



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ: Σ.Τ.ΕΦ. / Π.Σ.Ε.
ΤΜΗΜΑ: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Θέμα : τεχνοοικονομική μελέτη υβριδικού
συστήματος στη Κρήτη**

Εισηγητής: Δρ Ι.Ε.ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ

Σπουδαστές : Μποτωνάκης Στυλιανός και Παπαδάκης Γεώργιος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- ΜΕ ΤΟΝ ΗΛΙΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ.....	5
- ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΠΟΛΙΤΕΣ.....	6
- Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ....	7
- ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΜΕΡΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ.....	12
- ΕΛΠΙΔΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ.....	17
- ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ ΚΑΙ ΟΧΙ ΜΟΝΟ ΤΩΝ ΑΠΕ.....	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Γενικά για την αιολική ενέργεια.....	20
1.2 Αξιολόγηση αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.....	20
1.2.1 Ταχύτητα ανέμου (Μεταβολή της ταχύτητας ανέμου με το ύψος - Μεταβλητότητα του ανέμου)- Ανεμολογικές μετρήσεις.....	20
1.2.2 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού. Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στην Κρήτη.....	22
1.3 Αιολική ενέργεια και ισχύς ανέμου.....	23
1.3.1 Μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική.....	24
1.3.2 Ο συντελεστής μέσης ισχύος ΑΓ.....	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Το ΦΒ σύστημα

2.1 Το ΦΒ φαινόμενο. Το ΦΒ στοιχείο.....	28
2.1.1 ΦΒ πλαίσιο – ΦΒ συστοιχία.....	29
2.1.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών (Σημείο λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου κάτω από διαφορετικές πυκνότητες ισχύος φωτός.).....	31
2.2 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές.....	32
2.2.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή.....	33
2.3 Τα ηλεκτρονικά των φωτοβολταϊκών.....	33
2.3.1 Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή.....	33
2.3.2 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC.....	35
2.3.3 Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή.....	36
2.3.4 Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη (DC – AC).....	37
2.3.5 Μετατροπέας εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές.....	38
2.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	38
2.4.1 Ηλεκτρική ενέργεια από ΦΒ συστοιχία - σύστημα	38
2.5 Αποδοτικότητα – Συντελεστής μέσης ισχύος.....	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1 Υβριδικό σύστημα για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της μονάδας.....	41
3.2 Μέθοδος προσδιορισμού της σύνθεσης υβριδικού συστήματος με ελαχιστοποίηση του κόστους του στη διάρκεια ζωής του συστήματος. Μέθοδος LCC (Life Cycle Cost Method).....	44
3.2.1 Αναλυτική παρουσίαση.....	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1 Επαλήθευση καμπύλης κατασκευαστή και υπολογισμός $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ και $\bar{\eta}_{ΦΒ}$	48
4.1.1 Περιγραφή πειράματος.....	48
4.1.2 Συλλογή και επεξεργασία τιμών ταχύτητας ανέμου.....	49
4.1.3 Συλλογή και επεξεργασία τιμών ρεύματος εξόδου ανεμογεννήτριας.....	50
4.1.4 Επεξεργασία δεδομένων για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής ισχύος-ταχύτητας ανέμου και αποτελέσματα	53
4.1.5 Συμπέρασμα.....	54
4.2 Υπολογισμός (έμμεσος και άμεσος) των $\bar{\eta}_{ΦΒ}$ και $\bar{\eta}_{ΑΓ}$	54
4.2.1 Υπολογισμός του $\bar{\eta}_{ΦΒ}$	55
4.2.2 Υπολογισμός του $\bar{\eta}_{ΑΓ}$	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Εφαρμογή.....	57
5.1.1 Υπολογισμός ελαχίστου κόστους κύκλου ζωής (μέθοδος LCC) για αυτόνομη κατοικία.....	57
5.1.2 Προσδιορισμός φορτίων.....	57
5.1.3 Υπολογισμοί	58
5.1.3.1. Αποτελέσματα αυτόνομης κατοικίας (Προφίλ Κρήτης).....	59
5.1.3.2. Αποτελέσματα αυτόνομης κατοικίας (υψηλοί άνεμοι τους χειμερινούς μήνες. Τυπικό προφίλ).....	61
5.1.4 Συμπέρασμα.....	62
Βιβλιογραφία.....	63

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ

Ευχαριστούμε θερμά, τον καθηγητή – εισηγητή μας για την υπομονή και επιμονή που έδειξε - σε χαλεπούς για εμάς καιρούς - κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας. Καθώς επίσης και για την αμέριστη επιστημονική υποστήριξη που μας παρείχε. Χωρίς την καθοδήγηση του και την παρότρυνση του, πιθανότατα να μην είχαμε την ευκαιρία να γράφουμε αυτήν εδώ τη παράγραφο. Επίσης δε ξεχνάμε να ευχαριστούμε, ανώνυμα, όσους συμφοιτητές μας και όχι μόνο, βοήθησαν με οποιοδήποτε τρόπο στην υλοποίηση αυτής της πτυχιακής. Επίσης δεν ξεχνάμε να ευχαριστήσουμε και τη Βλησίδη Νατάσσα, γραμματέα της σχολής μας, η οποία έκανε ότι ήταν δυνατό για να μπορέσουμε να τελειώσουμε αυτή τη πτυχιακή και να αποφοιτήσουμε. Η βοήθεια της, σε συνδυασμό με τη βοήθεια του εισηγητή μας Ι.Φραγκιαδάκη ήταν καταλυτική.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον ήλιο και τον άνεμο

“
«Με ποσοστό ανάπτυξης πάνω από 30% - που μόνο η Βιομηχανία ηλεκτρονικών υπολογιστών και ο τομέας των τηλεπικοινωνιών έχουν πετύχει - οι τεχνολογίες για την αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά (με τους ηλιακούς συλλέκτες να ακολουθούν) συνεχίζουν τη δυναμική παρουσία τους στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στην Ελλάδα -αν και μέλος της Ε.Ε.- μια χώρα όπου ο ήλιος και ο άνεμος είναι δύο βασικά ατού για την εκμετάλλευση (και ανάπτυξη) των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), το θέμα παραμένει, από αυτονόητο, ζητούμενο! Και τούτο παρά γεγονός ότι τον Σεπτέμβριο του 2001 τα όργανα της Ε.Ε. (Συμβούλιο και Κοινοβούλιο) ψήφισαν την οδηγία 77/200 I για τον ηλεκτρισμό που παράγεται από ΑΠΕ. Που σημαίνει, μεταξύ άλλων, ότι τα κράτη-μέλη πρέπει: Να ορίζουν εθνικούς στόχους

Παραγωγής για την επόμενη δεκαετία και ανά διετία να εξετάζουν την πορεία επίτευξης των στόχων. Επίσης, να δημιουργήσουν -εντός διετίας μηχανισμούς που να εγγυώνται την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας των ΑΠΕ.

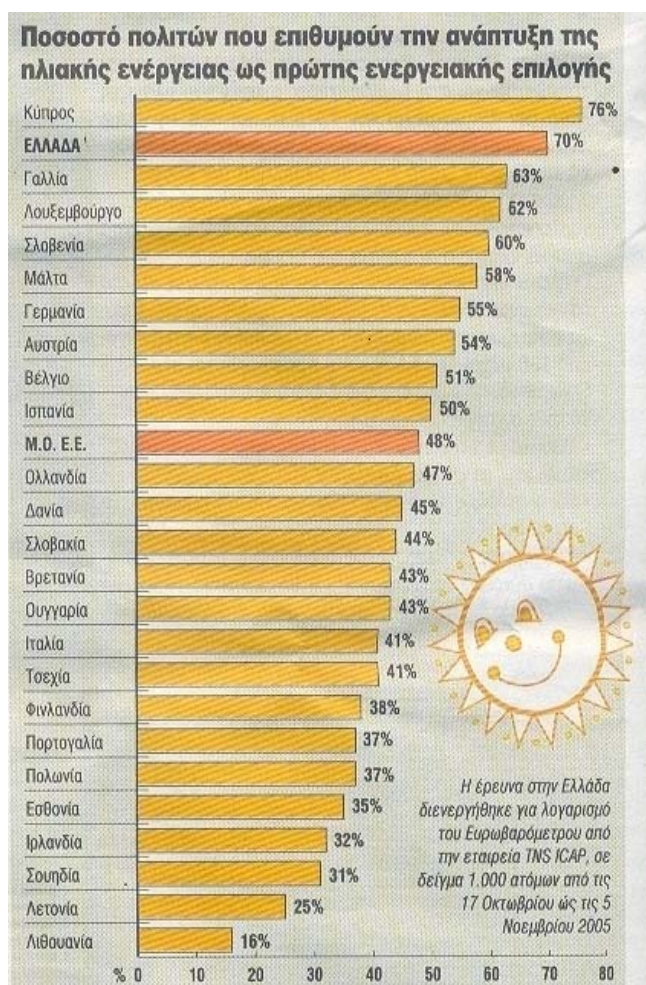
Να αξιολογούν το ισχύον πλαίσιο που διέπει τις διαδικασίες χορήγησης αδειών για εγκαταστάσεις ΑΠΕ και να προτείνουν μέτρα για τη βελτίωσή τους. (Η επιτροπή έχει τη δυνατότητα παρέμβασης αν εκτιμά ότι οι εθνικοί στόχοι δεν είναι συμβατοί με το συνολικό κοινοτικό στόχο.)

Στο πλαίσιο αυτής της πραγματικότητας, κυκλοφόρησε πέρυσι και το πρώτο σχέδιο νόμου για τις ΑΠΕ. Ήταν τέλος της Μεγάλης Εβδομάδας. Ήταν Πάσχα και έμοιαζε με θαύμα: πρώτη φορά σε ελληνικό νομοσχέδιο ετίθετο ο στόχος του 20, 1% για ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές -για το 2010(σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία). Παράλληλα, προωθούντο (αυτονόητες) ρυθμίσεις που χτυπούσαν τη γραφειοκρατία και απελευθέρωναν έτσι την αιολική και τις άλλες ΑΠΕ. Με τιμολογιακή πολιτική που αναγνώριζε και την ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά - ΦΒ). Όλα έδειχναν ότι είμαστε σε ένα σωστό δρόμο. Ένα δρόμο που ακολουθούν και πιστεύουν εκατομμύρια Ευρωπαίοι πολίτες αλλά και οι Έλληνες: όπως φαίνεται στο τελευταίο Ευρωβαρόμετρο, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια (70% και 44%, αντίστοιχα) έρχονται πρώτες στις προτιμήσεις μας, όσον αφορά τα ενεργειακά ζητήματα. Έπονται η θέσπιση μέτρων εξοικονόμησης για μείωση της κατανάλωσης του πετρελαίου (37%) και η έρευνα για νέες τεχνολογίες (π.χ. υδρογόνο) με 22%.» (NEA, 2/2006)

Από τα παραπάνω, εύκολα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ευρωπαϊκή ένωση, ασκεί πίεση προς τα κράτη μέλη της, για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι η Ελλάδα, όπως θα δούμε και παρακάτω κάνει ενέργειες, με νομοσχέδια που ψηφίζει, προς αυτή την κατεύθυνση. Και σε αυτό συμβάλλει το γεγονός, ότι στην Ελλάδα έχουμε κλιματολογικές συνθήκες τέτοιες, που ευνοούν τις ΑΠΕ με κύριες τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα αιολικά συστήματα.

Αποδοχή των ΑΠΕ από τους πολίτες

Σύμφωνα με γκάλοπ που διενεργήθηκε για λογαριασμό της ευρωπαϊκής ένωσης και δημοσιοποιήθηκε στο site http://ec.europa.eu/public_opinion/index_en.htm με τίτλο *attitude towards energy*, παρατηρούμε ότι οι πολίτες τις Ευρώπης, θεωρούν την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αναγκαία και είναι διατεθειμένοι να μάθουν γι αυτή καθώς και να . Μάλιστα ο μέσος όρος επιθυμίας των πολιτών για τη χρήση ηλιακής ενέργειας είναι 48 % (Γράφημα Ε1.), ενώ το ποσοστό για την αιολική φτάνει το 31%. Οι έλληνες στο γκάλοπ αυτό σε ποσοστό 70% δήλωσαν ότι επιθυμούν την ηλιακή ενέργεια ως πρώτη επιλογή ενώ το ποσοστό αυτό πέφτει στο 44% για την αιολική. Και τα δυο ποσοστά είναι αρκετά πάνω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, και μας δείχνει την ευαισθητοποίηση και την αυτογνωσία του έλληνα πολίτη ως προς τις ΑΠΕ.



Γράφημα Ε1. Στο γράφημα αυτό, βλέπουμε την επιθυμία των πολιτών σε κάθε χώρα, για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας από τις εκάστοτε κυβερνήσεις.

Η ιστορία της φωτοβολταϊκής και αιολικής τεχνολογίας

-Ηλιακή τεχνολογία

Η πρώτη αναφορά ενεργητικής χρήσης της ηλιακής ενέργειας αφορά τον Αρχιμήδη, ο οποίος το 212 π.Χ. χρησιμοποίησε «ηλιακά κάτοπτρα» για να καταστρέψει τον στόλο των Ρωμαίων στις Συρακούσες. Αν και το γεγονός αυτό αμφισβητείται ιστορικά, η φήμη του σηματοδοτεί την ιστορία της ηλιακής ενέργειας.

Το 1515, ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι σχεδίασε ένα παραβολικό ηλιακό κάτοπτρο για Βιομηχανική χρήση και συγκεκριμένα για βαφεία υφασμάτων. Το 1700, ο Αντουάν Λαβουαζιέ κατασκεύασε έναν ηλιακό φούρνο που ανέπτυξε θερμοκρασίες πάνω από 1.780 βαθμούς Κελσίου και μπορούσε να λιώσει την πλατίνα

Το 1767, ο Ελβετός Οράτιος ντε Σοσούρ ανακάλυψε τον πρώτο επίπεδο ηλιακό συλλέκτη. Σχεδόν είκοσι χρόνια μετά ο Βρετανός Τσαρλς Τέλιερ τον τελειοποίησε.

Το 1839, ο Γάλλος φυσικός Εντμόν Μπεκερέλ ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, κατά το οποίο ορισμένα υλικά παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν εκτεθούν στο φως του ηλίου.

Το 1866, ο Γάλλος μαθηματικός Αύγουστος Μουσού, με χρηματοδότηση από τον Ναπολέοντα τον Γ', κατασκεύασε μια μηχανή που μετέτρεπε την ηλιακή ακτινοβολία σε μηχανική ενέργεια. Το 1880, ο Αμερικανός Τζον Ερικσον σχεδίασε μια ηλιοθερμική μηχανή, μπροστά στην οποία η μηχανή του Μουσού «έμοιαζε με παιχνίδι», όπως συνήθιζε να λέει ο εφευρέτης.

Το 1954, τα εργαστήρια Bell κατασκεύασαν το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση 6%. Οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές είχαν πολύ υψηλό κόστος με σχετικά μικρή απόδοση της τάξης του 5-10 %.

Σήμερα οι αποδόσεις των ΦΒ στοιχείων από κρυσταλλικό πυρίτιο έχει ανέβει στα επίπεδα του 22 % για ΦΒ διαστημικών εφαρμογών ενώ για εμπορικές εφαρμογές 14-16%. Το κόστος τους κυμαίνεται περί τα 4,5 €/Wp για εγκαταστάσεις μέχρι ένα kWp. Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις το κόστος μειώνεται αρκετά. Πχ για ισχύς 50-100 kWp το κόστος πέφτει στο μισό σε σχέση με εγκαταστάσεις μικρής ισχύος.

Κατά τη δεκαετία του 1980, η τάση μείωσης του κόστους βιομηχανικής παραγωγής των ΦΒ στοιχείων, οδήγησε στη χρησιμοποίηση οικονομικότερων μεθόδων παρασκευής του ενεργού υλικού. Οι μέθοδοι αυτοί χαρακτηρίζονται από τη δημιουργία πολύ λεπτότερων στρωμάτων, κυρίως πυριτίου, σε επιμελημένα καθαρισμένη επιφάνεια, που επιτρέπει την πρόσφυση του αποτιθέμενου υλικού (άμορφο πυρίτιο, a-Si). Βασίζονται στη μεταφορά και εναπόθεση του υλικού, με τη μορφή ατόμων είτε από στερεό στόχο, με κρούσεις επαρκώς επιταχυνθέντων ιόντων πλάσματος, είτε από λειωμένο υλικό σε συνθήκες υψηλού κενού είτε κατά τη διάρκεια εκκένωσης αερίου ενώσεως του υποτιθέμενου στοιχείου, είτε με καταλυτική θερμική διάσπαση υδρογονούχων ενώσεων πυριτίου.

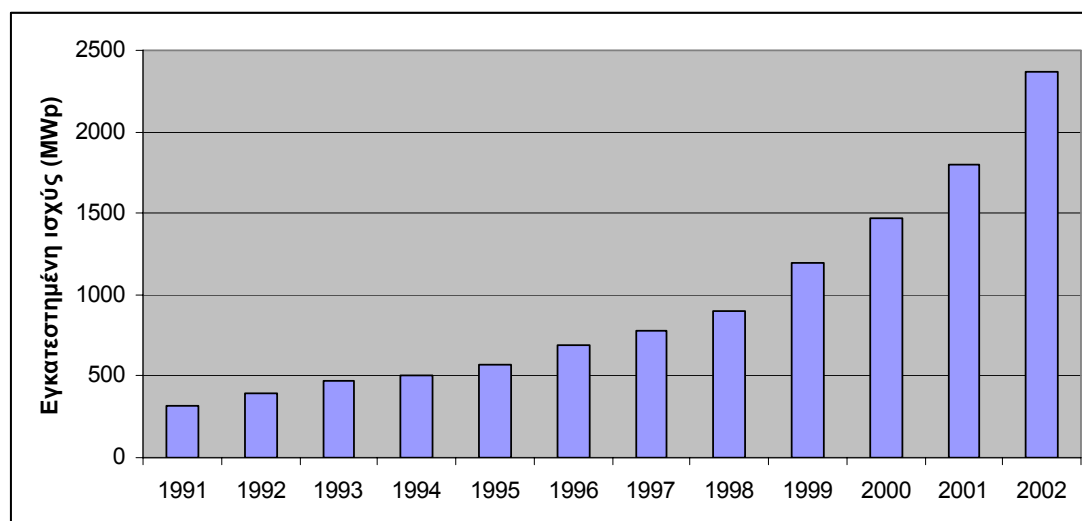
Οι προσπάθειες να μειώσουν το κόστος κατασκευής ενός ΦΒ στοιχείου οδήγησαν, τελικά, σε νέες διαφορετικές μεθόδους εναπόθεσης, με πολύ καλά αποτελέσματα.

Οι σύνδεση πολλών ΦΒ στοιχείων (33 με 36) σε σειρά, προκαλεί, όταν φωτίζεται, συνολική τάση ανοικτού κυκλώματος 17 – 22 V. Το πλήθος των ΦΒ στοιχείων επιλέγεται έτσι ώστε να ταιριάζει με την απαιτούμενη τάση φόρτισης ενός κοινού ηλεκτρικού συσσωρευτή μολύβδου-θεικού (PD/H₂SO₄) οξέος, ονομαστικής τάσης 12 V

Η φωτοβολταϊκή αυτή διάταξη ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο, και αποτελεί τη βασική μονάδα σύνθεσης μεγαλύτερων συστημάτων. Στο εμπόριο διατίθενται ΦΒ πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου, σε ευρεία περιοχή τιμών ισχύος αιχμής. Μικρές κατασκευές ΦΒ στοιχείων, μερικών W_p, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ηλεκτρική ισχύ. Σε εφαρμογές αυτόνομων η συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ, ΦΒ συστημάτων, χρησιμοποιούνται, συνήθως, ΦΒ πλαίσια ισχύος αιχμής από 30 έως 160 W_p.

Διείσδυση των φωτοβολταϊκών στη χώρα μας και διεθνώς.

η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς έφτασε από τα 313,5 MW_p το 1991 στα 2364 MW_p στο τέλος του 2002 (γράφημα E2.). Από αυτά τα 440 MW_p αφορούν την Ευρώπη, τα 215 της ΗΠΑ και τα 640 MW_p στην Ιαπωνία. Εξετάζοντας το γράφημα μπορούμε να δούμε τη ραγδαία αύξηση του. Η αύξηση από το 1991, που η εγκατεστημένη ισχύς ήταν ~313 MW_p έφτασε μέσα σε 10 χρόνια (2001) τα ~1700 MW_p, δηλαδή 5,5 φορές πάνω!!! Με βάση αυτών τον ρυθμό ανάπτυξης, αναμένεται η εγκατεστημένη ισχύς να ξεπεράσει τα 6 GWp το 2006.



Γράφημα E2. Ετήσια μεταβολή παγκοσμίως εγκατεστημένης ισχύς αιχμής ΦΒ (σε MW_p) στο χρονικό διάστημα από 1991-2002

Στη Ελλάδα τα πράγματα δεν πάνε πίσω. Η εγκατεστημένη ισχύς για το 2003 προσέγγιζαν τα 2 MW, ενώ είναι σε εξέλιξη άλλο 1 MW περίπου. Αυτά βρίσκονται διεσπαρμένα, κυρίως σε νησιωτικές περιοχές και ιδιαίτερα στη Κρήτη.

Αιολική τεχνολογία

Οι πρώτοι ανεμόμυλοι αναπτύχθηκαν για να αλέσουν σιτηρά και να αντλήσουν νερό. Οι πρώτοι γνωστοί ανεμόμυλοι κατακόρυφου άξονα εντοπίστηκαν στην Περσία το 500-900 μΧ. Οι Κινέζοι διεκδικούν επίσης την πατρότητα της τεχνολογίας αυτής, ισχυριζόμενοι ότι την κατέχουν εδώ και 2.000 χρόνια, αν και οι πρώτες επιβεβαιωμένες αναφορές αφορούν μόλις το 1219 μΧ.

Οι πιο γνωστές όμως εικόνες ανεμόμυλων είναι αυτές του οροπεδίου του Λασιθίου στην Κρήτη (όπου, αν και δεν είναι γνωστό, άρχισαν να αναπτύσσονται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα) και βέβαια οι γνωστοί ανεμόμυλοι της Ολλανδίας, σήμα κατατεθέν της χώρας αυτής, που άρχισαν να κατασκευάζονται γύρω στο 1390 και πήρε σχεδόν πέντε αιώνες για να τελειοποιηθούν.

Η πρώτη χρήση σχετικά μεγάλης ανεμογεννήτριας για παραγωγή ηλεκτρισμού έγινε στο Οχάιο των ΗΠΑ το 1888 από τον Τσαρλς Μπρους, ενώ η πρώτη σοβαρή Βιομηχανική παραγωγή ανεμογεννητριών ξεκίνησε στη Ρωσία το 1931. Τα χρόνια που ακολούθησαν την πρώτη ενεργειακή κρίση του 1973, η Καλιφόρνια υπήρξε πρωτοπόρος στην εγκατάσταση αιολικών πάρκων, για να ακολουθήσουν τα επόμενα χρόνια οι Δανοί, οι Γερμανοί και οι Ισπανοί, που σήμερα έχουν τη μερίδα του λέοντος στην αιολική Βιομηχανία.

Η Δανία ήταν και είναι μια πρωτοπόρος χώρα στον τομέα της χρήσης της αιολικής ενέργειας και αποτέλεσε το παράδειγμα για προώθηση ερευνητικών προγραμμάτων για πολύ μεγάλες μηχανές στη Γερμανία, τις ΗΠΑ, τη Σουηδία, τη Βρετανία, τον Καναδά. Το εθνικό εργαστήριο Risoe ήταν η Δανική απάντηση στο Los Alamos το εθνικό κέντρο δηλαδή για την πυρηνική ενέργεια.

Η Γερμανία είναι η κύρια παγκόσμια αγορά και η χώρα με τις μεγαλύτερες αιολικές εγκαταστάσεις. Σήμερα η Δανία φιλοξενεί το μεγαλύτερο παράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο με 20 ανεμογεννήτριες «Bopus» 2 MW με συνολική ισχύ 40 MW. Η Δανική ένωση αιολικής βιομηχανίας θεωρεί την παράκτια αιολική ενέργεια μια εξαιρετικά ελπιδοφόρο εφαρμογή της αιολικής ενέργειας, ιδιαίτερα στις χώρες με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού. Οι δαπάνες κατασκευής είναι πολύ υψηλότερες στη θάλασσα, αλλά η ενεργειακή παραγωγή είναι επίσης πολύ υψηλότερη.

Κάθε χώρα προσαρμόζει την αιολική τεχνολογία της ανάλογα και με τη γεωφυσική της θέση. Σήμερα η τεχνολογία αυτή έχει εξελιχθεί σχεδόν για να καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις εφαρμογών.

Ο θόρυβος της ανεμογεννήτριας και η γνώμη των πολιτών

Κάθε μηχανή, εκτός από έργο παράγει και θόρυβο. Και οι ανεμογεννήτριες σαν μηχανές, όταν λειτουργούν, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου, παράγουν θόρυβο. Αυτός προέρχεται τόσο από τα φτερά, τα οποία καθώς περιστρέφονται με αρκετά μεγάλη ταχύτητα παράγουν ένα συριγμό όσο και από το κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτό θα μπορούσε να λειτουργήσει αποτρεπτικά ως προς την εγκατάσταση τέτοιων μηχανών κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Ο θόρυβος είναι υποκειμενικό χαρακτηριστικό. Αυτό συμβαίνει επειδή κάτι το οποίο μπορεί να μην ενοχλεί κάποιον άνθρωπο, μπορεί να «τρελαίνει» έναν άλλο. Έτσι και με τον θόρυβο από τις ανεμογεννήτριες, κάποιους μπορεί να τους ενοχλεί ενώ άλλους, όχι. Οπότε πρέπει να υπάρχει κάποιος κριτήριο για το ποιος θόρυβος είναι επιτρεπτός και ποιος όχι. Ευτυχώς ο θόρυβος είναι μετρίσιμη μονάδα, σε σχέση πάντα με τους θορύβους του περιβάλλοντος. Ο θόρυβος μετριέται σε decibel και η μέση τιμή θορύβου σε ένα σπίτι είναι τα 50 dB

Δύο πράγματα πρέπει να γνωρίζουμε.: πρώτον ότι για να ακούσουμε το θόρυβο από την πηγή πρέπει να είναι 3 dB υψηλότερος από τον θόρυβο του περιβάλλοντος και δεύτερον ότι όσο απομακρυνόμαστε από τη πηγή θορύβου τόσο μειώνεται η στάθμη του.

Σύμφωνα με μελέτη του Mick Sagrillo οι οποία αναδημοσιεύεται στη ιστοσελίδα <http://www.awea.org/smallwind/toolbox/windzone/noise.htm> η μέση στάθμη θορύβου σε απόσταση 100 m για μια ανεμογεννήτρια είναι τα 55 dB όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Τιμή που πλησιάζει τη μέση επιτρεπτή τιμή θορύβου σε ένα σπίτι. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας E2) βλέπουμε για διάφορες πηγές τη μέση στάθμη θορύβου. Συγκρινόμενες πάντα με τη μέση τιμή για το σπίτι, παρατηρούμε ότι πηγές θορύβου πολύ κοινές στο ανθρώπινο αυτί έχουν υψηλότερη στάθμη από την ανεμογεννήτρια. Βέβαια διαφέρει η απόσταση μεταξύ της πηγής και του οργάνου μέτρησης. Αυτό είναι λογικό αν σκεφτεί κανείς την απόσταση που έχουμε από κάθε πηγή θορύβου.

πηγή	m	SPL
όριο πόνου		140
σειρήνα πλοίου	30	130
κινητήρας αεροσκάφους	61	120
κομπρεσέρ		100
Εσωτερικό αυτοκινήτου		80
ηλεκτρική σκούπα	3	70
αυτοκινητόδρομος	30	70
ανεμογεννήτρια 10 kW	37	57
ανεμογεννήτρια 10 kW	100	55
άνεμος στα δέντρα	12	55
ελαφριά κίνηση	30	50
σπίτι		50
ψίθυρος		30

Πίνακας E2. Μέση στάθμη θορύβου για διάφορες πηγές

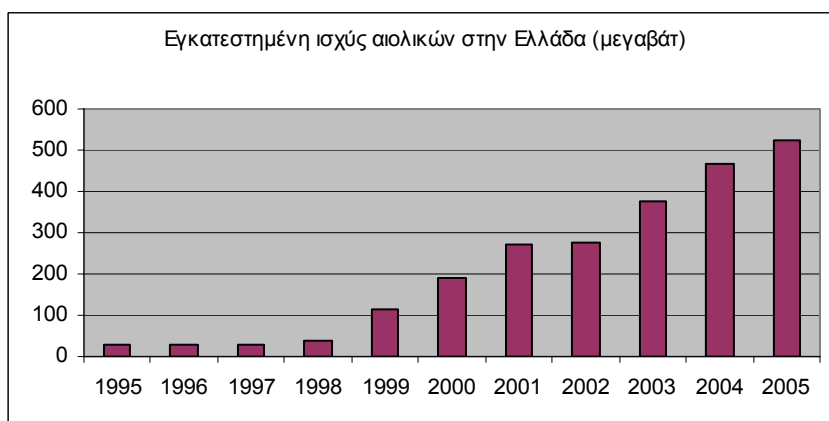
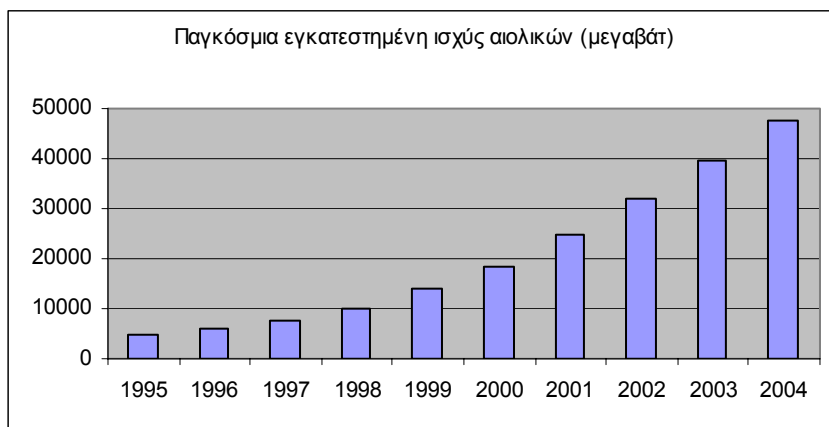
Συνεπώς ο θόρυβος που παράγει η ανεμογεννήτρια είναι ενοχλητικός μόνο αν είσαι κοντά σε μια τέτοια μηχανή, πράγμα που συμβαίνει σπάνια για έναν μέσο άνθρωπο καθώς επίσης, λόγω το ότι δεν έχει γίνει ακόμα, κοινή πηγή θορύβου για το αυτί του μέσου ανθρώπου, όπως άλλες πηγές, που παρότι έχουν υψηλή στάθμη, λόγω συνήθειας δεν ενοχλούν.

Διείδυση ανεμογεννητριών διεθνώς και στη χώρα μας.

Η διείδυση των ανεμογεννητριών, τόσο στο παγκόσμιο σκηνικό όσο και στον ελλαδικό χώρο παρουσιάζει εξίσου, αν όχι και μεγαλύτερη ανάπτυξη από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι ενώ το 1995 (Γράφημα 3) ήταν περίπου 5 GW_p, το 2004 είχαμε μια άυξηση – εκπληκτική- περίπου 43 GW_p, έφτασε δηλαδή η συνολικά παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς, τα 48 GW_p περίπου. Βλέπουμε λοιπόν ότι μέσα σε 10 χρόνια, η συνολικά η εγκατεστημένη ισχύς, δεκαπλασιάστηκε.

Στη χώρα μας η αύξηση, ήταν εξίσου εντυπωσιακή. Παρόλα και παρότι έχουμε αρκετά καλό αιολικό δυναμικό σε αρκετες περιοχές, η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Από το 1995, (Γράφημα 4) όπου η εγκατεστημένη ισχύς έφτανε τα 20-30 MW_p μέχρι και το 1998 παρέμενε, περίπου στάσιμη, από το 1999 όμως και μετά, μέχρι και το 2005 είχαμε μια αύξηση τη τάξης των 500 MW_p περίπου σε σχέση με το 1995. 20 φορές πάνω σε σχέση με 10 χρόνια πριν.

Τα περισσότερα από αυτά τα αιολικά, είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ είναι εγκατεστημένα από άλλους φορείς, κυρίως από τη τοπική αυτοδιοίκηση και ιδιώτες.



Γράφημα 3-4. Η διεξόδυση των ανεμογεννητριών στην Ελλάδα και στον διεθνή χώρο απ το 1995 μέχρι τις μέρες μας.

Η παραγωγή ενέργειας σήμερα και στο μέλλον

Το γεγονός ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας έχουν εκπληρώσει την υπόσχεσή της παραγωγής φθηνής και άφθονης ενέργειας έχει συγκαλύψει την απλή πραγματικότητα ότι τα ορυκτά καύσιμα είναι πεπερασμένα. Οι ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας επιδοκιμάζονται κυρίως ως «καθαρές», ενώ το επιχείρημα ότι είναι ανεξάντλητες και δεν χρησιμοποιούν καύσιμο συνήθως παραβλέπεται.

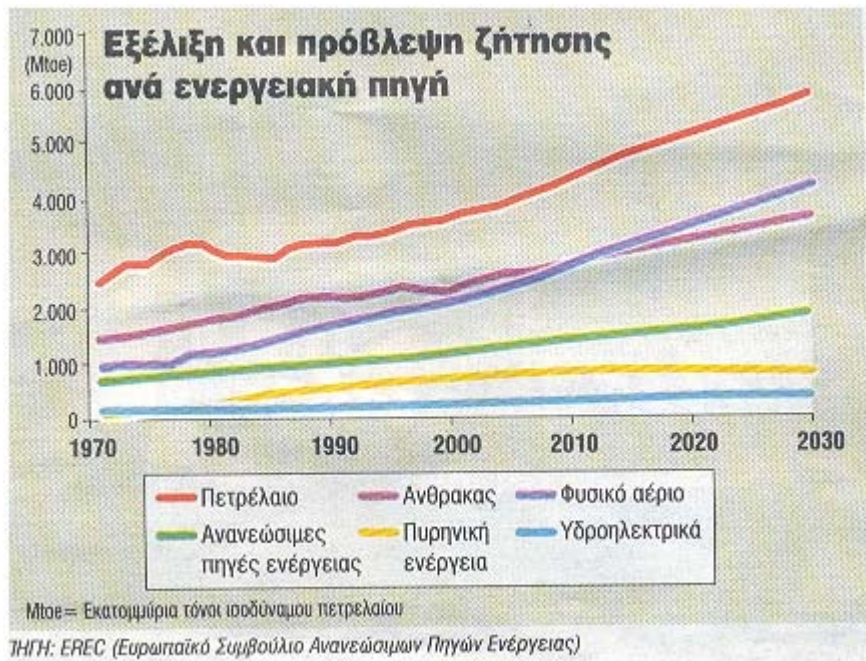
Από την άλλη, η ανησυχία για την επάρκεια των ενεργειακών πηγών έχει ενισχυθεί τελευταία και λόγω των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών τιμών. Την τελευταία τετραετία οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου έχουν υπερτριπλασιασθεί, ενώ οι τιμές του άνθρακα έχουν υπερδιπλασιασθεί, όπως φαίνεται στον πίνακα που παρατίθεται. Για παράδειγμα το 2002 η τιμή του πετρελαίου ανά βαρέλι άγγιζε τα 31 δολάρια ενώ το 2006 πλησίαζε ακόμα και τα 80 δολάρια ανά βαρέλι. Περίπου 2,5 φορές πάνω μέσα σε 4 χρόνια. Αυτό φαίνεται παραστατικά από το επόμενο γράφημα (Γράφημα Ε5).



Γράφημα Ε5. εξέλιξη τιμών καυσίμου στη τετραετία 2002-2006

Ενεργειακή ζήτηση

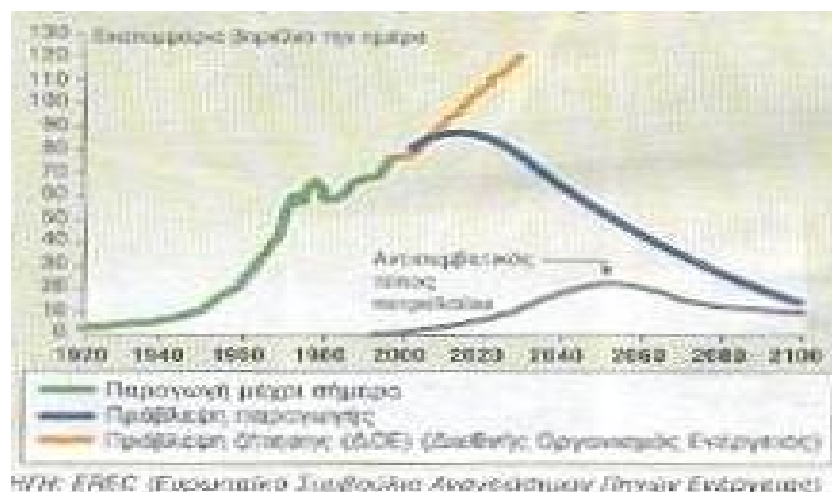
Σύμφωνα με τις τελευταίες προβλέψεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (ΔΟΕ-IEA), η παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση ενέργειας θα αυξηθεί κατά 60% περίπου (Γράφημα Ε6.) μέχρι το 2030 και τα 2/3 αυτής της αύξησης θα προέλθουν από τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με τις ίδιες εκτιμήσεις, θα διπλασιαστεί την ίδια περίοδο. Προβλέπεται ότι η χρήση των ορυκτών καυσίμων θα αυξηθεί με υψηλούς ρυθμούς και θα συνεχίσουν να αποτελούν το 80% του ενεργειακού μείγματος το 2030, όπως και σήμερα. Οι ΑΠΕ, σύμφωνα με τις ίδιες εκτιμήσεις, θα είναι οι πηγές που θα αυξηθούν με τους μεγαλύτερους ρυθμούς, αλλά θα συνεχίσουν να παίζουν έναν δευτερεύοντα ρόλο στο μελλοντικό ενεργειακό μείγμα. Είναι όμως τα ορυκτά καύσιμα ικανά να τροφοδοτήσουν μια τέτοια εντυπωσιακή αύξηση;



Γράφημα Ε6. Εξέλιξη ζήτησης (1970-2006) και πρόβλεψη ζήτησης (2006-2030) για κύριες ενεργειακές πηγές.

Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο είναι η υπ' αριθμόν μία ενεργειακή πηγή, καλύπτοντας το 35% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών και το μοναδικό σχεδόν καύσιμο που χρησιμοποιείται στις μεταφορές. Το 2005 η παραγωγή του ήταν κατά μέσον όρο 83,5 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα και ο ΔΟΕ προβλέπει ότι θα φθάσει τα 120 εκ.β./ημέρα το 2030.



Γράφημα Ε7. Πρόβλεψη κατανάλωσης πετρελαίου σε σύγκριση με τη προβλεπόμενη ζήτηση (ΔΟΕ).

Με βάση όμως τα πιο πρόσφατα στοιχεία που υπάρχουν, τα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου παγκοσμίως ανέρχονται σε 1186δισ. βαρέλια. Ποέπει ωστόσο να τονίσουμε την ασάφεια των αριθμών που αφορούν τα αποθέματα, οι οποίοι βασίζονται στις τιμές που δίνουν από τη μια μεριά οι πετρελαιοπαραγωγικές χώρες και από την άλλη οι μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες οι οποίες κατέχουν σημαντικό μέρος αυτών των αποθεμάτων. Οι τιμές δίνονται με βάση δήλωσή τους και δεν μπορούν να ελεγχθούν από κανέναν. Έτσι οι επίσημες τιμές των αποθεμάτων του Κουβέιτ Π.χ. έχουν μείνει οι ίδιες (94 δισ. βαρέλια) από το 1991 μέχρι σήμερα, αν και η χώρα αυτή έχει παραγάγει 9 δισ. βαρέλια αυτήν την περίοδο, χωρίς να έχει ανακοινώσει νέες ανακαλύψεις αποθεμάτων.

Παρόμοια κατάσταση ισχύει με όλες τις χώρες της Μέσης Ανατολής. Η Shell πριν από λίγο καιρό, κατά τη διάρκεια των γνωστών προβλημάτων της, μείωσε τις τιμές των αποθεμάτων της.

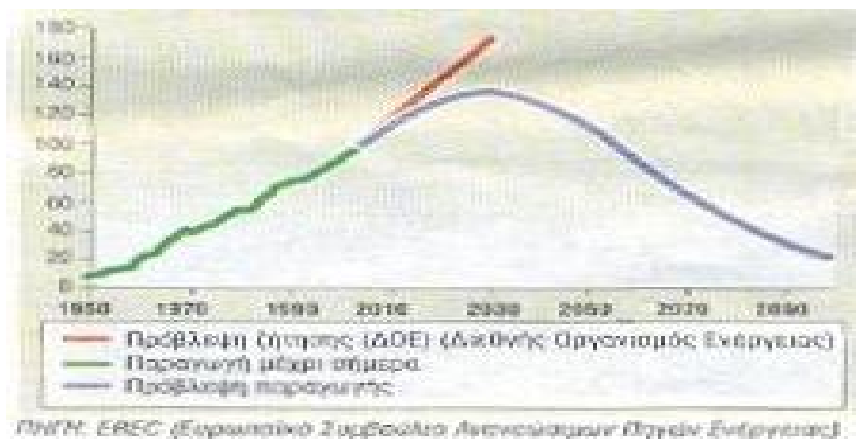
Για να εκτιμήσει κανείς πόσο θα διαρκέσει το πετρέλαιο, πρέπει να προβλέψει πώς θα διαμορφωθεί η κατανάλωση τις επόμενες δεκαετίες και ποιες θα είναι οι τάσεις ανακάλυψης καινούργιων αποθεμάτων. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (ΔΟΕ-IEA) σε πρόσφατη έκδοσή του με προβλέψεις για το ενεργειακό μέλλον (World Energy outlook 2005) εκτιμά ότι η κατανάλωση πετρελαίου θα αυξάνεται κατά μέσον όρο 1,6% το χρόνο και ότι τα τελικά αποθέματα πετρελαίου (νέες ανακαλύψεις, νέες τεχνολογίες εξόρυξης κλπ.) θα είναι της τάξης των 2.600 δισ. βαρελιών, υπερδιπλάσια δηλαδή των σημερινών γνωστών αποθεμάτων. Άλλοι εκτιμούν τα τελικά αποθέματα μεταξύ των 1.800 και 2.000 δισ. βαρελιών. Η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα φθάσει σε ένα μέγιστο μέσα στις επόμενες δεκαετίες και στη συνέχεια θα μειώνεται λόγω της εξάντλησης των αποθεμάτων. Το μεγάλο ερώτημα δεν είναι πόσα χρόνια θα διαρκέσει το πετρέλαιο, αλλά πότε θα φθάσει στη μέγιστη δυνατότητα παραγωγής. Υπάρχουν διάφορες εκτιμήσεις που τοποθετούν την παραγωγή πετρελαίου να φθάνει στο μέγιστο της σε ένα διάστημα μεταξύ 10 και 30 χρόνων. Με βάση τις εκτιμήσεις και τους υπολογισμούς αξιόπιστων αναλυτών – ερευνητών (J.Laherrere, C.Cambell, K.Chew κλπ.) η προβλεπόμενη παραγωγή πετρελαίου θα φθάσει σε ένα μέγιστο γύρω στο 2015 με τιμή λίγο μικρότερη από 90 εκ. β./ημέρα. Η σύγκριση με την προβλεπόμενη ζήτηση πετρελαίου από τον ΔΟΕ δείχνει ένα χάσμα μεταξύ προσφοράς και ζήτησης που αρχίζει να γίνεται αισθητό στο τέλος της παρούσας δεκαετίας και αυξάνεται συνεχώς φθάνοντας στα 45 εκ. β./ημέρα το 2030. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί με 5 φορές την παρούσα παραγωγή της Σαουδικής Αραβίας.

Άρα το θεμελιώδες καύσιμο πάνω στο οποίο στηρίζεται όλη η οικονομία θα έρθει σε ένα ορατό χρονικό διάστημα (που μπορεί να είναι και πολύ σύντομα) στην τελική πτωτική του φάση.

Φυσικό αέριο

Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών το φυσικό αέριο ήταν η γρηγορότερα αυξανόμενη ενεργειακή ορυκτή πηγή, με ιδιαίτερη συμμετοχή στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο ΔΟΕ προβλέπει ότι θα υπερβεί την κατανάλωση άνθρακα το 2010 και θα καλύψει το 1/4 των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών το 2030 (Γράφημα Ε8).

Λόγω των γεωλογικών ομοιοτήτων, το φυσικό αέριο ακολουθεί την ίδια δυναμική ελάττωσης των αποθεμάτων όπως το πετρέλαιο και κατά συνέπεια παρόμοιους κύκλους ανακάλυψης και παραγωγής. Τα αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου υπολογίζονται σε 10.000 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια των οποίων έχουν ήδη ανακαλυφθεί. Με συμβατικές πηγές υπολογίζουν να παρέχουν επιπλέον 2.5000 τρις.κ.πόδια. Συνολικά οι εκτιμώμενοι πόροι του φυσικού αερίου είναι ισοδύναμοι με 2.230 δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου. Η παραγωγή φυσικού αερίου με βάση αυτά τα δεδομένα θα φθάσει το μέγιστό της γύρω στο 2030 σε μια τιμή γύρω από τα 140 τρις. κ. πόδια το χρόνο. Όμως, όπως στην περίπτωση του πετρελαίου έτσι και στην περίπτωση του φυσικού αερίου, με βάση τις προβλέψεις του ΔΟΕ, αρχίζοντας από το 2010 περίπου, θα υπάρξει ένα αυξανόμενο χάσμα μεταξύ παραγωγής και ζήτησης.



Γράφημα Ε8. Πρόβλεψη παραγωγής φυσικού αερίου σε σύγκριση με τη προβλεπόμενη ζήτηση (ΔΟΕ).

Συνέπειες

Η αναμενόμενη ζήτηση σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο δεν μπορεί να καλυφθεί από τους υπάρχοντες πόρους. Το χάσμα μεταξύ προσφοράς και ζήτησης πετρελαίου και φυσικού αερίου γίνεται προφανές μετά το 2010. Το χάσμα αυτό θα αντιπροσωπεύει το 10% της πρωτογενούς ζήτησης ενέργειας το 2020 και το 18% το 2030. Ως συνέπεια, οι ενεργειακές τιμές θα συνεχίσουν να αυξάνουν και εκ των πραγμάτων θα δημιουργηθεί ένα διαφορετικό ενεργειακό μείγμα. Οι ενεργειακές πηγές που καλούνται να καλύψουν αυτό το χάσμα είναι ο άνθρακας, η πυρηνική ενέργεια και οι ΑΠΕ. Ο άνθρακας παρουσιάζει ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα (εκπομπές CO₂) και παρά τις προσπάθειες που γίνονται για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση του (τεχνολογίες «καθαρού» άνθρακα), θα είναι δύσκολα περιβαλλοντικά αποδεκτό να αυξηθεί σημαντικά η χρήση του.

Υπό την απειλή των τεράστιων και μακροχρόνιων συνεπειών από τα ενδεχόμενα ατυχήματα ή τη μη ασφαλή διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων, οι περισσότερες από τις ανεπτυγμένες κοινωνίες έχουν διαμορφώσει επιφυλακτική ή αρνητική στάση απέναντι στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας.

Το αδιέξοδο είναι προφανές αν αναλογιστεί κανείς τις ενδεχόμενες προοπτικές των λιγότερο αναπτυγμένων χωρών. Η εξακολούθηση ή επιδείνωση της σημερινής κατάστασης της πλειοψηφίας του παγκόσμιου πληθυσμού, θα οδηγήσει είτε σε οδυνηρές πολεμικές συγκρούσεις είτε σε τεράστια μεταναστευτικά ρεύματα, με ότι αυτό συνεπάγεται το κάθε «σενάριο».

Οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν σε παγκόσμιο αλλά και σε εθνικό επίπεδο πρέπει να κινούνται σε τρεις άξονες.

1. Αποφυγή σπατάλης

Στον τομέα της ζήτησης της ενέργειας, η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί ένα ιδιόμορφο αλλά πλούσιο «κοίτασμα» ενέργειας, τεχνικά και οικονομικά αξιοποιήσιμο. Ωστόσο, η αναμενόμενη μείωση της ζήτησης είναι μακροπρόθεσμα πεπερασμένη, λόγω περιορισμών είτε οικονομικών (εκθετική αύξηση του οριακού κόστους) είτε επιστημονικών (αδυναμία υπέρβασης των νόμων της επιστήμης).

2. Ορθολογική χρήση των συμβατικών καυσίμων

Το φυσικό αέριο θα παίξει ένα εξέχοντα ρόλο στη μεταβατική περίοδο των επομένων δεκαετιών. Κι αυτό όμως με τη σειρά του θα ακολουθήσει την πορεία του πετρελαίου. Από την άλλη μεριά, η διαχείριση των συστημάτων προσφοράς που στηρίζονται στα συμβατικά καύσιμα, μπορεί να δώσει μεσοπρόθεσμες απαντήσεις στα προβλήματα ασφαλείας, αποδοτικότητας, ευελιξίας και ευστάθειας των ενεργειακών συστημάτων. Μακροπρόθεσμα, όμως, τα ίδια προβλήματα τίθενται με πολύ διαφορετικούς όρους και δεν προσφέρονται απαντήσεις σε άλλα, όπως π.χ. το πρόβλημα των αποθεμάτων ή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που οξύνονται με δραματικό τρόπο.

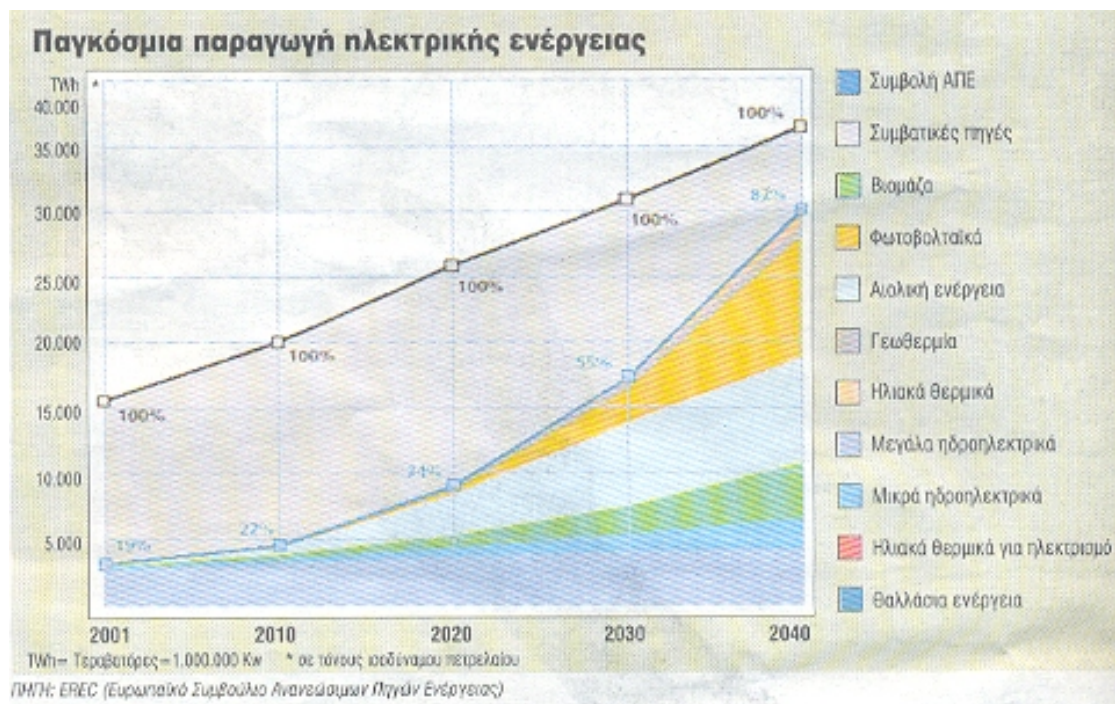
3. Στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ΑΠΕ δεν είναι «αναγκαίο κακό» για περιβαλλοντικούς λόγους. Μεγάλη διασπορά στο χώρο, ανεξάντλητα συνολικά αποθέματα, αμελητέες επιπτώσεις στο περιβάλλον, μικρά μεγέθη και ευέλικτη διαχείριση, αύξηση απασχόλησης κ.λ.π. είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που τις καθιστούν συστατικό στοιχείο μιας νέας αναπτυξιακής πολιτικής, τη μόνη μακροπρόθεσμη απάντηση στην πορεία για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Ελπίδα για το μέλλον

Το πραγματικό λοιπόν ερώτημα είναι: οι ΑΠΕ, οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον, μπορούν να στηρίξουν μια συνολική, συγκροτημένη και αξιόπιστη πρόταση ικανή να αποτελέσει μακροπρόθεσμα τη βάση ενός νέου ενεργειακού μείγματος;

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (European Renewable Energy Council) δημοσίευσε πέρσι ένα σενάριο για τη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μέχρι το 2040. Το σενάριο βασίζεται σε ορισμένες υποθέσεις και προϋποθέσεις: εθνικές και διεθνείς πολιτικές στήριξης των ΑΠΕ, υψηλότερες τιμές των ορυκτών καυσίμων στις επόμενες δεκαετίες, εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο και επιπλέον μέτρα για το κλίμα για τη μετά το 2012 εποχή, μικρότεροι ρυθμοί αύξησης της κατανάλωσης με την εφαρμογή πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας. Στον γράφημα (Γράφημα Ε9.) που παρατίθεται παρουσιάζονται ορισμένες προβλέψεις του σεναρίου, όπου φαίνεται η δυνατότητα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας να αυξήσουν τη διείσδυσή τους στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας κατά 10% μέχρι το 2020 (από 13,6% το 2001 σε 23,1% το 2020) και σε 21% μέχρι το 2030 (από 13,6% το 2001 σε 34,7% το 2030) καλύπτοντας με αυτό τον τρόπο το χάσμα που αναφέρθηκε πιο πάνω. Ο ρόλος τους στην ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να είναι ακόμη πιο σημαντικός, καλύπτοντας το 55% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 και φθάνοντας το 82% το 2040.



Γράφημα Ε9. Παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κύριες πηγές καθώς και πρόβλεψη παραγωγής μέχρι το 2040.

Προβλήματα χωροταξικά - και όχι μόνον - των ΑΠΕ

Δύο είναι τα βασικά νέα δεδομένα και οι εξελίξεις που διαμορφώνουν μια δυσμενή κατάσταση στον χώρο των ΑΠΕ στην Ελλάδα, όσον αφορά το θεσμικό και αδειοδοτικό πλαίσιο και τις προοπτικές των σχετικών επενδυτικών προσπαθειών:

Α. Η έκδοση της απόφασης 2569/22.09.2004 του συμβουλίου της επικράτειας, με την οποία ακυρώθηκε η έγκριση περιβαλλοντικών όρων και η άδεια εγκατάστασης αιολικού πάρκου, με βασικό σκεπτικό την απουσία χωροταξικού σχεδιασμού για τις ΑΠΕ σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο.

Β. Η απενεργοποίηση στην πράξη των διατάξεων της ΚΥΑ 1726/03 για την απλοποίηση των αδειοδοτικών διαδικασιών έργων ΑΠΕ.

Το πρώτο ζήτημα, αυτό δηλαδή της έλλειψης χωροταξικού σχεδιασμού έργων ΑΠΕ, τίθεται πιεστικά πλέον μετά την έκδοση της απόφασης 2569/2004 του ΣτΕ. Με την απόφαση αυτή, που αφορά ειδικότερα περιοχές με μεγάλο αριθμό αδειών ή αιτήσεων αδειών παραγωγής για αιολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, τίθεται ο κανόνας ότι δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση αιολικών πάρκων χωρίς προηγούμενο ευρύτερο χωροταξικό σχεδιασμό για τη συγκεκριμένη δραστηριότητα.

Ο ν.2742/1999, ο οποίος ρυθμίζει σήμερα το στρατηγικό χωροταξικό σχεδιασμό στην Ελλάδα, προβλέπει τρία είδη χωροταξικών σχεδίων (τα οποία ονομάζει «πλαίσια»), το Γενικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (Γ.Π.), τα Ειδικά Πλαίσια Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (Ε.Π.) και τα Περιφερειακά Πλαίσια Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (Π.Π.). Πρέπει να σημειωθεί ότι από τις διατυπώσεις του ν. 2742/1999 δεν προκύπτει σαφώς ποια από τις τρεις αυτές μορφές πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση των ΑΠΕ. Η επιλογή από το ΥΠΕΧΩΔΕ του Ε.Π.(Ειδικού πλαισίου ΧΣΑΑ) ως εργαλείου του χωροταξικού σχεδιασμού των ΑΠΕ παρουσιάζει, όντως, μια σειρά από συγκριτικά πλεονεκτήματα.

Όσον αφορά το δεύτερο ζήτημα, σχετικά με την αδειοδοτική διαδικασία των έργων ΑΠΕ, είναι γεγονός ότι πρόκειται για μια πολύπλοκη, χρονοβόρα, δαπανηρή, μη αντικειμενικοποιημένη και –εν πολλοίς- αδιαφανή διαδικασία, στην οποία υπάρχει εμπλοκή και συνέργια πολλών ενδιάμεσων φορέων γνωμοδότησης, χωρίς όμως να υπάρχει κανένας συντονισμός και κοινή κατεύθυνση (κοινή οπτική) μεταξύ τους.

Χωρίς αμφιβολία, τα δύο βασικότερα προβλήματα (εν πολλοίς, ανυπέρβλητα εμπόδια) στην όλη αδειοδοτική διαδικασία των έργων ΑΠΕ είναι αφενός η πολυδιάσπαση και πολυπλοκότητα της διαδικασίας αυτής, αφετέρου ο έντονα υποκειμενικός χαρακτήρας αξιολόγησης των αιτήσεων αδειοδότησης.

Η έκδοση της ΚΥΑ 1726/08.05.2003 αποτέλεσε την πρώτη συγκροτημένη προσπάθεια της πολιτείας για την ορθολογικοποίηση και απλοποίηση της δαιδαλώδους και ατέρμονης αδειοδοτικής διαδικασίας των έργων ΑΠΕ.

Τρία χρόνια μετά την έκδοση της, τα αποτελέσματα της ΚΥΑ 1726 επί της αδειοδοτικής διαδικασίας των έργων ΑΠΕ είναι πενιχρά, αφενός γιατί αρκετοί γνωμοδοτούντες ή αδειοδοτούντες δημόσιοι φορείς δεν εφαρμόζουν (!) στην πράξη βασικές ρυθμίσεις της, αφετέρου γιατί οι διατάξεις της με τις οποίες καθορίζονται χρονικά συντομευμένες, δεσμευτικές και αποκλειστικές προθεσμίες για τις γνωμοδοτήσεις και αδειοδοτήσεις των έργων ΑΠΕ, κρίθηκε ότι απαιτούν ειδική νομοθετική εξουσιοδότηση(δηλαδή διάταξη νόμου).

Γ. Ο κορεσμός της μεταφορικής ικανότητας των υφιστάμενων ηλεκτρικών δικτύων μεταφοράς, τα οποία αδυνατούν πλέον να απορροφήσουν την ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από νέους σταθμούς ΑΠΕ σε περιοχές με υψηλό δυναμικό, όπως είναι η νότια Εύβοια, η Λακωνία, οι Κυκλάδες και η Θράκη, και η παντελής έλλειψη δημόσιας ενημέρωσης επιτείνουν την ήδη δυσμενή κατάσταση.

Πρόσφατα βγήκε νέο νομοσχέδιο για τις ΑΠΕ, το οποίο έχει αρκετές βελτιώσεις ως προς τα προηγούμενα. Το σχέδιο νόμου δίνει βάρος στα **φωτοβολταϊκά πάρκα**, θέτοντας ως στόχο ως το 2020 η ισχύς των συστημάτων αυτών να ανέρχεται σε 500 MW, όταν στο τέλος του 2005 δεν ξεπερνούσαν τα 5,44 MW. Θέτει επίσης τον **πολύ φιλόδοξο στόχο** η συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ από μόλις 3% που είναι σήμερα, να ανέρχεται μέχρι το 2010 σε 20,1% και ως το 2020 σε 29%.

Επίσης μειώνει τον χρόνο έγκρισης από τα 3 έτη, που είναι, σήμερα σε 1, αφού ο επιχειρηματίας που θέλει να στήσει έναν αιολικό σταθμό, αντί για 25-26 υπηρεσίες που πρέπει τώρα να επισκεφθεί για την έκδοση περιβαλλοντικών αδειών, θα πρέπει στο εξής να περάσει από 11 συνολικά υπηρεσίες. Δεν λύνει ωστόσο το μεγάλο πρόβλημα, την απουσία δηλαδή ενός **ειδικού χωροταξικού σχεδιασμού** για την εγκατάσταση μονάδων ΑΠΕ. Ενώ τέλος δεν υποστηρίζει αρκετά τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ σε μικρή κλίμακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Αιολική ενέργεια

1.1 Γενικά για την αιολική ενέργεια

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

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

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

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

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

1.2 Αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής

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

1.2.1 Ταχύτητα ανέμου

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

Για τη μελέτη και τον υπολογισμό των κατάλληλων αιολικών συστημάτων, απαιτείται η γνώση της μέσης ταχύτητας ανέμου σε χαρακτηριστικές χρονικές περιόδους, όπως μέσα στο μήνα ή στο έτος αφού η σχέση του ανέμου με την περιοδική εμφάνιση του ηλίου σε ένα τόπο συνεπάγεται στην εποχική και ετήσια περιοδικότητα της εμφάνισης της μέσης ταχύτητας ανέμου. Για να μετρήσουμε την στιγμιαία ταχύτητα και κατεύθυνση χρησιμοποιούμε ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες αντίστοιχα. Η μέση τιμή του μέτρου της ταχύτητας για χρόνο T είναι:

$$u = \frac{1}{T} \int_0^T u dt \quad (1)$$

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

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

Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος

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

$$U = U_{ref} * \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)} \quad (2)$$

Όπου Z_{ref} το ύψος αναφοράς και U_{ref} η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς. Συνήθως το ανεμόμετρο τοποθετείται στη θέση $Z_{ref} = 10 \text{ m}$. Το Z_0 το οποίο αφορά το μέσο ύψος του διαταραγμένου στρώματος του αέρα λόγω ανωμαλιών εδάφους ονομάζεται μήκος τραχύτητας.

Μεταβλητότητα του ανέμου

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

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

Το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας που είναι κάτω από τα 100m είναι αυτό για το οποίο ενδιαφερόμαστε περισσότερο. Εκεί ο άνεμος υφίσταται επιβραδύνσεις από δυνάμεις τριβής λόγω των κτισμάτων των κατοικημένων περιοχών, της μορφολογίας του εδάφους αλλά και το είδος της βλάστησης. Αυτές οι ταραχές προκαλούν γρήγορες διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων και μεγεθών. Οι απότομες αυτές στιγμιαίες μεταβολές ονομάζονται ριπές. Οι χρονικές μεταβολές οφείλονται: Στα φαινόμενα που επηρεάζουν το κλίμα της περιοχής, στην εναλλαγή μέρας και νυκτός, στις μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας κ.λ.π. Σε αυτές διακρίνονται μεταβολές μικρής χρονικής διάρκειας όπου η ταχύτητα σε ένα τόπο μπορεί να διπλασιαστεί μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα μεγάλης χρονικής διάρκειας. Οι μεταβολές μικρής διάρκειας μας είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό των αιολικών μηχανών. Συνήθως όμως αντί των μεταβολών αυτών δίνονται οι μέσες ωριαίες, ημερήσιες και μηνιαίες τιμές.

Ανεμολογικές μετρήσεις

Για τη μέτρηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας δύο βασικές παραμέτρους. Την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Για να μετρήσουμε τις δύο αυτές παραμέτρους χρησιμοποιούμε ειδικά όργανα, τα ανεμόμετρα για την ταχύτητα και τους ανεμοδείκτες για την κατεύθυνση. Οι μετρήσεις γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα αποτελώντας τα αρχικά ανεμολογικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής. Η διαφορά μεταξύ των ανεμόμετρων εντοπίζεται στον τρόπο λειτουργίας, στην ακρίβεια και στη συχνότητα δειγματοληψίας όπου η πιο συνηθισμένη είναι αυτή του 1 HZ.

1.2.2 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μια απαραίτητη διαδικασία που έχει σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητάς του να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να καλύπτονται συγκεκριμένες ανάγκες μιας περιοχής και του προσδιορισμού της ποιότητας του ανέμου. Αυτά που πρέπει να εξεταστούν έτσι ώστε να γίνει σωστή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι:

- i. Μέση ταχύτητα του ανέμου
- ii. Τυπική απόκλιση των τιμών της ταχύτητας του ανέμου
- iii. Το ιστόγραμμα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου
- iv. Οι μεταβολές της διεύθυνσης της ταχύτητας του ανέμου

Γενική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στην Κρήτη

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

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

Επίσης για την δυναμική ανάλυση και τον σχεδιασμό αιολικών συστημάτων προσαρμοσμένων στις τοπικές συνθήκες, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο ΤΕΙ Κρήτης (Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας), ειδικός ανεμογράφος που μπορεί να καταγράφει μετρήσεις ανά 2 sec και μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην αναλυτική μελέτη του ανέμου όπου απαιτείται. Μέχρι σήμερα υπάρχουν μετρήσεις από 5 ανεμογράφους στην Κρήτη: Βιομ. Περιοχή Ηρακλείου, νήσος Ντία Ηρακλείου, περιοχή ΤΕΙ, Ρέθυμνο περιοχή Αγίου Ανδρέα, Χανιά περιοχή ακρωτηρίου Σπάθας. Οι μετρήσεις αυτές είναι διαθέσιμες από το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας του ΤΕΙ Κρήτης.

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

1.3 Αιολική ενέργεια και ισχύς του ανέμου

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

$$E_k = (1/2) * m * u^2 \quad (3)$$

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

$$dm/dt = \rho * A * u \text{ (kg/s)} \quad (4)$$

όπου ρ η πυκνότητα του αέρα.

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

$$P = (1/2) * \rho * A * u^3 \text{ (Watt)} \quad (5)$$

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

$$P = 0,623 * A * u^3 \quad (6)$$

Από τα προηγούμενα παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του ανέμου, η οποία μεταβάλλεται με το χρόνο, επηρεάζει άμεσα την ισχύ του. Από τον πρώτο τύπο της ισχύος μπορούμε να βρούμε το φυσικά διαθέσιμο αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Το μέρος τώρα του δυναμικού αυτού που μπορεί να αξιοποιηθεί, ονομάζεται τεχνικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό.

1.3.1 Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

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

$$P_{M, \text{μεγ}} = C_{p, \text{μεγ}} \cdot P_{\text{αν}} \quad (7)$$

Όπου $C_{p, \text{μεγ}}$ Ο ιδανικός συντελεστής (μηχανικής) απόδοσης της αιολικής μηχανής. Όπως προκύπτει, έχει την τιμή 0,593 και ονομάζεται *όριο Betz*. Δηλαδή, ιδανικά, μόνο το 59,3% της $P_{\text{αν}}$, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από μια πτερωτή. Στην πράξη, ο συντελεστής απόδοσης, $C_p = P_M / P_{\text{αν}}$ είναι μικρότερος του ορίου Betz και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της αιολικής μηχανής. Αν η πτερωτή συνδυάζεται με ηλεκτρογεννήτρια, τότε έχουμε μια ανεμογεννήτρια (ΑΓ). Συνεπώς, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς, από μια ΑΓ δίδεται από τη σχέση:

$$P_{\text{ΑΓ}} = n_{\text{μηχ}} \cdot n_{\text{ηλ}} \cdot P_M = C_p \cdot n_{\text{μηχ}} \cdot n_{\text{ηλ}} \cdot P_{\text{αν}} \Rightarrow P_{\text{ΑΓ}} = 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot C_p \cdot n_{\text{μηχ}} \cdot n_{\text{ηλ}} \cdot u^3 \quad (8)$$

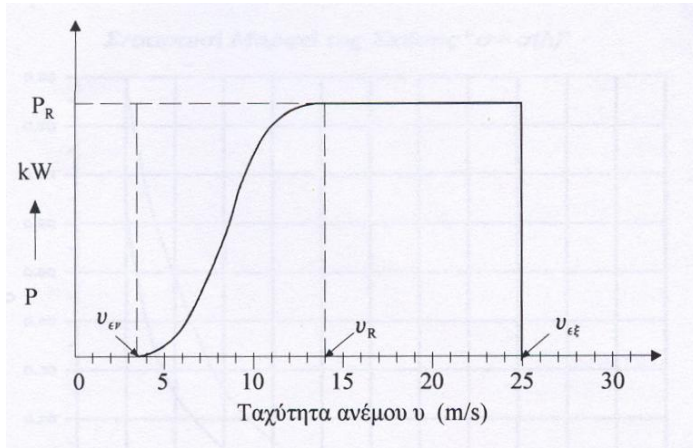
όπου

C_p : ο συντελεστής απόδοσης της αιολικής μηχανής και αφορά στη μετατροπή της, ανά μονάδα χρόνου, κινητικής ενέργειας της φλέβας του ανέμου, που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, σε περιστροφική ενέργεια.

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

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

Μια ΑΓ, ως μηχανική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας την κινητική ενέργεια του ανέμου, χαρακτηρίζεται από την αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ P_R (Rated), όταν βρίσκεται σε αιολικό πεδίο ορισμένης ταχύτητας αναφοράς. Ως ταχύτητα αναφοράς, U_R , που συνήθως καθορίζεται ως η ταχύτητα ανέμου στην οποία ο λόγος $P_{\text{ΑΓ}}/P_{\text{αν}} = C_p \cdot n_{\text{μηχ}} \cdot n_{\text{ηλ}}$, λαμβάνει μέγιστη τιμή. Στο γράφημα 1.1., δίδεται η εξάρτηση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος, μιας ορισμένης ΑΓ, από την ταχύτητα του ανέμου. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου, μέχρι ορισμένη χαρακτηριστική τιμή, $u_{\text{εισ}}$ (ταχύτητα έναρξης λειτουργίας, *cut-in-speed*), η αποδιδόμενη ισχύς είναι μηδενική, δηλαδή, η ΑΓ δεν λειτουργεί. Ομοίως, σε πολύ υψηλές ταχύτητες, μεγαλύτερες ενός ορίου $u_{\text{εξ}}$ (ταχύτητα εξόδου, *cut-off*), η ΑΓ, για λόγους προστασίας της, ακινητοποιείται με χρήση κατάλληλου φρένου (μηχανικού ή ηλεκτρομαγνητικού), ή με μηχανισμό αυτόματου προσανατολισμού του επιπέδου της πτερωτής, παράλληλα με την κατεύθυνση ροής του ανέμου (Furling). Σε ταχύτητες μεγαλύτερες της U_R , ειδική διάταξη διατηρεί σταθερή (ή περίπου σταθερή) την αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ, ίση με την P_R .



Γράφημα 1.1. τυπική γραφική παράσταση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος ΑΓ, σε συνάρτηση με τη ταχύτητα του ανέμου, u.

1.3.2 Ο συντελεστής μέσης ισχύος ΑΓ

Η μέση ημερήσια ισχύς που παρέχεται από την ΑΓ δίδεται από τη σχέση

$$\bar{P}_{ΑΓ} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{ΑΓ}(t) dt = \int_0^{\infty} P_{ΑΓ}(u) * f(u) du \quad (9)$$

Όπου $P_{ΑΓ}$, η αποδιδόμενη από την ανεμογεννήτρια, στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς, εξαρτώμενη από την ταχύτητα του ανέμου, σύμφωνα με τη σχέση (8) και $f(u)$, η συνάρτηση κατανομής της πυκνότητας (πυκνότητα στο χώρο των ταχυτήτων)πιθανότητα εμφάνισης ανέμου ταχύτητας u . Στην πραγματικότητα, η μέση ισχύς παίρνει μη μηδενικές τιμές μόνο για ταχύτητες μεταξύ των ορίων u_{ci} (cut-in) και u_{co} (cut-off). Συνήθως χρησιμοποιείται η ανοιγμένη ισχύς της ΑΓ ως προς την ονομαστική της, δηλαδή ο συντελεστής ισχύος $n_{ΑΓ}$, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας P_R :

$$n_{ΑΓ} = \frac{P_{ΑΓ}}{P_R} \quad (10)$$

και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της ΑΓ. Η εξάρτησή του από την ταχύτητα του ανέμου δίδεται από τον κατασκευαστή ως χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της ΑΓ, είτε με τη μορφή πινάκων είτε με τη μορφή διαγραμμάτων(ως $n_{ΑΓ}$ - u , ή $P_{ΑΓ}$ - u , σε συνδυασμό με την ονομαστική της ισχύ). Η σχέση (9) γράφεται τότε

$$\bar{P}_{ΑΓ,i} = \left(\int_0^{\infty} \frac{P_{ΑΓ}}{P_R} f(u) du \right) * P_R = \bar{n}_{ΑΓ,i} * P_R \quad (11)$$

όπου $n_{ΑΓ,i}$, ο μέσος συντελεστής ισχύος της ΑΓ, για το μήνα i

$$\bar{n}_{ΑΓ,i} = \frac{\bar{P}_{ΑΓ,i}}{P_R} = \int_0^{\infty} n_{ΑΓ,i} * f(u) du \quad (12)$$

η σχέση (12) αποτελεί τον ορισμό του μέσου συντελεστή ισχύος στην αντίστοιχη χρονική περίοδο.

Συνεπώς αν είναι γνωστά η χαρακτηριστική της ΑΓ, δηλαδή η σχέση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος $P_{ΑΓ}$ (ή ισodύναμα του $p_{ΑΓ}$) σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου(δίδεται από τον κατασκευαστή) και η κατανομή της πυκνότητας πιθανότητας $f(u)$ εμφάνισης ανέμου με ταχύτητα u (ανεμολογικά στοιχεία της θέσης εγκατάστασης) μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσο συντελεστή ισχύος για τη συγκεκριμένη ολοκληρωμένη χρονική διάρκεια (Ημέρα, μήνας, έτος), με βάση τη σχέση (12) και συνακόλουθα, την ηλεκτρική ενέργεια που, πιθανότατα, θα αποδώσει η ΑΓ την αντίστοιχη χρονική περίοδο.

Επίσης αν διαθέτουμε ημερήσια, μηνιαία ή ετήσια δεδομένα της αποδιδόμενης στιγμιαίας ηλεκτρικής ισχύος από την ΑΓ, αντίστοιχα των καταγραμμένων ταχυτήτων ανέμου, μπορούμε να υπολογίσουμε άμεσα το μέσο ημερήσιο συντελεστή ισχύος, μέσω του ορισμού του (σχέση 12). Τα αποτελέσματα υπολογισμού του με τον έμμεσο τρόπο (ανοιγμένη καμπύλη ΑΓ και κατανομή ταχυτήτων ανέμου) προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν άμεσο τρόπο(πειραματικά δεδομένα ηλεκτρικής ισχύος ΑΓ, στις αντίστοιχες χρονικές περιόδους). Συνεπώς με βάση τα πιθανότερα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της ΑΓ, μπορούμε να εκτιμήσουμε ικανοποιητικά την πραγματικά αποδιδόμενη ενέργεια από την ΑΓ αυτή, μέσα στην αντίστοιχη χρονική περίοδο.

Σύμφωνα με τα απαιτούμενα για τον έμμεσο υπολογισμό του $p_{ΑΓ}$ για κάθε μήνα, κατασκευάζεται πίνακας, στις στήλες του οποίου γράφονται με ορισμένο βήμα, δu (π.χ. $\delta u=1\text{m/s}$):

- οι τιμές ταχύτητας ανέμου.
- οι αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης κατανομής της πυκνότητας πιθανότητας $f(u)$ του ανέμου, η οποία προκύπτει με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.
- οι τιμές της ανοιγμένης ισχύος $p_{ΑΓ}$ της ΑΓ σε κάθε ταχύτητα ανέμου (χαρακτηριστική καμπύλη ΑΓ)
- σε κάθε ταχύτητα u , υπολογίζεται το γινόμενο $p_{ΑΓ} \cdot f(u) \cdot \delta u$.
- Το άθροισμα των γινομένων αυτών αποτελεί το ζητούμενο $p_{ΑΓ, i}$ για το μήνα αυτό.

Στο παρακάτω σχήμα αποδίδεται με παραστατικό τρόπο η διαδικασία υπολογισμού του μέσου συντελεστή ισχύος. Στον πίνακα (1.1) δίδεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του μέσου συντελεστή ισχύος για ορισμένο μήνα του έτους, στον οποίο αναφέρονται τα δεδομένα της πυκνότητας πιθανότητας $f(u)$.

v m/s	$\eta_{AG}(v)$	Πυκνότητα πιθανότητας, $f(u)$	$\eta_{AG}(v).f(v).\delta v$
1	0,00	0,00593	0,00000
2	0,00	0,07917	0,00000
3	0,00	0,12341	0,00000
4	0,05	0,13219	0,00661
5	0,13	0,1273	0,01655
6	0,22	0,10625	0,02338
7	0,38	0,08587	0,03263
8	0,51	0,0697	0,03555
9	0,67	0,05204	0,03487
10	0,83	0,03769	0,03128
11	1,00	0,02651	0,02651
12	1,00	0,0171	0,01710
13	1,00	0,01056	0,01056
14	1,00	0,00562	0,00562
15	1,00	0,0028	0,0028
16	1,00	0,00015	0,00011
17	1,00	0,00012	0,00010
18	1,00	0,00006	0,00006
19	1,00	0,00004	0,00004
20	1,00	0,00002	0,00002
21	1,00	0,00001	0,00001
22	1,00	0,00000	0,00000
23	1,00	0,00000	0,00000
24	1,00	0,00000	0,00000
25	1,00	0,00000	0,00000
		$n_{AG} = \sum \eta_{AG}(y).f(y).dy$	0,24385

Πίνακας 1.1. Αριθμητικός υπολογισμός του μέσου συντελεστή ισχύος της ανεμογεννήτριας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Το ΦΒ σύστημα

2.1 Το ΦΒ φαινόμενο. Το ΦΒ στοιχείο.

Δημιουργία του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

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

Επαφή p - n + φως = Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η βασική προϋπόθεση τώρα για τη δημιουργία ηλεκτρικής τάσης στις άκρες της επαφής p-n είναι να δημιουργηθούν ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων - οπών, να κατορθώσουν να φτάσουν στους χώρους όπου υπερτερούν οι αντίστοιχοι φορείς. Αυτά τα ζεύγη δημιουργούνται σε όλο το χώρο των σε επαφή ημιαγωγών με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι θερμικά και ο δεύτερος είναι με τη δράση φωτός κατάλληλου μήκους κύματος. Αρκετά από αυτά τα ζεύγη που δημιουργούνται στην περιοχή της επαφής αλλά και έξω από αυτήν αλλά πολύ κοντά στις περιοχές τύπου n και p είναι τα μόνα που έχουν μεγάλες πιθανότητες να φτάσουν σε περιοχές όπου υπάρχουν όμοιοι φορείς.

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

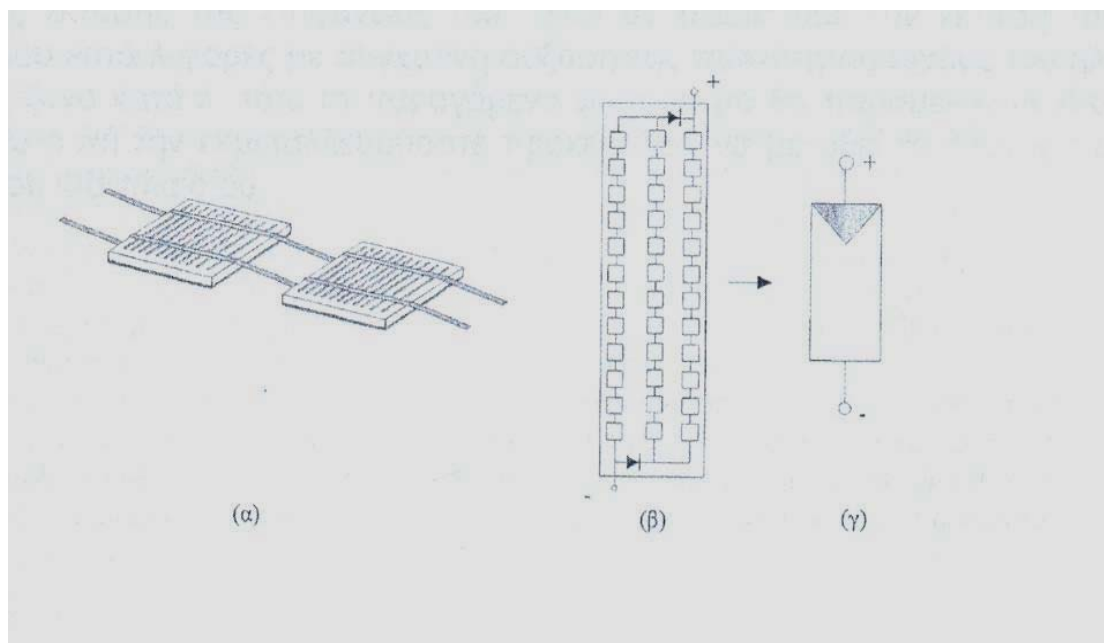
Όλη η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

2.1.1 ΦΒ πλαίσιο – ΦΒ συστοιχία

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

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

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



Σχήμα 2.1 (α) Τρόπος σύνδεσης δύο διαδοχικών ΦΒ στοιχείων μέσα σε ένα ΦΒ πλαίσιο. (β) Εσωτερική δομή ενός ΦΒ πλαισίου. Διακρίνονται οι δίοδοι παράκαμψης. (γ) Η συμβολική παράσταση ενός ΦΒ πλαισίου. Το φώτορευμα οδεύει εσωτερικά, από το (-) στο (+) και προς το εξωτερικό κύκλωμα από το (+) στο (-) του πλαισίου.

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

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

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

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

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

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

2.1.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών (Σημείο λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου κάτω από διαφορετικές τιμές της πυκνότητας ισχύος φωτός)

2.1.2.1 Η ονομαστική ισχύς ενός ΦΒ πλαισίου και οι συνθήκες κανονικής λειτουργίας

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

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

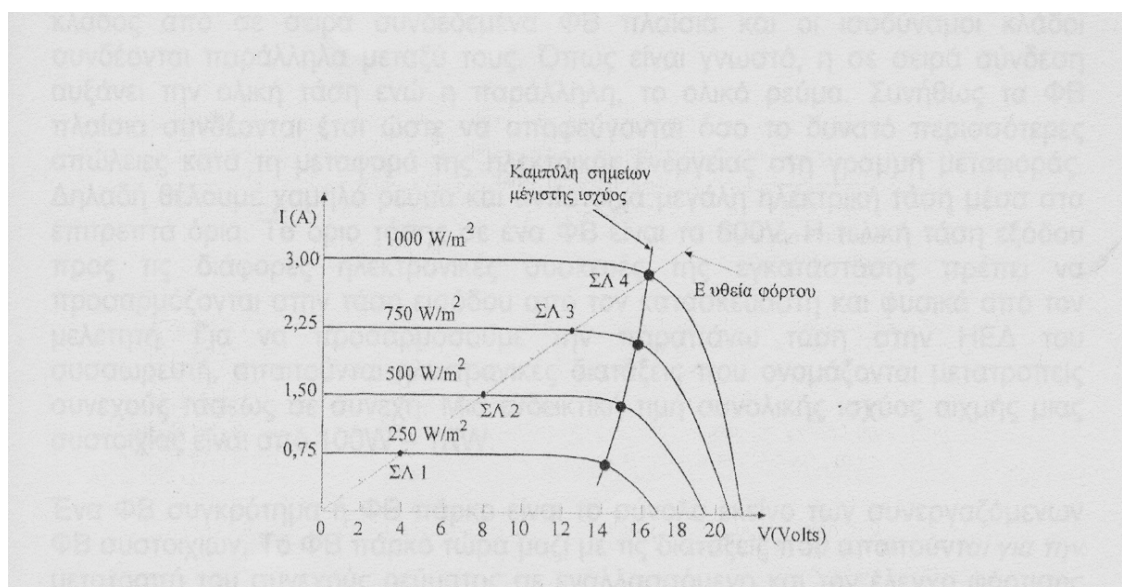
Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας, είναι μια θερμοκρασία αναφοράς η οποία χρησιμεύει στον τυπικό έλεγχο απόδοσης των ΦΒ πλαισίων. Οι συνθήκες αυτές αφορούν το ΦΒ στοιχείο ή πλαίσιο, την πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό και την κατάσταση του αέρα του περιβάλλοντός του και είναι οι παρακάτω:

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

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

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

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



Γράφημα 2.1. Για δεδομένο ωμικό φορτίο, τα σημεία λειτουργίας, ΣΛ (1,2,3) που αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού του ΦΒ πλαισίου, δεν συμπίπτουν με τα αντίστοιχα σημεία μέγιστης ισχύος, με εξαίρεση, στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ΣΛ4 , αντίστοιχο της ροής ακτινοβολίας $E = \text{kW/m}^2$.

Τα σημεία της μέγιστης ισχύος, τα οποία είναι σε διάφορα επίπεδα πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζουν μια περιοχή τάσης μέσα στην οποία διακυμαίνεται η τάση στα άκρα της αντίστασης φόρτου το οποίο μπορούμε να το παρατηρήσουμε από το παραπάνω σχήμα. Η έκταση της περιοχής αυτής είναι συνήθως μεταξύ 13V-17V. Η περιοχή αυτή μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις φόρτισης ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή ονομαστικής τάσης 12V.

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

2.2 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές

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

2.2.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή.

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

A) Η ονομαστική τάση στους πόλους του η οποία εκφράζεται με την έννοια της Ηλεκτρεγερτικής δύναμης (HEΔ)

B) Η ονομαστική χωρητικότητά του.

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

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

2.3 Τα ηλεκτρονικά των φωτοβολταϊκών.

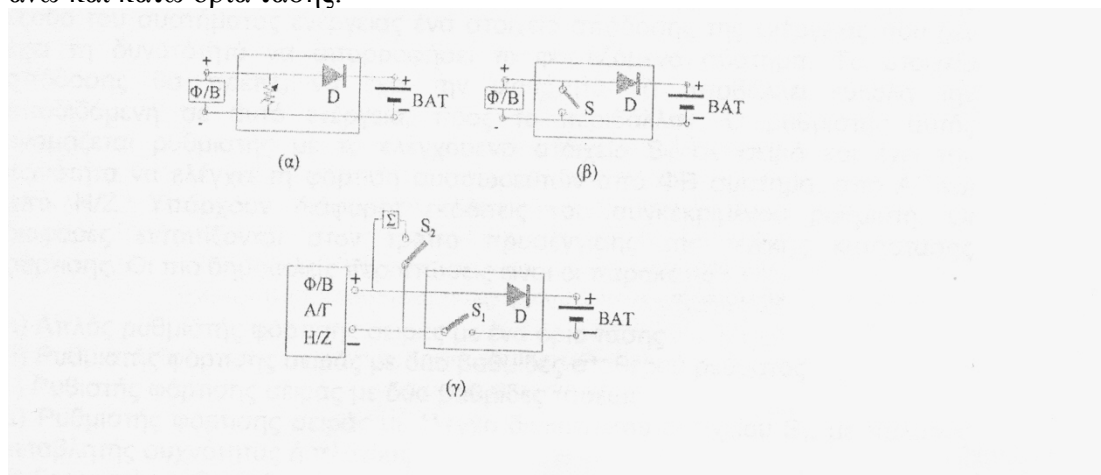
Για την βελτιστοποίηση της μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο ΦΒ σύστημα και της προστασίας του συσσωρευτή από υπερφόρτιση ή από υπερεκφόρτιση, απαιτούνται κατάλληλα ηλεκτρονικά τα οποία παρεμβάλλονται στο σύστημα. Από λειτουργική πλευρά έχουμε δύο βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις. Η μια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

2.3.1 Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή.

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών μέσω μιας πηγής ενέργειας όπως το ΦΒ σύστημα, ανεμογεννήτρια ΑΓ ή ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος H/Z, απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισής τους ώστε όταν φτάσουν την κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποφυγή υπερτάσεων του συσσωρευτή, αποφεύγοντας επομένως την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου λόγω ηλεκτρόλυσης.

Αντιστοίχως απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή κατά τη διάρκεια τροφοδοσίας του καταναλωτή, έτσι ώστε να προληφθεί η καταστροφική για τον συσσωρευτή κατάσταση υπερεκφόρτισης.

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



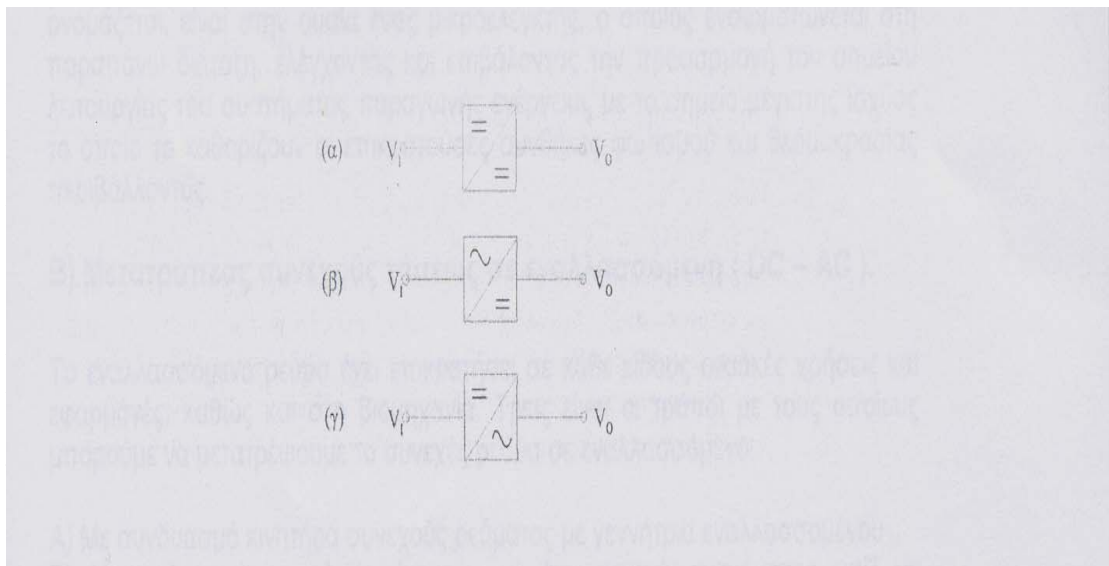
Σχήμα 2.2. Τυπικά διαγράμματα παράλληλου (shunt) ρυθμιστή φόρτισης (α) με γραμμικό και (β) με διακοπτικό στοιχείο. Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιείται μόνο σε ΦΒ συστήματα. Το διάγραμμα (γ) αφορά σε ρυθμιστή φόρτισης σειράς (series), με στοιχείο χρήσης της περίσσειας ενέργειας. Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιείται για έλεγχο φόρτισης συσσωρευτών από όλα τα συστήματα παραγωγής ενέργειας (ΦΒ, ΑΓ και Η/Ζ). D = δίοδος προστασίας. BAT = συσσωρευτής

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

2.3.2 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC.

Οι μετατροπείς είναι ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπής:

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



παρουσία του δεν είναι απαραίτητη στην περίπτωση του μετατροπέα και η οποία βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Εκεί, το κύκλωμα εξόδου είναι ηλεκτροστατικά μονωμένο από το κύκλωμα εισόδου.

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

Με τη χρήση υψίσυχων διακοπτικών κυκλωμάτων, τα οποία μετατρέπουν συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής ανάλογα με τις απαιτήσεις, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή μιας συνεχούς τάσης V_1 , σε συνεχή να. Με την παραπάνω μονάδα έχουμε και μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από τον χώρο της παραγωγής, στο χώρο της αποθήκευσης. Όπως γνωρίζουμε, τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα αν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις, ώστε η παραγόμενη σε αυτά ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται με την υψηλότερη δυνατή τάση σε επιτρεπτά όρια, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλό ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς και αντίστοιχα χαμηλές απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Οι τάσεις εξόδου

μεγαλύτερες των 600 v, δεν επιτρέπονται.

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

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

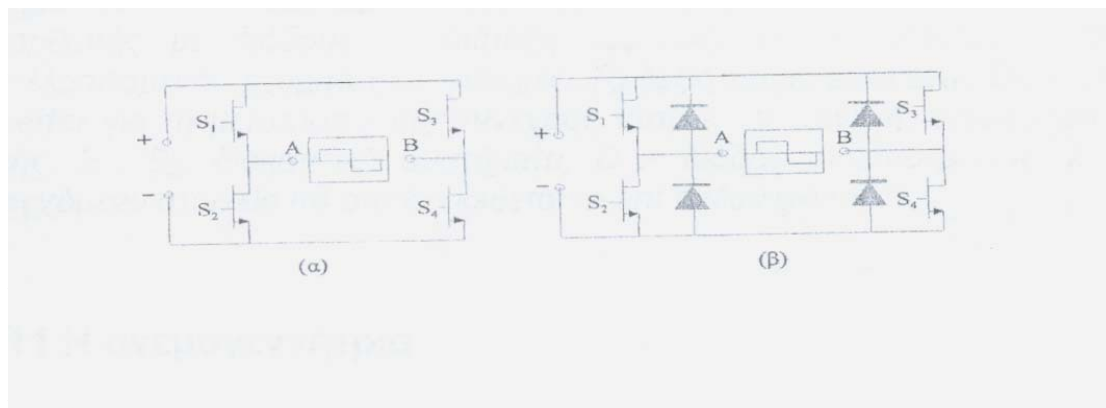
Το εναλλασσόμενο ρεύμα έχει επικρατήσει σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές, καθώς και στη βιομηχανία. Τρεις είναι οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετατρέψουμε το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο:

A) Με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια εναλλασσομένου

B) Με χρήση μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος μαζί με μετασχηματιστή

Γ) Με τον καθαρά ηλεκτρονικό μετατροπέα.

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

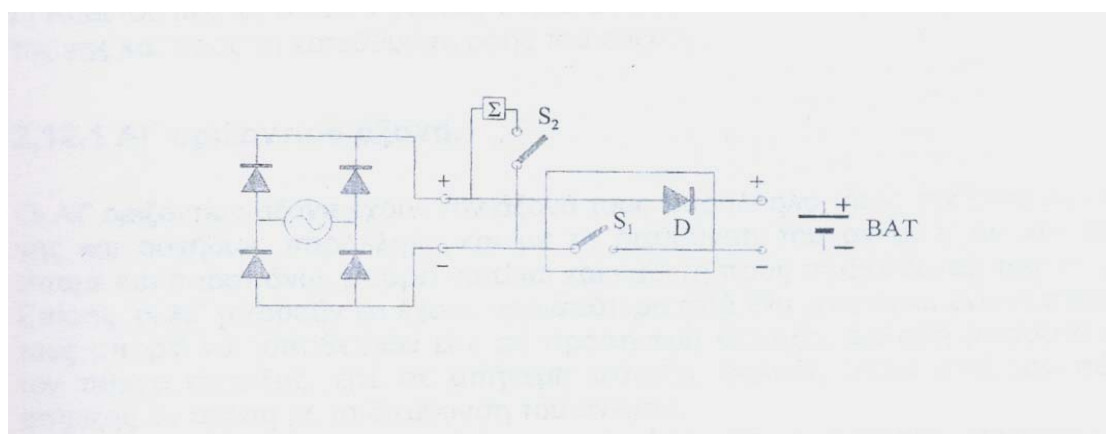


όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Γενικά το χαρακτηριστικό ενός μετατροπέα είναι η υψηλή απόδοση ακόμα και όταν

το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους.

2.3.5 Μετατροπέας εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές.

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

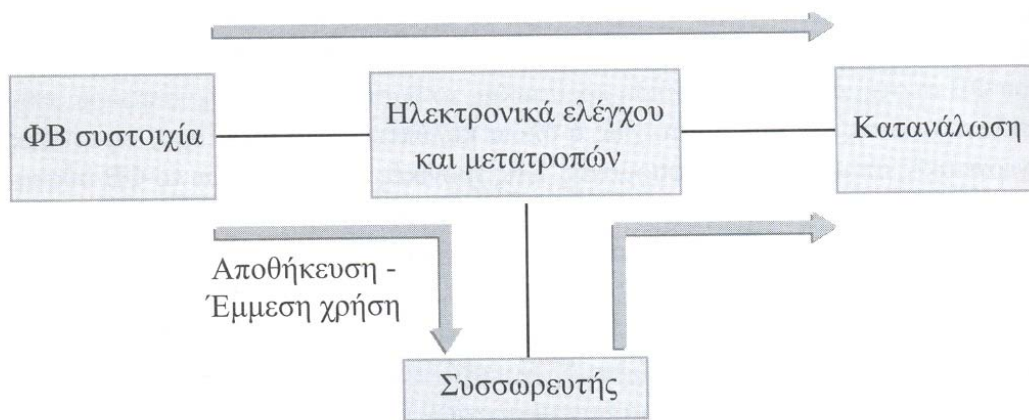


2.4.1 Ηλεκτρική ενέργεια από ΦΒ συστοιχία - σύστημα

Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη ΦΒ συστοιχία, μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είτε χρησιμοποιείται για την απευθείας τροφοδοσία των ηλεκτρικών συσκευών της εφαρμογής, οι οποίες αναφέρονται στη συνέχεια, ως καταναλώσεις ή φορτία (άμεση χρήση), είτε αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύκτας ή των περιόδων συννεφιάς (έμμεση χρήση)

Οι περιπτώσεις αυτές αποτυπώνονται παραστατικά στο σχήμα 14. Επίσης η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, είτε αξιοποιείται ως έχει, δηλαδή, ως ενέργεια συνεχούς ρεύματος, είτε μετατρέπεται σε ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος, μέσω διάταξης που ονομάζεται inverter. Πάντως στις περισσότερες περιπτώσεις ενδείκνυται η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος της ΦΒ συστοιχίας σε εναλλασσόμενο, δεδομένης της ευρείας χρήσης των συσκευών με τροφοδοσία 220Vac.

Άμεση χρήση κατά την ημέρα



Σχήμα 2.6. Διάγραμμα ροής της παραγόμενης ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας και τα βασικά τμήματα ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος. Στην πιο απλή μορφή του, η ΦΒ συστοιχία συνδέεται απευθείας στην κατανάλωση, χωρίς ηλεκτρονικά και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Σε κάθε περίπτωση, η μετατροπή της ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας, στην είσοδο του ΦΒ συστήματος, σε ηλεκτρική και η μεταφορά της στο χώρο τελικής αξιοποίησής της, συνοδεύεται από απώλειες. Μέρος της μεταφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια των συσκευών, αυξάνοντας τη θερμοκρασία των καλωδίων και των ηλεκτρονικών διατάξεων του ΦΒ συστήματος, αποβαλλόμενη, τελικά, προς το περιβάλλον.

Σε κάθε χαρακτηριστικό τμήμα της γραμμής παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, προσδιορίζεται ο βαθμός αξιοποίησης της διαθέσιμης ενέργειας ή της απόδοσής του, αν αφορά σε ενεργειακή μετατροπή. Οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές χαρακτηρίζουν το αίτιο, που προκαλεί την απώλεια ή το τμήμα του συστήματος στο οποίο συμβαίνει. Αναλυτικότερα, καθορίζονται οι συντελεστές απωλειών ενέργειας στα επόμενα τμήματα του συστήματος:

1. στη ΦΒ συστοιχία
2. στη γραμμή μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας,
3. στις ηλεκτρονικές συσκευές του ΦΒ συστήματος και
4. στον ηλεκτρονικό συσσωρευτή, αν το σύστημα περιλαμβάνει αποθήκευση ενέργειας

Αποδοτικότητα – Συντελεστής μέσης ισχύος.

Αποδοτικότητα μιας ΦΒ συστοιχίας Y_{σ} , ορίζεται το πηλίκο της αποδιδόμενης ημερησίως (σε μηνιαία ή ετήσια βάση) ηλεκτρικής ενέργεια, δια της ισχύος αιχμής της:

$$Y_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{P_p \cdot \sigma} \quad (12)$$

Αν μια ΦΒ συστοιχία αιχμής $P_p=100$ W, παράγει ηλεκτρική ενέργεια $E_{\sigma}=220$ Wh μια ορισμένη ημέρα, τότε η αποδοτικότητα της συστοιχίας είναι $Y_{\sigma}=2,2, \text{Wh/Wp}$.

Αν αντί της ημερήσιας ενέργειας τεθεί η μέση ημερήσια ισχύς από τη ΦΒ συστοιχία, προκύπτει ο μέσος ημερήσιος συντελεστής ισχύος, $\bar{n}_{\Phi B}$

$$\bar{n}_{\Phi B} = \frac{\overline{P_{\sigma}}}{P_{p,\sigma}} \quad (13)$$

ο οποίος προσδιορίζει τη μέση ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ ανά μονάδα ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας.

Σε αναλογία με τα προηγούμενα, ορίζεται η αποδοτικότητα του ΦΒ συστήματος, $Y_{\Phi B\Sigma}$, αν όπου E_{σ} , στον τύπο (12), τεθεί η αποδιδόμενη ημερησίως (μηνιαίως ή ετησίως) ηλεκτρική ενέργεια, $E_{\Phi B\Sigma}$, στο φορτίο κατανάλωσης καθώς και ο μέσος ημερήσιος συντελεστής ισχύος του ΦΒ συστήματος, αν όπου P_{σ} , στον τύπο (13) τεθεί η μέση ημερήσια ισχύς $P_{\Phi B\Sigma}$, που προσφέρεται στο φορτίο κατανάλωσης. Σημειώνουμε ότι η αποδοτικότητα του συστήματος και ο μέσος συντελεστής ισχύος, χαρακτηρίζονται από μικρότερες τιμές από τις τιμές των αντιστοίχων ποσοτήτων για τη ΦΒ συστοιχία, κατά τον παράγοντα $\eta_{\text{μετ}}$, που προσδιορίζει τις απώλειες στις γραμμές μεταφοράς και στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που παρεμβάλλονται μεταξύ ΦΒ συστοιχίας και φορτίων.

ΦΒ συστοιχία	Διάταξη – τμήμα κυκλώματος	Σύμβολο	Ενδεικτική τιμή
$\eta_{\gamma,m}$ c-Si	0,90	Γραμμές μεταφοράς	η_w 0,98
$\eta_{\gamma,m}$ p-Si	0,90	Ηλεκτρονικά ισχύος	η_{inv} 0,94
η_D	0,99		η_{conv} 0,92
$\eta_{\text{ανομ}}$	0,98	Συσσωρευτής	$\eta_{\gamma,B}$ 0,80
$\eta_{\text{οπτ}}$	0,90		η_E 0,85
η_w	0,98		η_q 0,90
Συντελεστής μεταφοράς από τη ΦΒ συστοιχία στο φορτίο κατανάλωσης			
$\eta_{\text{μετ}} = \eta_w \cdot \eta_{HD} \cdot \eta_E$			0,68 – 0,98

Πίνακας 2.1. Τυπικές τιμές ετησίως συντελεστών ενεργειακής απόδοσης και απωλειών κατά στοιχείο κυκλώματος ΦΒ συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Τεχνοοικονομική ανάλυση

3.1 Υβριδικό σύστημα για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της μονάδας

Ο συνδυασμός πηγών ηλεκτρικής ενέργειας ανανεώσιμης συμπεριφοράς με αποθήκευση μέρους ή του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε συνεργασία ή όχι με συμβατική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (H/Z), με στόχο τη βέλτιστη από τεχνικοοικονομικής πλευράς κάλυψη των ηλεκτρικών ενεργειακών απαιτήσεων μιας εφαρμογής, χαρακτηρίζεται ως υβριδικό σύστημα

Σκοπός της μεθοδολογίας προσδιορισμού αυτού του συστήματος είναι να υπολογιστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ΦΒ συστοιχία, των ανεμογεννητριών, των συσσωρευτών και του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, ώστε να καλύπτονται κατά τον οικονομικότερο τρόπο οι ενεργειακές απαιτήσεις για όλο το έτος, δεδομένων των ηλιακών και ανεμολογικών χαρακτηριστικών του τόπου εγκατάστασης.

Ένα υβριδικό σύστημα αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

i. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα:

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα αποτελέσουν τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες, όπου η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική

ii. Τα αιολικά συστήματα:

Τις ανεμογεννήτριες, δηλαδή τις μηχανές στις οποίες η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική.

iii. Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος:

Αποτελεί τη βοηθητική συμβατική ενεργειακή πηγή. Αυτό γιατί το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος με καύσιμο diesel, που θα το συμπεριλάβουμε στην εγκατάσταση, θα εξυπηρετεί τις απαιτήσεις μας σε ηλεκτρική ενέργεια, τις ώρες που μπορεί οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας να μην έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν αυτές τις ανάγκες, π.χ. όταν θα έχουμε άπνοια και συννεφιά ταυτόχρονα και για περισσότερο από δύο μέρες, ώστε να αποφορτιστούν και οι μπαταρίες μας

Η ισχύς του H/Z επομένως θα πρέπει να καλύπτει παράλληλα και τη φόρτιση των συσσωρευτών και τα υπόλοιπα φορτία. Οι αρνητικές επιπτώσεις κατά τη χρήση του H/Z είναι ο ισχυρός θόρυβος που δημιουργεί και η παραγωγή ρυπογόνων και άμεσα επικίνδυνων καυσαερίων. Γι αυτούς τους λόγους κρίνεται απαραίτητο να εγκατασταθεί σε έναν ειδικά διαμορφωμένο χώρο μακριά από τους χώρους χρήσης.

iv. Τον μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter)

Η χρησιμοποίηση του εναλλασσομένου ρεύματος επιβάλλεται εξ αιτίας της επικράτησης του κατά γενικό τρόπο, σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές. Εντελώς γενικά τρεις είναι οι κύριοι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετατρέψουμε συνεχές(DC) ρεύμα σε εναλλασσόμενο(AC).

- I. Με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια εναλλασσομένου.
- II. Με χρήση του κλασικού μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος σε συνεργασία με μετασχηματιστή.
- III. Με τον καθαρά ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC inverter.

Ο inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη(μονοφασική ή τριφασική). Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και χρήση εναλλασσόμενης. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες, η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων(inversion). Η απόδοση των inverters είναι αρκετά υψηλή εξαρτώμενη από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτούν.

Τέλος η ισχύς του inverter πρέπει να προσαρμόζεται από πλευράς τάσεως στη τάση των μπαταριών και να υπερκαλύπτει τη μέγιστη ισχύ ζήτησης, που προσδιορίζεται από το σύνολο των συσκευών κατανάλωσης, καθώς επίσης και την ισχύ υπέρτασης, που είναι συνήθως τριπλάσια της ονομαστικής και μάλιστα για αρκετά δευτερόλεπτα.

v. Τους συσσωρευτές:

Η παραγόμενη από το υβριδικό σύστημα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απ ευθείας είτε σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής της. Άρα παρουσιάζεται η ανάγκη μιας διάταξης αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι στιγμής η καλύτερη από πλευράς κόστους πυκνότητας αποταμίευσης ενέργειας ανά κιλό και όγκο της διάταξης είναι οι διάφοροι τύποι ηλεκτρικών συσσωρευτών, μεταξύ δε αυτών οι συσσωρευτές θειούχου μολύβδου, νικελίου-καδμίου κ.α. Προς την κατεύθυνση αυτή βρίσκονται σε εξέλιξη ερευνητικές προσπάθειες, κυρίως στον τομέα της βιομηχανίας ηλεκτρικών οχημάτων, για βελτίωση των διατάξεων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της ηλεκτρεγερτικής δύναμης και η ονομαστική χωρητικότητά του. Η ΗΕΔ μετρείται σε Volt και ισούται με την πολική τάση της μπαταρίας, όταν δεν είναι συνδεδεμένη σε καταναλωτή. Η χωρητικότητα C, αφορά το ηλεκτρικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο στο εσωτερικό του συσσωρευτή, με τη μορφή χημικής ενέργειας και εκφράζεται σε αμπερώρια(Ah).

Οι μπαταρίες θεικού οξέος – μολύβδου είναι ίσως ο δημοφιλέστερος τύπος ηλεκτρικών συσσωρευτών. Είναι γνωστές τώρα και έναν αιώνα και χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο στα υποβρύχια. Οι βιομηχανικής παραγωγής συσσωρευτές μολύβδου, έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή και αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις, με μεγάλα ρεύματα, σε αντίθεση με τους κοινούς συσσωρευτές μολύβδου.

Οι συσσωρευτές διακρίνονται επίσης σε υγρής κατάστασης και σε αεροστεγώς σφραγισμένους(Sealed), που δεν απαιτούν συμπλήρωση νερού. Πολλά

και σημαντικά τα πλεονεκτήματα των δευτέρων, που τους δίνουν τη δυνατότητα χρήσης τους σε εργαστηριακούς κλειστούς χώρους, που περιέχουν ευαίσθητα όργανα.

Μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν με διάφορες κλίσεις, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος εκροής ηλεκτρολυτικού υγρού. Χαρακτηρίζονται όμως από μικρά βάθη εκφόρτισης και μικρά σχετικά ρεύματα εκφόρτισης. Επίσης υστερούν σε σχέση με τους συσσωρευτές υγρής κατάστασης, όσον αφορά τη χωρητικότητά τους σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός.

Τέλος οι μπαταρίες δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση γι αυτές, ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο. Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει σαν αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και συνακόλουθα την παραγωγή υδρογόνου, με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Ο χρόνος ζωής των μπαταριών εκφράζεται σε κύκλους φορτοεκφόρτισης. Ξεκινώντας από την κατάσταση πλήρους φόρτισης, ένας κύκλος ζωής συσσωρευτού περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκφόρτισης, - φόρτισης. Η χωρητικότητα C της μπαταρίας, δηλαδή το φορτίο που περιέχει σε κάποια χρονική στιγμή της ζωής της, μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι φορτοεκφόρτισης.

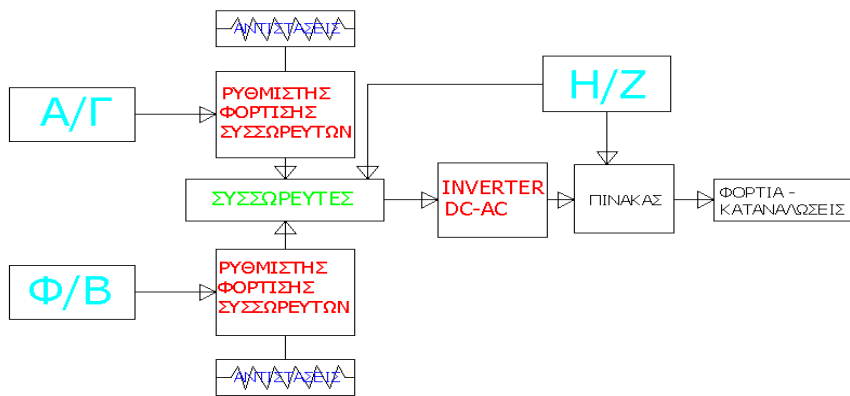
vi. Τον ελεγκτή φόρτισης των συσσωρευτών:

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. φωτοβολταϊκό σύστημα, ανεμογεννήτρια ή ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε όταν αυτοί φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία.

Έτσι αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή που έχει ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης π.χ. σε ένα σύστημα μπαταριών με ονομαστική τάση 24Volt, τίθεται ως σημείο αποσύνδεσης η τάση των 22-23 Volt. Αντίστοιχα απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική γι αυτόν κατάσταση υπερεκφόρτισης.

Το σύστημα ρυθμίζεται έτσι ώστε να παρουσιάζει χρονική ανοχή (5-10 sec) σε μειώσεις τάσης, που προκαλούνται κατά την είσοδο στο κύκλωμα κατανάλωσης, ενός φορτίου μεγάλης σχετικά ισχύος. Γενικά λοιπόν ο ελεγκτής φόρτισης στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης, ώστε να είναι σε θέση να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης, αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης στην περίπτωση υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει προς τα άνω και αντίστοιχα προς τα κάτω ορισμένα όρια τάσης, όπου ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικοί διακόπτες.

Ο ελεγκτής φόρτισης – εκφόρτισης μπορεί να είναι τοποθετημένος σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να βρίσκεται ενσωματωμένος με τον inverter, σε μια ολοκληρωμένη μονάδα..



Σχήμα 3.1. Σχηματική παράσταση ενός τυπικού Αυτόνομου Ενεργειακού Συστήματος. Με **γαλάζιο** χρώμα φαίνονται οι ενεργειακές πηγές, με **πράσινο** το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και με **κόκκινο** τα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας.

3.2 Μέθοδος προσδιορισμού της σύνθεσης υβριδικού συστήματος με ελαχιστοποίηση του κόστους του στη διάρκεια ζωής του συστήματος. Μέθοδος LCC (Life Cycle Cost Method).

Με τη μέθοδο LCC γίνεται διερεύνηση της κατάλληλης σύνθεσης του υβριδικού συστήματος, που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος κτήσης, εγκατάστασης και λειτουργίας, στο χρόνο αναφοράς της ζωής του. Η διαδικασία προσδιορισμού του κόστους αυτού αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost, LCC) του συνολικού υβριδικού συστήματος.

Αναλυτικότερα ο προσδιορισμός του LCC γίνεται με υπολογισμό του κόστους αρχικής επένδυσης και αναγωγή κάθε μελλοντικού κόστους αντικατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης των συνιστωσών του συστήματος, σε κόστος παρούσας αξίας. Το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του συστήματος επομένως είναι άθροισμα των εξής παραμέτρων:

α) Του αρχικού κόστους του συνολικού συστήματος (Capital cost), αποτελούμενο από το κόστος αγοράς των συστημάτων ΑΠΕ ($C_{ΑΠΕ}$), του συσσωρευτή, των ηλεκτρονικών διατάξεων και του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.

β) Του κόστους εγκατάστασης του συστήματος ($C_{εγκ}$).

γ) Του κόστους αντικατάστασης τμημάτων (συσσωρευτών, Η/Ζ κ.α.), υπολογίζοντας το κόστος αυτό με αναγωγή του στο έτος μηδέν της επένδυσης, με βάση την έννοια του παράγοντα παρούσας αξίας (PVF).

δ) Της παρούσας τιμής του κόστους συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος ($C_{συντ}$), που αφορά δαπάνες επαναλαμβανόμενες ετησίως. Προσδιορίζεται μέσω του παράγοντα ανάκτησης κεφαλαίου (CRF), ο οποίος αφορά σε σταθερά ποσά για όλα τα έτη. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κόστους αυτού έχει η παρούσα τιμή συντήρησης και λειτουργίας του Η/Ζ ($C_{ΗΖ}$).

Ως ελάχιστος κύκλος ζωής του συστήματος λαμβάνονται, συνήθως τα είκοσι έτη, που αποτελούν τον ελάχιστο χρόνο ζωής των ΦΒ πλαισίων, της πλέον μακρόβιας συνιστώσας του υβριδικού συστήματος. Σ αυτό το χρονικό διάστημα μερικά από τα υπόλοιπα τμήματα της εγκατάστασης, π.χ. οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές θα πρέπει να αντικατασταθούν μερικές φορές.

Η διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή ΦΒ τεχνολογίας, που λειτουργεί με μικρό βάθος εκφόρτισης(π.χ. 25-30%), συνήθως υπερβαίνει τα 10 έτη. Ο χρόνος ζωής του Η/Ζ κυμαίνεται από 7000 ώρες (κινητήρας βενζίνης), μέχρι 10000 ώρες(κινητήρας πετρελαίου), που μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι αντιστοιχεί σε χρόνο ζωής περίπου 7-10 ετών. Συνεπώς με χρόνο ζωής του συστήματος τα 20 έτη, θα απαιτηθεί τουλάχιστον μια φορά αντικατάσταση της συστοιχίας των συσσωρευτών και του Η/Ζ.

3.2.1 Αναλυτική παρουσίαση

Τα βήματα που ακολουθούνται για την εφαρμογή της μεθόδου LCC, είναι τα παρακάτω:

α) Προσδιορισμός των φορτίων. Αφορά τα φορτία για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της μονάδας

β) Δυναμικό ΑΠΕ. Προσδιορισμός του δυναμικού των πηγών ΑΠΕ, που συνιστούν το υβριδικό σύστημα, με βάση τα ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης. Συγκεκριμένα αξιοποιούνται τα υπάρχοντα δεδομένα της περιοχής, για τον προσδιορισμό των μηνιαίων μέσων ημερήσιων τιμών των συντελεστών ισχύος $n_{\Phi B}$ και $n_{ΑΓ}$.

γ) Υπολογισμός του κόστους του υβριδικού συστήματος στον κύκλο ζωής του. Προσδιορίζεται για όλους τους δυνατού συνδυασμούς των τιμών της ονομαστικής ισχύος των πηγών ΑΠΕ, που συνθέτουν το σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη την ενεργό συμμετοχή της συμβατικής πηγής (Η/Ζ). Η σημασία αυτής της μεθόδου βασίζεται στο ότι ενδιαφέρει να προσδιοριστεί εκείνη η σύνθεση του συνολικού ενεργειακού συστήματος, η οποία να καλύπτει με τον πλέον οικονομικό τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες της εφαρμογής. Από πλευράς μεθοδολογίας ακολουθούνται τα παρακάτω διαδοχικά βήματα:

Για κάθε ζεύγος δυνατών τιμών ισχύος αιχμής ΦΒ συστοιχίας και ονομαστικής ισχύος ΑΓ, υπολογίζεται η μηνιαία μέση ημερήσια τιμή της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος από το σύστημα:

$$\overline{P_{Y\Sigma}} = n_{\mu\epsilon\tau} * P_{ΑΠΕ} = n_{\mu\epsilon\tau} * (\overline{n_{\Phi B}} * N_{\Phi B} * P_{P_i} * \overline{n_{ΑΓ}} * N_{ΑΓ} * P_{R_i})$$

όπου:

$n_{\mu\epsilon\tau}$ = συντελεστής απωλειών στα ενδιάμεσα τμήματα του συστήματος, από τις πηγές ΑΠΕ στο φορτίο.

$N_{\Phi B}$ και $N_{ΑΓ}$ = το πλήθος των ΦΒ πλαισίων ισχύος αιχμής P_{P_i} και ανεμογεννητριών ονομαστικής ισχύος P_{R_i} .

Προσδιορίζεται η διαφορά μεταξύ της απαιτούμενης μηνιαίας μέσης ημερήσιας ισχύος φορτίου $\overline{P_L}$ και της αντίστοιχης προσφερόμενης από το σύστημα ΑΠΕ, ηλεκτρικής ισχύος $\overline{P_{Y\Sigma}}$. Η διαφορά αυτή αφορά το μη καλυπτόμενο μέρος του απαιτούμενου φορτίου, από το υβριδικό σύστημα και ισούται με:

$$\overline{P_{UL}} = \overline{P_L} - \overline{P_{Y\Sigma}}$$

όπου $\overline{P_L} \geq \overline{P_{Y\Sigma}}$ και μηδέν, όπου ισχύει το αντίθετο.

Την $\overline{P_{UL}}$ καλείται να καλύψει το H/Z. Καθώς μεταβάλλουμε τις ονομαστικές τιμές των πηγών ΑΠΕ και η προσφερόμενη ισχύς αυξάνεται, η συνολική ετήσια διαφορά $\overline{P_{UL,Y}}$ ελαττώνεται και κατά συνέπεια, ελαττώνεται ο βαθμός συμμετοχής του H/Z. Ο λόγος της $\overline{P_{UL,Y}}$, προς την απαιτούμενη ετήσια ισχύ φορτίου $\overline{P_{L,Y}}$, καθορίζει ουσιαστικά τη διαθεσιμότητα(αυτονομία) A, του συστήματος, με βάση τη σχέση:

$$A=1-\frac{\overline{P_{UL,Y}}}{\overline{P_{L,Y}}}$$

Για κάθε ζεύγος τιμών ονομαστικής ισχύος των πηγών ΑΠΕ το LCC του συστήματος, με αναφορά στο χρόνο ζωής του N= 20 έτη. Η αναλυτική του έκφραση είναι:

$$LCC=C_{ΑΠΕ} + C_{εγκ} + C_B + C_{ηλ} + C_{HZ} - S$$

Όπου:

$C_{ΑΠΕ} = C_{ΦΒ} * P_p + C_{ΑΓ} * P_R$, το κόστος προμήθειας των συστημάτων ΑΠΕ. Οι τιμές κόστους αγοράς ανά W ονομαστικής ισχύος εκάστης των δύο πηγών ΑΠΕ συμβολίζονται με $C_{ΦΒ}$ και $C_{ΑΓ}$, αντίστοιχα, εκφραζόμενες σε €/W. Ως τυπικές τιμές σε μικρά συστήματα μπορούμε να θεωρήσουμε σήμερα τις $C_{ΦΒ} = 4,0-5,5$ €/W και $C_{ΑΓ} = 2,5-3,5$ €/W. Σε μεγάλα ΦΒ συστήματα το κόστος ΦΒ πλαισίων μειώνεται σε $C_{ΦΒ} = 2,0-3,0$ €/W.

$C_{εγκ} = α_{εγκ} * C_{ΑΠΕ}$, το κόστος εγκατάστασης του συστήματος το οποίο για απλότητα μπορεί να προσδιοριστεί ως ποσοστό ($α_{εγκ}$) του κόστους προμήθειας του συστήματος ΑΠΕ. Τυπική τιμή $α_{εγκ} = 15\%$.

$C_{συντ} = α_{συντ} * C_{ΑΠΕ} / CRF$, το κόστος παρούσας τιμής για τη συντήρηση του συστήματος, εκτιμώμενο ετησίως ως ποσοστό ($α_{συντ}$) του κόστους προμήθειας του συστήματος ΑΠΕ. Τυπική τιμή $α_{συντ} = 2\%$.

$C_B = C_{B0} * (1+PVF)$, το κόστος αρχικής προμήθειας και αντικατάστασης συσσωρευτών, στον κύκλο ζωής.

$PVF = \sum PBF_j$, ο παράγων παρούσας αξίας για τις ν φορές αντικατάστασης των συσσωρευτών στο χρόνο N, με $PVF_j = (1+r)^{-N}R_j^{j,j}$ και $j = 1,2,\dots,v$, όπου $v = \text{Floor}(N/N_R)$, το πλήθος αντικαταστάσεων τμήματος του συστήματος, ανά περίοδο αντικατάστασης N_R ετών.

C_{B0} = το κόστος προμήθειας του αρχικού συσσωρευτή. Η διαδικασία αυτή αφορά και κάθε άλλο αντικαθιστούμενο τμήμα του συστήματος, όπως π.χ. το H/Z.

$C_{ηλ} = α_{ηλ} * C_{ΑΠΕ}$, το κόστος των ηλεκτρονικών συσκευών όπου $α_{ηλ}$ το ποσοστό στο κόστος προμήθειας του συστήματος ΑΠΕ. Τυπική τιμή $α_{ηλ} = 15\%$. Ιδιαίτερος για τον inverter η αναφερόμενη στη βιβλιογραφία τιμή είναι $1€/W_R$

$C_{HZ} = E_{HZ,Y} * C_{καυσ} / CRF =$ το LCC καυσίμου για τη λειτουργία του H/Z (πετρελαίου ή βενζίνης). Αφορά το κόστος καυσίμου του H/Z για την κάλυψη της προβλεπόμενης, μη καλυπτόμενης από το σύστημα ΑΠΕ, ετήσιας ενέργειας. Το κόστος καυσίμου ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας από το H/Z, συμβολίζεται εδώ με $C_{καυσ}$ και εκφράζεται σε €/kWh, Τυπική τιμή καυσίμου, περιλαμβανομένου του κόστους μεταφοράς είναι $C_{καυσ} = 0,5-1$ €/kWh.

$S =$ η απομένουσα αξία του συστήματος στο τέλος του χρόνου ζωής του. Εκτιμάται σε 10-20% του αρχικού κόστους επένδυσης. Στην ανάλυση που γίνεται εδώ θεωρούμε για απλότητα, μηδενική την απομένουσα αξία, λαμβανομένων υπόψη των εξόδων αποξήλωσης των εγκαταστάσεων.

δ) Κριτήριο ελαχίστου LCC. Προσδιορίζεται το ζεύγος P_p και P_R , που αφορά στο σύστημα ΑΠΕ με το μικρότερο συνολικό κόστος στο χρόνο ζωής του.

ε) Ετησίως παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

$$E_{ΥΣ} = \sum_i \overline{P_{ΥΣi}} * T * N_{di}$$

Όπου:

$$T = 24h$$

$i = 1, 2, \dots, 12$, οι μήνες του έτους και N_{di} = οι ημέρες του αντίστοιχου μήνα.

στ) Κόστος ενέργειας.

$$COE = LCC * CRF / E_y$$

Όπου:

E_y = η ηλεκτρική ενέργεια ζήτησης που απαιτείται να καλύπτεται ετησίως από το ΥΣ

Κεφάλαιο 4

4.1. Επαλήθευση καμπύλης κατασκευαστή και υπολογισμός $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ και $\bar{\eta}_{ΦΒ}$

Μέσω της χαρακτηριστικής καμπύλης αποδιδόμενη ισχύος-ταχύτητας ανέμου, που παρέχει ο κατασκευαστής, για την ανεμογεννήτρια AeroCRAFT wind turbine 750 Watt (Εικόνα 4.1.), προχωρήσαμε στον προσδιορισμό του συντελεστή ισχύος της ΑΓ. Επειδή όμως, η καμπύλη αυτή προσδιορίζεται σε περιβάλλον σταθερής ταχύτητας ανέμου (Αεροσύραγγα), θέλαμε να διαπιστώσουμε πειραματικά, κατά πόσο αυτή ανταποκρίνεται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Γι αυτόν το λόγο προχωρήσαμε στο επόμενο πείραμα.



Εικόνα 4.1. Φωτογραφία ανεμογεννήτριας προς μελέτη.

4.1.1. Περιγραφή πειράματος

Σκοπός του πειράματος, όπως είδαμε παραπάνω, ήταν η επαλήθευση της καμπύλης του κατασκευαστή. Για να μπορέσουμε να επαληθεύσουμε την καμπύλη αυτή, και να τη χρησιμοποιήσουμε για το λόγο που προαναφέραμε, έπρεπε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της δικής μας καμπύλης, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, και κατόπιν στη σύγκριση τους. Για την “κατασκευή” της χαρακτηριστικής χρειάστηκαν 2 παράμετροι: τιμές ταχύτητας ανέμου και τιμές ρεύματος εξόδου της εγκατεστημένης ανεμογεννήτριας, στην ίδια χρονική στιγμή.

4.1.2. Συλλογή και επεξεργασία τιμών ταχύτητας ανέμου

Για τη συλλογή τιμών ταχύτητας ανέμου, χρησιμοποιήσαμε τον μετεωρολογικό σταθμό (Εικόνα 4.2.) του φωτοβολταϊκού πάρκου. Ο σταθμός αυτός, με τη βοήθεια ενός data logger της Campbell συλλέγει και καταγράφει, ανά λεπτό, τιμές: για ολική και άμεση ακτινοβολία, σχετική υγρασία, τάση της μπαταρίας τροφοδοσίας του σταθμού, ταχύτητα ανέμου στα 10 και 17 m καθώς και διεύθυνση ανέμου. Τα όργανα μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσης βρίσκονται εγκατεστημένα σε ιστό ύψους 17m (Εικόνα 4.3.). Το ανεμόμετρο το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο στα 10 m έστειλε με μορφή τάσης τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου στον data logger. Αυτός με τη σειρά του, έστειλε τα δεδομένα αυτά σε μορφή DAT, στον ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου ήταν συνδεδεμένος (Εικόνα 4.4.). Κατόπιν με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft excel, απομονώσαμε τις τιμές ταχύτητας στα 10 m από τις υπόλοιπες, για περαιτέρω επεξεργασία.



Εικόνα 4.2. Μετεωρολογικός σταθμός.



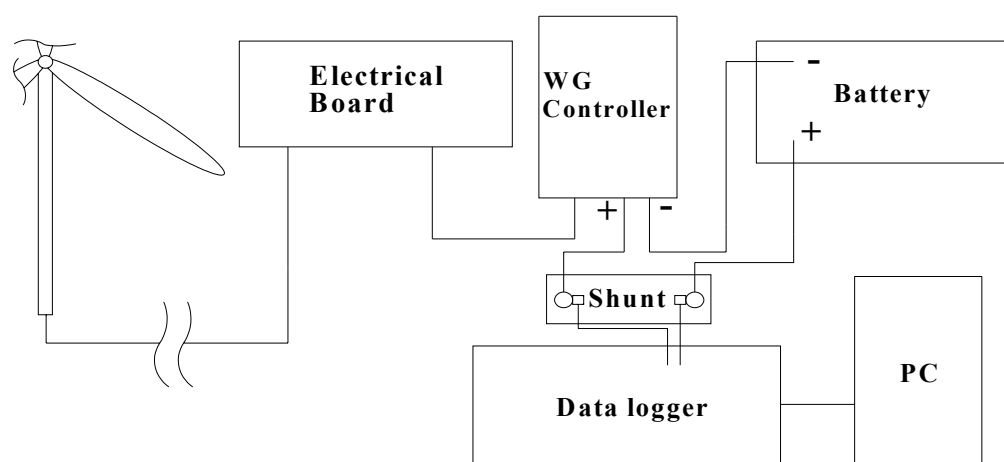
Εικόνα 4.3. Μετεωρολογικός ιστός.



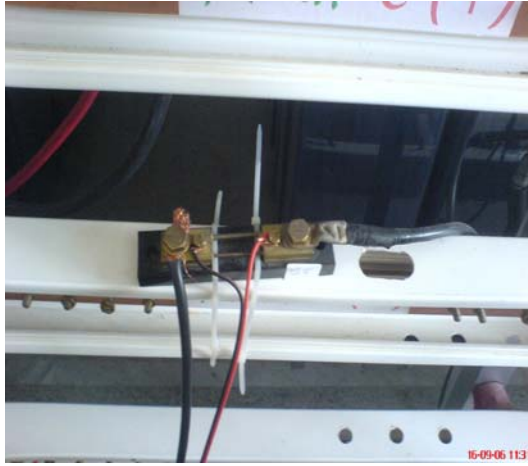
Εικόνα 4.4. Ηλεκτρονικός υπολογιστής αποθήκευσης και επεξεργασίας μετεωρολογικών δεδομένων

4.1.3. Συλλογή και επεξεργασία τιμών ρεύματος εξόδου ανεμογεννήτριας

Η συλλογή των τιμών ρεύματος εξόδου της ανεμογεννήτριας, έγινε με τον έξης τρόπο: (Σχήμα 4.1.) παρεμβάλλαμε μια αντίσταση shunt (Εικόνα 4.5.) μεταξύ των μπαταριών (Εικόνα 4.6.) και του ελεγκτή της ανεμογεννήτριας (Εικόνα 4.7.). Κάτωπιν, ο data logger (Εικόνα 4.8.) ο οποίος κατέγραφε την τάση (mV) από την αντίσταση shunt, έστειλε τα δεδομένα με μορφή DAT στον ηλεκτρονικό υπολογιστή τον οποίο ήταν συνδεδεμένος. Τέλος, ανοίγαμε τα αρχεία αυτά με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft excel και προχωρούσαμε στην επεξεργασία τους. Η επεξεργασία περιλάμβανε τη μετατροπή της τάσης (mV) που κατέγραφε ο Logger από τη shunt, σε ρεύμα (amp), μέσω του λόγου $60\text{mV}/40\text{ amp}$ που μας δίνει η shunt, καθώς επίσης και την αναγωγή των τιμών ρεύματος -πλέον- ανά 10 sec, σε τιμές ανά min και αυτό επειδή όπως είδαμε παραπάνω η τιμές ταχύτητας ανέμου λαμβάνονταν ανά λεπτό.



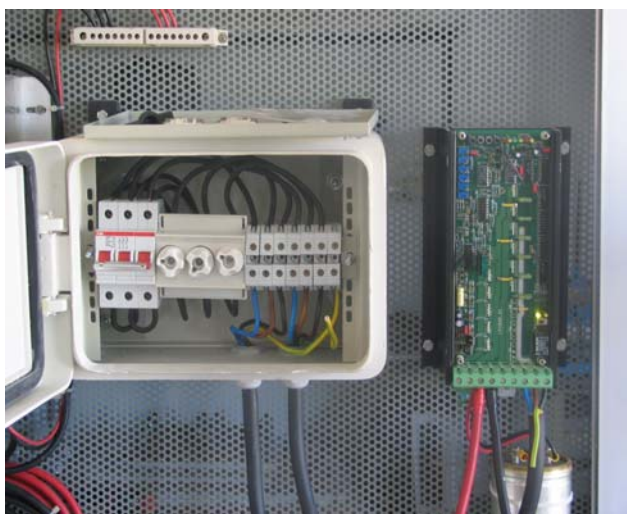
Σχήμα 4.1. Σχηματική παράσταση συνδεσμολογίας που πραγματοποιήθηκε για μέτρηση, καταγραφή και επεξεργασία, δεδομένων εξόδου ισχύος ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 4.5. Αντίσταση shunt 60mV/40 amp



Εικόνα 4.6. Συστοιχία μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας φωτοβολταϊκού εργαστηρίου



Εικόνα 4.7. Πίνακας και ελεγκτής φόρτισης ανεμογεννήτριας

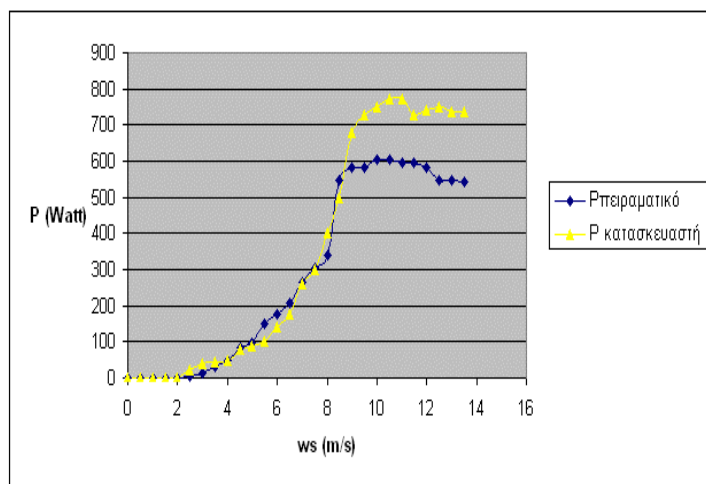


Εικόνα 4.8. Data logger Campbell για καταγραφή εξόδου ανεμογεννήτριας

4.1.4 Επεξεργασία δεδομένων για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής ισχύος-ταχύτητας ανέμου και αποτελέσματα

Από τον συνδυασμό και την επεξεργασία, των τιμών ταχύτητας ανέμου και ρεύματος εξόδου ανεμογεννήτριας, προέκυψε η χαρακτηριστική της ΑΓ. Για την επεξεργασία αυτή, χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Microsoft excel. Η επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε ήταν η εξής: στο file Ρολ.xls όπου βρίσκονταν οι τιμές ταχυτήτων ανέμου, κάθε χρονική στιγμή, προσθέσαμε τη στήλη με τις αντίστοιχες τιμές ρεύματος για την ίδια χρονική στιγμή. Στη συνέχεια, και με τη βοήθεια των φίλτρων που μας παρέχει το excel, ορίσαμε βήμα 0,5 m/s για τις τιμές της ταχύτητας ανέμου και βρήκαμε τις αντίστοιχες τιμές ρεύματος. Από αυτή την απλή επεξεργασία προέκυψε ο παρακάτω πίνακας-διάγραμμα (4.1.) (συμπεριλαμβάνονται οι τιμές ισχύος και το διάγραμμα του κατασκευαστή)

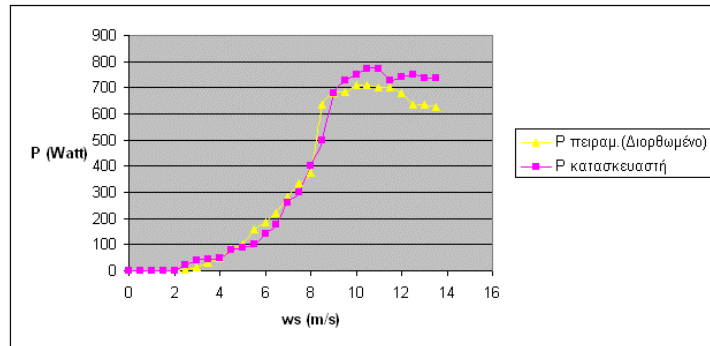
ws	Ρπειραματικό	Ρ κατασκευαστή
0	0	0
0,5	0	0
1	0	0
1,5	0	0
2	0	0
2,5	5	20
3	12	40
3,5	33	45
4	50	50
4,5	82	80
5	98	90
5,5	151	100
6	175	140
6,5	207	175
7	263	260
7,5	306	300
8	342	400
8,5	547	500
9	582	680
9,5	583	730
10	602	750
10,5	604	770
11	596	770
11,5	596	730
12	581	740
12,5	548	750
13	546	735
13,5	541	735



Πίνακας-διάγραμμα 4.1. Πειραματική και θεωρητική καμπύλη της ΑΓ (Aerocraft wind turbine 750 Watt).

Από τη σύγκριση των 2 διαγραμμάτων παρατηρούμε, ότι η καμπύλη του κατασκευαστή, όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου, δίνει μεγαλύτερη ισχύ από την πειραματική καμπύλη. Αυτό οφείλεται σε απώλειες του συστήματος τόσο στα ηλεκτρονικά μέρη, όσο και στην καλωδίωση. Θεωρήσαμε την απώλεια λόγω ηλεκτρονικών ίση με 0,85. Κατόπιν υπολογίσαμε την αντίσταση του καλωδίου σύνδεσης της ανεμογεννήτριας με τα ηλεκτρονικά μέρη του συστήματος, για να βρούμε τις απώλειες του(υπολογισμός στο file Ρολ.xls). Κατόπιν τούτου ο πίνακας και καμπύλη μας διαμορφώνεται ως εξής (πίνακας κ ολικό διάγραμμα)

ws	P πειραμ. (Διορθωμένο)	P κατασκευαστή
0	0	0
0,5	0	0
1	0	0
1,5	0	0
2	0	0
2,5	5	20
3	12	40
3,5	33	45
4	50	50
4,5	84	80
5	101	90
5,5	157	100
6	184	140
6,5	219	175
7	283	260
7,5	334	300
8	376	400
8,5	634	500
9	681	680
9,5	683	730
10	709	750
10,5	711	770
11	701	770
11,5	701	730
12	680	740
12,5	637	750
13	633	735
13,5	627	735



Πίνακας-διάγραμμα 4.2. Διορθωμένη πειραματική καμπύλη σε σύγκριση με καμπύλη κατασκευαστή.

4.1.5. Συμπέρασμα

Μετά και τον υπολογισμό των απωλειών, μπορέσαμε να διορθώσουμε την αρχική καμπύλη. Με τη διόρθωση αυτή, παρατηρούμε ότι, η χαρακτηριστική μας πλησιάζει σε ικανοποιητικό βαθμό την αντίστοιχη καμπύλη του κατασκευαστή. Έτσι λοιπόν μπορούμε να προχωρήσουμε στο υπολογισμό του μέσου συντελεστή ισχύος $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ της ανεμογεννήτριας, χρησιμοποιώντας τη χαρακτηριστική του κατασκευαστή. Επίσης είδαμε ότι όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου μεγαλώνουν και οι απώλειες κυρίως λόγω χρησιμοποίησης καλωδίου μικρότερης διατομής από την επιβαλλόμενη, γεγονός που προκαλεί μεγαλύτερη πτώση τάσης κατά μήκος του.

4.2. Υπολογισμός (έμμεσος και άμεσος) των $\bar{\eta}_{ΦΒ}$ και $\bar{\eta}_{ΑΓ}$

Ο υπολογισμός του $\bar{\eta}_{ΑΓ}$ μπορεί να γίνει είτε άμεσα, με βάση τον ορισμό του ($\bar{\eta}_{ΑΓ} = \bar{P}_{ΑΓ} / P_R$), αν διαθέτουμε δεδομένα ημερήσιας καταγραφής της αποδιδόμενης «στιγμιαίας» ισχύος της ΑΓ, είτε έμμεσα, από δεδομένα ημερήσιας καταγραφής «στιγμιαίας» ταχύτητας ανέμου ή μέσω των παραμέτρων k , c των αντιστοίχων καμπυλών Weibull. Η σύμπτωση των δύο τιμών αποδεικνύει την ορθότητα υπολογισμού του $\eta_{ΑΓ}$ από ανεμολογικά δεδομένα .

Ομοίως για τη ΦΒ συστοιχία ο $\bar{\eta}_{ΦΒ}$ μπορεί να υπολογιστεί αφενός, άμεσα, αν διαθέτουμε δεδομένα ημερήσιας καταγραφής της αποδιδόμενης μέγιστης ισχύος από τη ΦΒ συστοιχία ($\bar{\eta}_{ΦΒ} = \bar{P}_{ΦΒ} / P_P$), αφ' ετέρου έμμεσα, αν διαθέτουμε δεδομένα ημερήσιας μεταβολής της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας κυψελίδας του ΦΒ πλαισίου ($\bar{\eta}_{ΦΒ} = P_{R\sigma} \cdot H_t / G_{STC}$). Βεβαίως, ο ακριβής υπολογισμός της $P_{R\sigma}$ απαιτεί τη γνώση της μεταβολής και άλλων παραγόντων ($P_{R\sigma} = P_{R_{οπτ}} \cdot P_{R_T} \cdot \eta_{αα}$), που συνθέτουν τις λεγόμενες οπτικές απώλειες και τις αναφερόμενες ως άλλες απώλειες (θερμικές, στα καλώδια σύνδεσης). Για απλότητα, τις οπτικές απώλειες μπορούμε να τις θεωρήσουμε σταθερές κατά τη διάρκεια της ημέρας, ίσες με τη μέση τιμή τους στο διάστημα αυτό.

4.2.1 Υπολογισμός του $\bar{\eta}_{\Phi B}$

Για να υπολογίσουμε τον $\bar{\eta}_{\Phi B}$ χρησιμοποιούμε, όπως προαναφέρθηκε, δύο τρόπους, έμμεσα και άμεσα. Ο έμμεσος τρόπος είναι και ο θεωρητικός με τον οποίο υπολογίζουμε το συντελεστή ισχύος ως εξής: Πρώτον χρησιμοποιούμε τα δεδομένα ημερήσιας μεταβολής της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (G_t). Συγχρόνως έχουμε μετρήσει και τη θερμοκρασία του αέρα έτσι ώστε τελικά να βρούμε την θερμοκρασία κυψελίδας του ΦΒ πλαισίου (θ_c), η οποία υπολογίζεται μέσω αυτών των δύο δεδομένων. Αφού υπολογίσουμε και τη θ_c υπολογίζουμε την PR_{σ} μέσω της θ_c . Ο πολλαπλασιασμός τώρα της PR_{σ} με την G_t και το αποτέλεσμα τους διαιρεμένο δια χίλια δίνει τον συντελεστή ισχύος του ΦΒ.

Αντίστοιχα μπορούμε να υπολογίσουμε τον $\bar{\eta}_{\Phi B}$ άμεσα, δηλαδή μέσω πειραματικών δεδομένων όπως της μέγιστης ισχύος από ΦΒ συστοιχία. Αφού συλλέξουμε την μέγιστη ισχύ την πολλαπλασιάζουμε με το βήμα των μετρήσεων, στη περίπτωση μας με 0,25. Διαιρώντας έπειτα με την μια μέρα των μετρήσεων, δηλαδή με 24, βρίσκουμε τη μέση μέγιστη ισχύ. Έτσι για να βρούμε τον συντελεστή ισχύος τώρα διαιρούμε τη μέγιστη μέση ισχύ δια την ισχύ αιχμής του ΦΒ πλαισίου που στην περίπτωση μας έχει μετρηθεί με 25 W_p . Από την επεξεργασία των δεδομένων που αναφέραμε προηγουμένως προκύπτουν οι αντίστοιχοι συντελεστές ισχύος του ΦΒ πλαισίου για δύο μέρες.

	$\bar{\eta}_{\Phi B, \alpha \mu}$	$\bar{\eta}_{\Phi B, \epsilon \mu}$	$\bar{\eta}_{\Phi B, \alpha \mu} / \bar{\eta}_{\Phi B, \epsilon \mu}$
12MAY2004	0,258	0,250	1,029
23JUNE2004	0,234	0,238	0,978

Πίνακας 4.3. θεωρητικοί και πειραματικοί συντελεστές ισχύος $\bar{\eta}_{\Phi B}$ φωτοβολταϊκών

Στη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους βλέπουμε ότι οι τιμές των αποτελεσμάτων είναι αρκετά κοντά η μια με την άλλη. Εφόσον οι θεωρητικές τιμές επαληθεύονται από τις πειραματικές μπορούμε να βασιστούμε σε αυτές για, περαιτέρω υπολογισμούς και συμπεράσματα. Από τον θεωρητικό υπολογισμό βρήκαμε το $\bar{\eta}_{\Phi B}$ για κάθε μήνα και το παραθέτουμε στο επόμενο πίνακα. (Υπολογισμός του PR_T και H_t βρίσκεται στο file: npv theoretical.xls) .

month	H_t (kwh)	$\langle G_t \rangle$ (w)	$\langle G_{t,D} \rangle$	PR_T	PR	$\langle \eta_{pv} \rangle$
ιαν	3,35	139,74	363,15	0,997	0,827	0,116
φεβ	3,99	166,23	390,72	0,973	0,807	0,134
μαρ	4,86	202,67	417,65	0,957	0,794	0,161
απρ	5,99	249,39	457,05	0,960	0,796	0,199
μαιος	6,84	284,93	475,22	0,968	0,803	0,229
ιουν	6,59	274,47	437,35	0,981	0,813	0,223
ιουλ	6,72	279,85	453,66	0,950	0,788	0,220
αυγ	6,73	280,45	490,18	0,957	0,793	0,223
σεπτ	6,10	254,16	494,49	0,956	0,793	0,202
οκτ	4,50	187,49	415,10	0,961	0,797	0,149
νοε	3,26	135,87	339,78	0,954	0,791	0,107
δεκ	2,58	107,40	288,72	0,961	0,797	0,086

Πίνακας 4.4. Μηνιαίοι θεωρητικοί συντελεστές ισχύος $\bar{\eta}_{\Phi B}$ φωτοβολταϊκών

4.2.2. Υπολογισμός του $\bar{\eta}_{AG}$

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

Η διαδικασία την οποία ακολουθούμε είναι η εξής:

Καταγράφουμε ανά χρονικό διάστημα την ταχύτητα του ανέμου μέσα σε μια μέρα (στη περίπτωση μας ανά λεπτό). Αμέσως μετά υπολογίζουμε την κατανομή πιθανότητας των ταχυτήτων $f(u)$. Τέλος πολλαπλασιάζουμε την ανοιγμένη ισχύ της ΑΓ, τα δεδομένα τις οποίας μας δίνονται από την καμπύλη της ισχύος της διαιρεμένη με την ονομαστική της ισχύ, με την $f(u)$. Αθροίζοντας έτσι τα αποτελέσματα, βρίσκουμε τον $\bar{\eta}_{AG}$.

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

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

Από την επεξεργασία των δεδομένων μας (ανέμου, ρεύμα εξόδου ΑΓ και c, k από βάση δεδομένων Φωτοβολταϊκού εργαστηρίου) καταλήξαμε στα μηνιαία (άμεσα και έμμεσα) $\bar{\eta}_{AG}$ όπως παραθέτονται στον επόμενο πίνακα.

MONTHS	$\bar{\eta}_{AG}$ experimental	$\bar{\eta}_{AG}$ theoretical
IAN	0,158	0,149
FEB	0,143	0,135
MARCH	0,160	0,151
APRIL	0,136	0,128
MAY	0,092	0,088
JUNE	0,107	0,102
JULE	0,258	0,247
AUG	0,202	0,192
SEPT	0,110	0,104
OCT	0,099	0,094
NOV	0,063	0,066
DEC	0,218	0,211

Πίνακας 4.5. Μηνιαίοι θεωρητικοί και πειραματικοί συντελεστές ισχύος $\bar{\eta}_{AG}$ ανεμογεννήτριας

Κεφάλαιο 5.

5.1. Εφαρμογή.

Η εφαρμογή περιλαμβάνει τη χρήση των χαρακτηριστικών δεδομένων για τον υπολογισμό LCC ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος με τη βοήθεια του προγράμματος «Υβριδικό σύστημα.xls».

Γίνεται εφαρμογή σε δύο περιπτώσεις κατανομής μέσω μηνιαίων τιμών του συντελεστή $\bar{\eta}_{AG}$ (2 προφίλ ανεμολογικών δεδομένων). Η πρώτη περίπτωση αφορά στην περίπτωση προφίλ συμπληρωματικής μορφής σε σχέση με την αντίστοιχη κατανομή τιμών του $\bar{\eta}_{\Phi B}$, δηλαδή, ελάχιστο κατά τους θερινούς μήνες. Η δεύτερη που αντιπροσωπεύει καλύτερα την πραγματικότητα στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, αλλά και σε πολλές άλλες περιοχές της Κρήτης, όπου μπορεί να κτισθεί κατοικία και η οποία παρουσιάζει μέγιστο κατά τη θερινή περίοδο, κατά την οποία επικρατούν ισχυρότεροι άνεμοι (μελέμια). Το τυπικό προφίλ για τη Κρήτη προέρχεται από τους υπολογισμούς μας, και παρατίθεται στον πίνακα (4.5.) του κεφαλαίου 4.

5.1.1. Υπολογισμός ελαχίστου κόστους κύκλου ζωής (μέθοδος LCC) για αυτόνομη κατοικία.

Στη κατοικία αυτή θεωρούμε ότι διαμένει 4μελή οικογένεια. Οι κατοικία αυτή βρίσκεται σε αραιοκατοικημένη περιοχή και είναι βιοκλιματικά σχεδιασμένη για τη μείωση της σπατάλης ενέργειας. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βοηθά τόσο στον φωτισμό, με τη μείωση της ωριαίας χρήσης τεχνητών μέσων, καθώς επίσης και στη ψύξη-θέρμανση του χώρου αφενός λόγω της καλής μόνωσης αφετέρου λόγω της εκμετάλλευσης των φυσικών στοιχείων. Για ακόμα μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης λόγω φωτισμό, κάνουμε χρήση λαμπτήρων χαμηλής κατανάλωσης. Για τη θέρμανση του χώρου χρησιμοποιούμε τζάκι, το οποίο παράλληλα ζεσταίνει νερό σε ένα boiler και κατόπιν διανέμεται –με φυσική ροή– στα σώματα που είναι συνδεδεμένο. Η κουζίνα λειτουργεί με αέριο, και τέλος με τη χρήση ηλιακού θερμοσίφωνου έχουμε ζεστό νερό.

5.1.2. Προσδιορισμός φορτίων

Ο προσδιορισμός των φορτίων έγινε, λαμβάνοντας υπ' όψιν των περιορισμό που έχουμε, ως προς τη συνολική μέγιστη ενέργεια που θα καταναλώνουμε, μιας και η κατοικία που εξετάζουμε είναι ανεξάρτητη από το δίκτυο της ΔΕΗ. Θέσαμε μέγιστο τα 6 kWh και προχωρήσαμε στη εύρεση τυπικών καταναλώσεων, για μια κατοικία στην οποία διαμένει 4μελης οικογένεια, με 2 υπνοδωμάτια, σαλόνι, καθιστικό, WC, κουζίνα και εξωτερικό χώρο. Υπολογίζοντας τις καθημερινές ανάγκες της οικογένειας και της κατοικίας, συνυπολογίζοντας το μέγιστο όριο καταναλισκόμενης ενέργειας καταλήξαμε στα παρακάτω φορτία.

Φορτία	Ισχύς (Watt)	πλήθος	P (watt)	ώρες λειτουργίας	E (Wh)
ψυγείο 13 ποδών	120	1	120	16	1920
καταψύκτης	100	1	100	8	800
TV 14ιντσών	45	1	45	1,5	67,5
TV 21ιντσών	100	1	100	6	600
Φωτισμός καθιστικού-κουζίνας	25	2	50	6	300
φωτισμός υπνοδωματίων	20	3	60	3	180
εξωτερικός φωτισμός	8	3	24	8	192
Φωτισμός WC	20	1	20	3	60
στερεωφονικό συγκρότημα	200	1	200	0,5	100
pc	250	1	250	1,5	375
οθόνη TFT	20	1	20	1,5	30
printer-scanner	50	1	50	0,2	10
πλυντήριο	1500	1	1500	0,15	225
	2458		2544		4946

Πίνακας 5.1. Προσδιορισμός φορτίων κατοικίας

5.1.3. Υπολογισμοί.

Η μεθοδολογία βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost), ενός υβριδικού συστήματος συνιστάμενου από ΦΒ και ΑΓ, των οποίων οι τιμές ονομαστικής ισχύος προκύπτουν ως πολλαπλάσια τιμών που λαμβάνονται ως μονάδες.

Έστω P_{pi} (π.χ. $P_{pi} = 200$ W) η μονάδα ισχύος αιχμής ΦΒ πλαισίου, στο σύνολο της ΦΒ συστοιχίας. Μεταβάλλοντας το πλήθος των πλαισίων $N_{\Phi B}$ της συστοιχίας, δημιουργούμε συστοιχίες διαφόρων τιμών συνολικής ισχύος αιχμής $N_{\Phi B} P_{pi}$. Για κάθε τιμή ισχύος αιχμής Φβ συστοιχίας, υπολογίζεται η συνολική ονομαστική ισχύς των ανεμογεννητριών που απαιτούνται για την κάλυψη μηνιαίας μέσης ημερήσιας ισχύος κατανάλωσης. Η συνολική παραγόμενη μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς από το σύστημα ΑΠΕ, δίδεται από τη σχέση:

$$\overline{P_{ΑΠΕ}} = \overline{n_{\Phi B}} \cdot N_{\Phi B} \cdot P_{Pi} + \overline{n_{ΑΓ}} \cdot N_{ΑΓ} \cdot P_{Ri}$$

Όπου:

$\overline{\eta_{\Phi B}}$ = η μέση ημερήσια τιμή του συντελεστή ισχύος της ΦΒ συστοιχίας.

$N_{\Phi B}$ = το πλήθος των ΦΒ πλαισίων της συστοιχίας.

P_{pi} = η μονάδα ισχύος αιχμής ΦΒ πλαισίου στο σύνολο της ΦΒ συστοιχίας.

$\overline{\eta_{ΑΓ}}$ = η μέση ημερήσια τιμή του συντελεστή ισχύος της ΑΓ.

$N_{ΑΓ}$ = το πλήθος των ΑΓ του υβριδικού συστήματος.

P_{Ri} = η μονάδα ισχύος αιχμής των ΑΓ.

Ενώ η διαθέσιμη προς κατανάλωση ηλεκτρική ισχύς είναι:

$$P_{Y\Sigma} = \eta_{\text{μετ}} \overline{P_{\text{ΑΠΕ}}}$$

Όπου:

$\eta_{\text{μετ}}$ = ο συντελεστής μεταφοράς ενέργειας από την πηγή ΑΠΕ στη έξοδο του συστήματος, προς κατανάλωση.

Το ολικό κόστος των βασικών υποσυστημάτων ΦΒ + ΑΓ:

$$C_{\text{ΑΠΕ}} = c_{\text{ΦΒ}} + N_{\text{ΦΒ}} + P_{\text{ρι}} + c_{\text{ΑΓ}} + N_{\text{ΑΓ}} + P_{\text{ρι}}$$

Όπου

$c_{\text{ΦΒ}}$ = κόστος ΦΒ πλαισίων

$c_{\text{ΑΓ}}$ = κόστος ΑΓ.

Το συνολικό κόστος της επένδυσης του υβριδικού συστήματος, περιλαμβάνει εκτός από την αγορά των βασικών συνιστωσών (ΦΒ και ΑΓ), την εγκατάσταση του συστήματος, την αγορά του Η/Ζ, των συσσωρευτών και των ηλεκτρονικών διατάξεων έλεγχου και επιτήρησης.

Για τον υπολογισμό του Υ/Σ χρησιμοποιούμε τα παρακάτω βασικά δεδομένα

Κόστος ΦΒ πλαισίων = 4,5 €/W.

Κόστος ΑΓ = 3,2 €/W.

Κόστος συσσωρευτών = 150 €/kWh.

Αυτονομία συσσωρευτών = 2 ημέρες.

Βάθος εκφόρτισης = 40%.

Συντελεστής μεταφοράς ενέργειας = 0,75.

Κόστος inverter = 1 €/W.

Κόστος ελεγκτή φόρτισης = 0,4 €/W

Κόστος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους = 0,15 €/W.

Ειδική απόδοση καυσίμου = 2 kWh/l.

Κόστος καυσίμου = 0,5 €/kWh.

Χρόνος ζωής επένδυσης = 20 έτη.

Τρέχον επιτόκιο : $d = 5\%$.

Πληθωρισμός : $i = 3,5\%$.

Χρόνος αντικατάστασης συσσωρευτών = 10 έτη.

Χρόνος αντικατάστασης Η/Ζ = 10 έτη.

Παράγων παρούσας αξίας : PVF, 10 έτη, (20 έτη) = 0,86, (0,74).

Παράγων ανάκτησης κεφαλαίου : CRF (20 έτη) = 0,059

5.1.3.1. Αποτελέσματα αυτόνομης κατοικίας (Προφίλ Κρήτης)

Φωτοβολταϊκή συστοιχία : $P_p = 750$ Watt

Ανεμογεννήτρια: $P_R = 550$ Watt

Κόστος αγοράς ΑΠΕ: $C_{ΑΠΕ} = 5135$ €

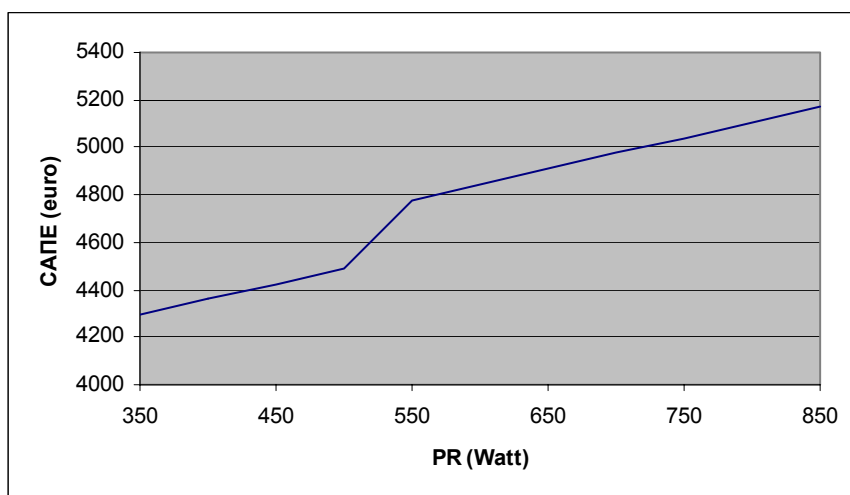
Κόστος κύκλου ζωής: $LCC = 33476$ €

Ετησίως καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ: $E_{Ly} = 1647$ KWh

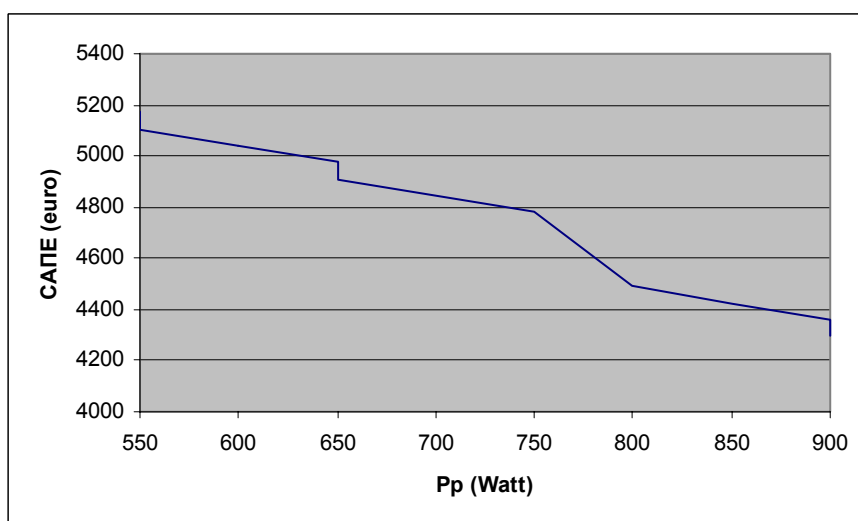
Ετησίως καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια από γεννήτρια: $E_{gen} = 50$ KWh

Κόστος ενέργειας: $COE = 1,189$ €/KWh

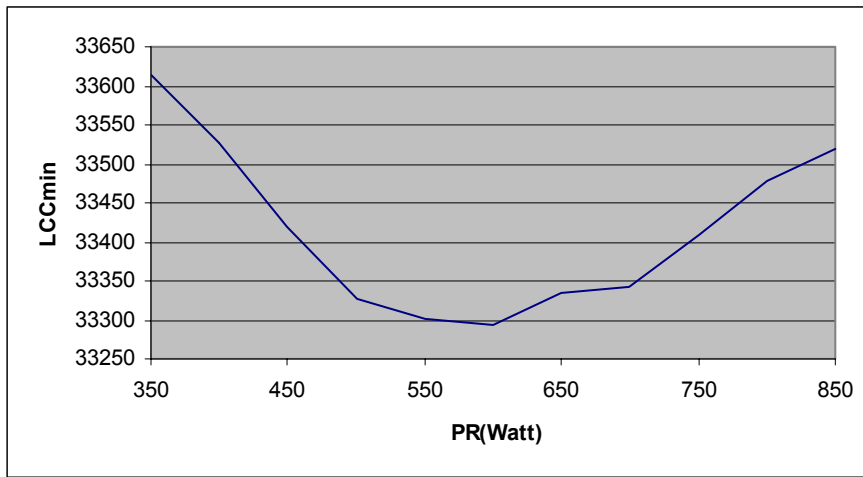
Αυτό λοιπόν είναι το οικονομικότερο ενεργειακό σύστημα που προέκυψε από τη μέθοδο ελαχιστοποίησης LCC.



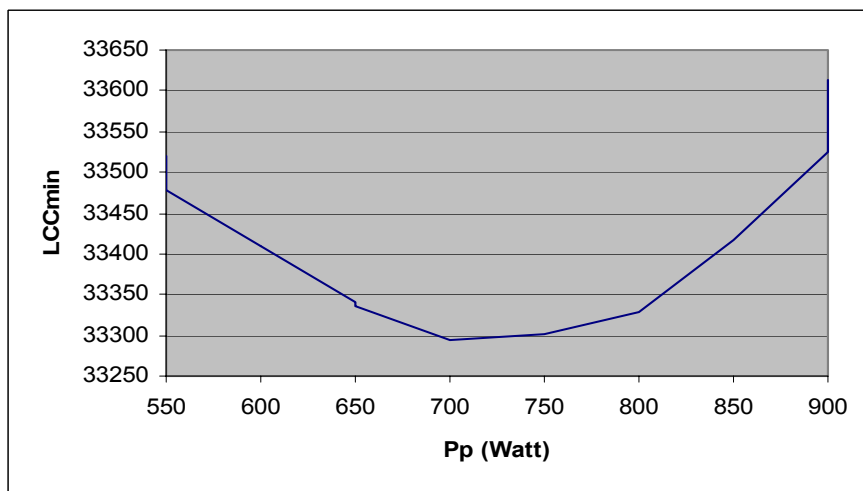
Γράφημα 5.1. Μεταβολή του κόστους του συστήματος ΑΠΕ, ανάλογα με τη συνολική ισχύ των ΑΓ.



Γράφημα 5.2. Μεταβολή του κόστους του συστήματος ΑΠΕ, ανάλογα με τη συνολική ισχύ της ΦΒ συστοιχίας.



Γράφημα 5.3. Μεταβολή του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος, ανάλογα με τη συνολική ισχύ των ΑΓ.



Γράφημα 5.4. Μεταβολή του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος, ανάλογα με τη συνολική ισχύ της ΦΒ συστοιχίας.

5.1.3.2. Αποτελέσματα αυτόνομης κατοικίας (υψηλοί άνεμοι τους χειμερινούς μήνες. Τυπικό προφίλ)

Φωτοβολταϊκή συστοιχία : $P_p = 700 \text{ Watt}$

Ανεμογεννήτρια: $P_R = 600 \text{ Watt}$

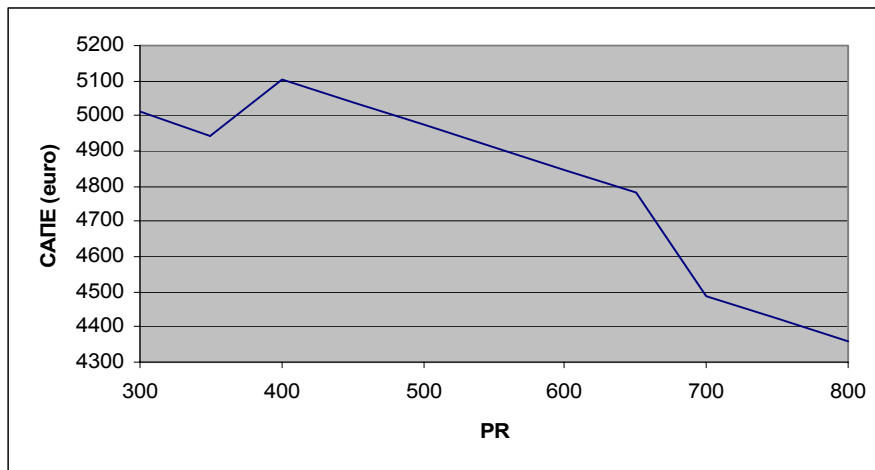
Κόστος αγοράς ΑΠΕ: $C_{ΑΠΕ} = 5070 \text{ €}$

Κόστος κύκλου ζωής: $LCC = 33293 \text{ €}$

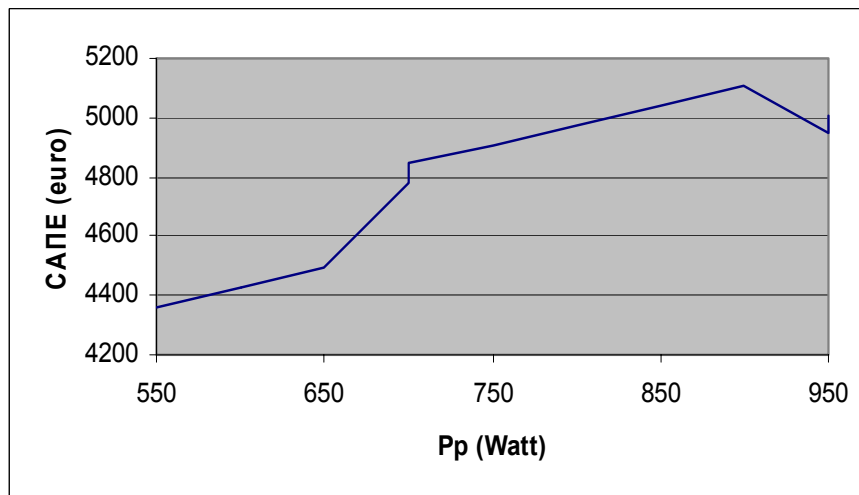
Ετησίως καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ: $E_{Ly} = 1647 \text{ KWh}$

Ετησίως καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια από γεννήτρια: $E_{gen} = 40,3 \text{ KWh}$

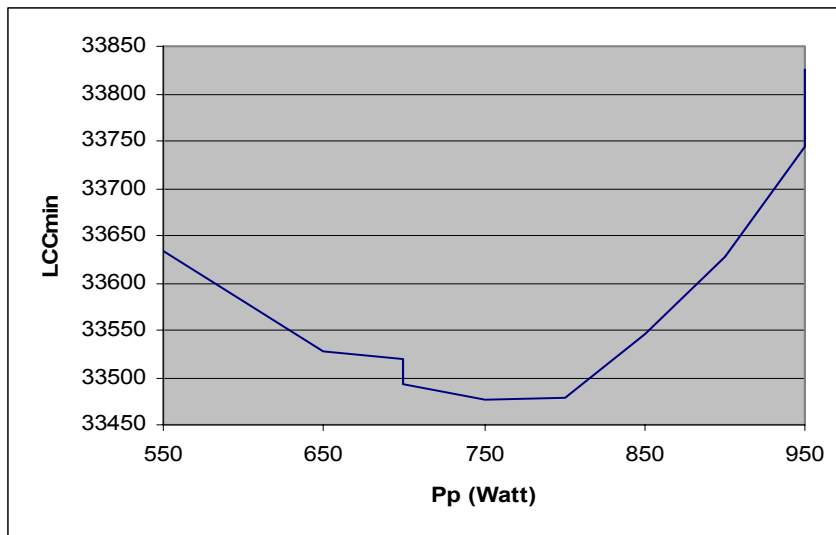
Κόστος ενέργειας: $COE = 1,183 \text{ €/KWh}$



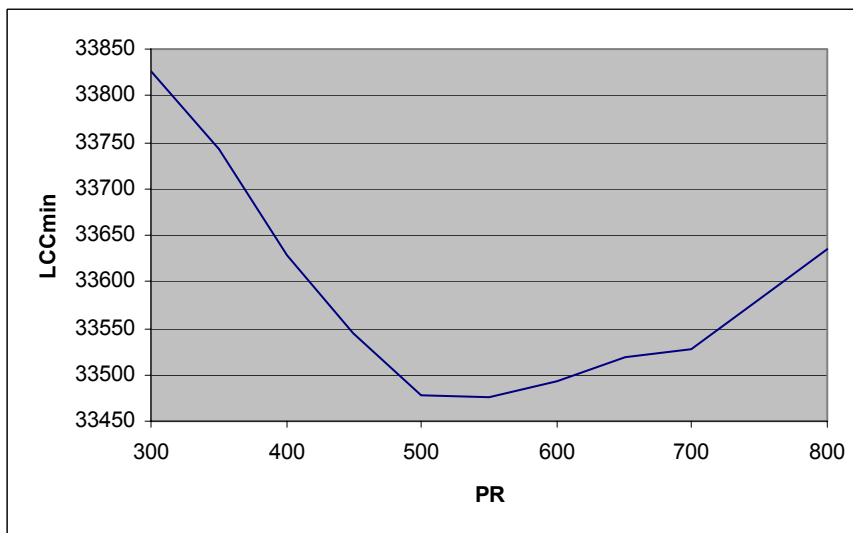
Γράφημα 5.5. Μεταβολή του κόστους του συστήματος ΑΠΕ, ανάλογα με τη συνολική ισχύ των ΑΓ.



Γράφημα 5.6. Μεταβολή του κόστους του συστήματος ΑΠΕ, ανάλογα με τη συνολική ισχύ της ΦΒ συστοιχίας.



Γράφημα 5.7. Μεταβολή του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος, ανάλογα με τη συνολική ισχύ των ΑΓ.



Γράφημα 5.8. Μεταβολή του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος, ανάλογα με τη συνολική ισχύ της ΦΒ συστοιχίας.

Συμπέρασμα

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο προφίλ (Κρήτης με υψηλούς ανέμους τους θερινούς μήνες και τυπικό προφίλ(συμπληρωματικό)), συμπεραίνουμε ότι όσο περισσότερο διεισδύουν τα αιολικά πέφτει το κόστος, τόσο το CAPE όσο και το κόστος της kWh. Αυτό συμβαίνει λόγω του φθηνότερου κόστους ανά kW για την ανεμογεννήτρια, το οποίο κυμαίνεται στα 3,2 euro/W, για ένα μικρό σύστημα, τη στιγμή που η τιμή για τα φωτοβολταϊκά είναι περίπου 4,5 euro/W.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- «Ανεμοκινητήρες», **Γ.Μπεργελές**, Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ 1994
- « Διαχείριση Της Αιολικής Ενέργειας », **Ιωάννης Καλδέλης**, Εκδόσεις Α.ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ 1999
- «φωτοβολταϊκά συστήματα», **Ι.Φραγκιαδάκης**, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- «Αιολικά Συστήματα», **Δ.Χρηστάκης,Κ.Κονταξάκης,Β.Φασουλάς**, Ηράκλειο 1999
- Σημειώσεις μαθήματος «Φωτοβολταϊκά συστήματα» Π.Σ.Ε. ΕΝ.ΠΕ.Τ., **Ι.Φραγκιαδάκης**, Ηράκλειο 2002
- Σημειώσεις μαθήματος «Εισαγωγή στην ΕΝ.ΠΕ.Τ» Π.Σ.Ε. ΕΝ.ΠΕ.Τ, **Α.Βλησίδης**, Ηράκλειο 1999
- Σημειώσεις μαθήματος «Εξοικονόμηση και Διαχείριση Ενέργειας» Π.Σ.Ε. ΕΝ.ΠΕ.Τ., **Μ.Κτενιαδάκης**, Ηράκλειο 2002
- Πτυχιακή εργασία «ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΣΤΗΝ ΑΡΒΗ) », **Μ.Χατζηδάκης**, Ηρακλειο 2003
- Πτυχιακή εργασία «Σχεδιασμός πρότυπης κτηνοτροφικής μονάδας και κάλυψη των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια από τις Α.Π.Ε.», **Β.Μαρκάκη**, Ηράκλειο 2005