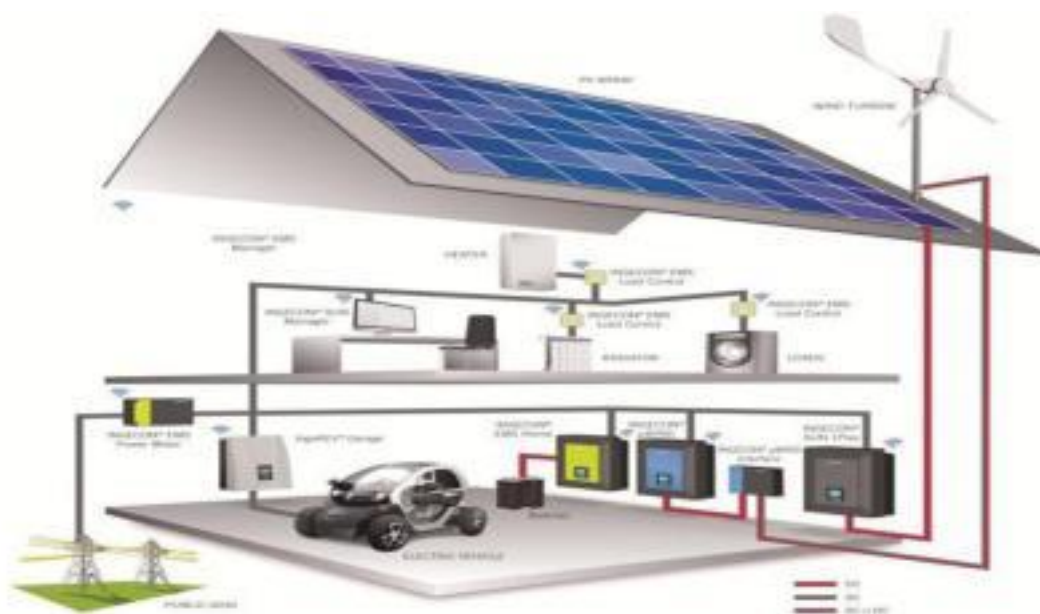
Σχετικά με τους παράγοντες που καθορίζουν το κόστος ηλεκτροδότησης μιας περιοχής είναι: η εγκατάσταση γραμμών μεταφοράς ενέργειας υψηλής και μέσης τάσης, η δημιουργία υποσταθμών, η δημιουργία δικτύου διανομής, το μέγεθος του φορτίου που πρέπει να καλυφθεί, η απόσταση του φορτίου από την υπάρχουσα γραμμή μεταφοράς και το είδος του εδάφους που πρέπει να διασχιστεί. Τα υβριδικά συστήματα συνήθως εφαρμόζονται σε αγροτικές περιοχές αποκομμένες από το δίκτυο. Επειδή οι περιοχές αυτές δεν παρουσιάζουν μεγάλο φορτίο και συνήθως βρίσκονται μακριά από το υπάρχον δίκτυο καθιστάτε αντιοικονομική η δημιουργία δικτύου για την ηλεκτροδότηση τέτοιων κοινοτήτων ακόμη και κατοικιών. Έτσι η παροχή ενέργειας από υβριδικά συστήματα, βασιζόμενα σε ΑΠΕ είναι πιο οικονομική σε αυτές τις περιπτώσεις και πιο φιλική προς το περιβάλλον. Η αύξηση της αξιοπιστίας αυτών των συστημάτων, οι ασήμαντες απώλειες μεταφοράς και η χρήση αειφόρων πηγών ενέργειας παίζουν σημαντικό ρόλο για να αποτελέσουν τα υβριδικά συστήματα την καλύτερη αποκεντρωμένη λύση.

Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να εγκαθίστανται είτε αποκλειστικά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε ως συστήματα υποστήριξης σε περιπτώσεις διακοπής του ηλεκτρικού δικτύου, είτε μπαίνουν σε λειτουργία τις ώρες αιχμής όταν η τιμή της kWh είναι υψηλή. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν μονάδες ΑΠΕ οι οποίες είτε διασυνδέονται

απευθείας στο δίκτυο, είτε αποθηκεύουν την ενέργεια τους σε μέσα αποθήκευσης ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Συνήθως οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή αυτή είναι η τιμή της παραγόμενης kWh από την κάθε μορφή ΑΠΕ και το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Τέτοια μικρής κλίμακας συστήματα χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια ευρέως στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ταχεία αύξηση της ζήτησης σε ισχύ προκαλεί συχνά προβλήματα αστάθειας δικτύου που μπορούν να οδηγήσουν μέχρι την κατάρρευσή του. Ακόμη η χρησιμοποίηση συμβατικών πηγών ενέργειας επιβαρύνει το περιβάλλον κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Η σημαντικότερη διαφορά του αυτόνομου σε σχέση με ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα είναι ότι πρέπει να μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που ζητείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή να κάνει αποκοπή φορτίου όταν αυτό δεν είναι εφικτό. Επιπλέον, πρέπει να έχει την ικανότητα ρύθμισης συχνότητας και παραγωγής άεργου ισχύος ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή από τις μονάδες ΑΠΕ του συστήματος ξεπερνά το φορτίο, η περίσσεια ενέργειας πρέπει να αποθηκευτεί ή και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο ώστε να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα. Τα αυτόνομα δίκτυα δεν έχουν άπειρο ζυγό, οπότε επηρεάζονται έντονα από την σύνδεση επιπρόσθετου φορτίου ή γεννήτριας. Για τους παραπάνω λόγους, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου.



Σχήμα 3.7 Υβριδικό σύστημα Φωτοβολταϊκών - Ανεμογεννήτριας

### 3.11 Εφαρμογές υβριδικών συστημάτων

Εφαρμογές υβριδικών συστημάτων

A) Υβριδικά συστήματα παραγωγής διασυνδεδεμένα με το δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα απαρτίζονται από τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι ότι διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα και ότι η τάση και η συχνότητα δεν επηρεάζονται από την παρουσία επιπρόσθετων γεννητριών ή φορτίων. Είναι δηλαδή δίκτυα άπειρου ζυγού.

Αν ένας υβριδικός σταθμός συνδεθεί σε ένα τέτοιο δίκτυο, τότε γίνεται λόγος για διασυνδεδεμένη παραγωγή. Δεδομένου ότι το κεντρικό δίκτυο έχει την ευθύνη για τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας, αλλά και για την παραγωγή έργου ισχύος, ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος απλοποιείται καθώς δεν απαιτούνται συστήματα ελέγχου. Όταν ζητείται περισσότερη ενέργεια απ' αυτήν που μπορεί να παράγει ο σταθμός, το έλλειμμα ενέργειας παρέχεται από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Παρομοίως, τυχούσα περίσσεια ενέργειας που παράγεται από το υβριδικό σύστημα μπορεί να απορροφηθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο, ωστόσο πρέπει να τονιστεί ότι τίθενται περιορισμοί σχετικά με τη συμμετοχή του υβριδικού σταθμού στη στιγμιαία παραγωγή ισχύος. Σε μερικές περιπτώσεις η παρουσία του υβριδικού σταθμού επηρεάζει την ικανότητα του κεντρικού δικτύου να διατηρεί σταθερή τάση και συχνότητα, οπότε γίνεται λόγος για ασθενές δίκτυο και συνήθως απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός και διατάξεις ελέγχου.

B) Αυτόνομα Υβριδικά Συστήματα (Μη Διασυνδεδεμένα)

Τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών που δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε δεν υπάρχει σύστημα μεταφοράς παρά μόνο σύστημα διανομής. Η μετατροπή ενός συμβατικού αυτόνομου σταθμού σε υβριδικό αποσκοπεί κατά κύριο λόγο στην ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμου και των ωρών λειτουργίας των συμβατικών γεννητριών.

Η σημαντικότερη διαφορά του αυτόνομου σε σχέση με ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα είναι ότι πρέπει να μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που ζητείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή να κάνει αποκοπή φορτίου όταν αυτό δεν είναι εφικτό. Επιπλέον, πρέπει να έχει την ικανότητα ρύθμισης συχνότητας και παραγωγής έργου ισχύος ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή από τις μονάδες ΑΠΕ του συστήματος ξεπερνά το φορτίο, η περίσσεια ενέργειας πρέπει να

αποθηκευτεί ή και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο ώστε να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα.

Τα αυτόνομα δίκτυα δεν έχουν άπειρο ζυγό, οπότε επηρεάζονται έντονα από τη σύνδεση επιπρόσθετου φορτίου ή γεννήτριας. Για τους παραπάνω λόγους, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου.

### **3.12 Τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού**

Υβριδικά συστήματα χωρίς δίκτυο διανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού, τα οποία μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, ή ακόμα και μεταβλητής τάσης και συχνότητας. Παραδείγματα τέτοιων φορτίων αποτελούν οι ηλεκτρικοί φάροι, ο φωτισμός της σήμανσης στους αυτοκινητόδρομους, η άντληση νερού, τα συστήματα ασφαλάτωσης καθώς και οι ηλεκτρικοί μύλοι. Μία εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θα μπορούσε να περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ σε συνδυασμό με μπαταρίες και ηλεκτρονικά ισχύος.

Σε αυτά τα συστήματα ο έλεγχος συχνότητας και τάσης καθώς και η διαχείριση της περίσσειας ισχύος δεν αποτελούν τις κύριες παραμέτρους σχεδίασης. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρησιμοποίησης και συμβατικής γεννήτριας που λειτουργεί όποτε η παραγωγή ΑΠΕ δεν επαρκεί, αλλά συνήθως δεν λειτουργεί παράλληλα με τις γεννήτριες ΑΠΕ

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Καλδέλλης Ι., 2005. *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*. 2η Έκδοση, Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλης
- [2] Φραγκιαδάκης, Ι., 2004. *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Εκδόσεις Ζήτη
- [3] Καγκαράκης Κ., 1992. *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- [4] Ηλεκτρονικά ισχύος, Στέφανος Μανιάς καθηγητής Ε.Μ.Π., Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2007
- [5] Εγχειρίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Κ.Α.Π.Ε., 2006
- [6] *Micropower System Modeling With Power( Chapter 15)* , Tom Lambert and Paul Gilman and Peter Lilienthal, 2006.
- [7] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) – <http://www.cres.gr>
- [8] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) <http://www.rae.gr/>
- [9] Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια <http://el.wikipedia.org>
- [10] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) <http://www.admie.gr/>
- [11] Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας - ΕΛΕΤΑΕΝ: <http://eletaen.gr/>
- [12] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) – <http://www.helapco.gr>