



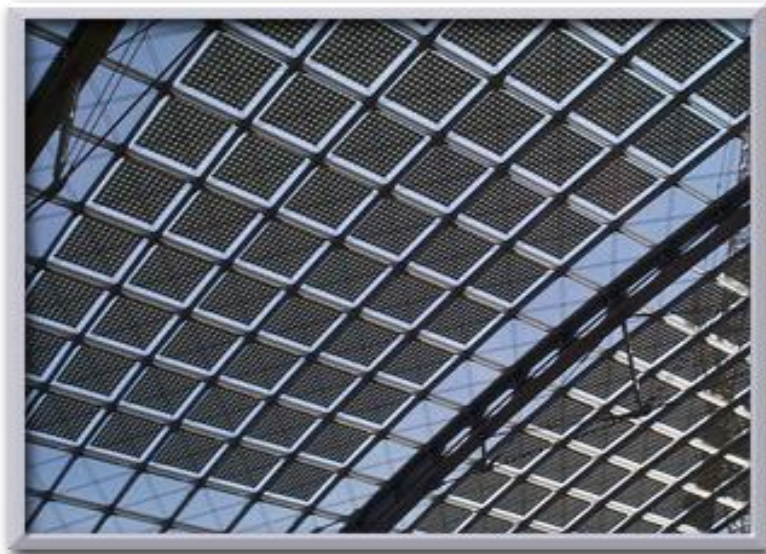
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος Χ. Πλακούτσης

“ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΑΝΗ ΗΛΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΣΕ ΧΑΜΗΛΕΣ ΕΝΤΑΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.”



Επιβλέπων : Μαρία Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015

Copyright © Πλακούτσης Χ. Νικόλαος, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου .

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη συνδρομή της καθηγήτριάς μου, κα Ιωαννίδου Μαρία, την οποία θέλω να ευχαριστήσω εκ καρδίας για την ανάθεση στο πρόσωπό μου του συγκεκριμένου θέματος καθώς και για την πολύτιμη συνδρομή και την αμέριστη συμπαράστασή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	
Περίληψη	
Εισαγωγή	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

1.1 Γενικά	
1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	
1.3 Αιολική ενέργεια	
1.4 Γεωθερμική ενέργεια	
1.5 Υδροηλεκτρική ενέργεια	
1.6 Βιοενέργεια	
1.7 Ηλιακή ενέργεια, Φ/Β συστήματα	
1.7.1 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια	
1.7.2 Κατασκευή στήριξης	
1.7.3 Συστήματα μετατροπής ισχύος	
1.7.4 Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, προστασίας και λοιπά στοιχεία ...	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Παράγοντες σχεδιασμού και κατασκευής φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων

2.1 Ποιότητα κατασκευής	
2.2 Φυσικοί παράμετροι και τεχνικά χαρακτηριστικά	
2.2.1 Η ισχύς του πάρκου	
2.2.2 Μελέτη περίπτωσης: Φωτοβολταϊκό πάρκο στα Χανιά Κρήτης	
2.3 Επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος	
2.3.1 Προσανατολισμός των Φ/Β πλαισίων	
2.3.2 Προβλήματα σκιασμών	
2.3.3 Στατική μελέτη και υλικά στήριξης	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μέτρηση ποιότητας και αποδοτικότητας φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων

- 3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση
- 3.2 Διάγραμμα ροής ενέργειας Φ/Β πάρκου
- 3.3 Μελέτης περίπτωσης: Ανάλυση απόδοσης Φ/Β πάρκου στην Κρήτη
- 3.3.1 Το Φ/Β πάρκο
- 3.3.2 Ανάλυση του συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συστήματα πιστοποίησης ποιότητας

- 4.1 Επιθεώρηση και πιστοποίηση έργων κατασκευής Φ/Β συστημάτων
- 4.2 Πιστοποίηση σε όλες τις φάσεις κατασκευής ενός Φ/Β συστήματος
- 4.3 Πιστοποίηση ποιότητας γραμμής παραγωγής Φ/Β πλαισίων
- 4.4 Πιστοποίηση συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ποιότητα και συστήματα πιστοποίησης σε άλλες εναλλακτικές μορφές

- 5.1 Πιστοποίηση ποιότητας σε αιολικά πάρκα
- 5.1.1 Επιλογή τοποθεσίας αιολικού πάρκου
- 5.1.2 Ποιότητα ισχύος αιολικού πάρκου
- 5.1.3 Αξιοπιστία αιολικής ενέργειας
- 5.1.4 Εταιρείες και οργανισμοί πιστοποίησης αιολικής ενέργειας
- 5.2 Ποιότητα και βιομάζα
- 5.3 Ποιότητα και γεωθερμική ενέργεια
- 5.4 Ποιότητα και υδροηλεκτρική ενέργεια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

- Συπεράσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Μέτρηση χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας και απόδοσης σύγχρονου φωτοβολταϊκού πλαισίου με (ημι)διαφανή ηλιακά κύτταρα σε χαμηλές εντάσεις ηλιακής ακτονοβολίας. Ανάλυση πειραματικών δεδομένων.

7.1 Βασικά χαρακτηριστικά KEITHLEY 2420	
7.2 Πειραματική διαδικασία με χρήση KEITHLEY 2420	
7.3 Πειραματική διαδικασία με χρήση αντίστασης	
Βιβλιογραφική πηγή	

Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ποιότητα στα συστήματα εναλλακτικών μορφών ενέργειας με έμφαση στα φωτοβολταϊκά πάρκα καθώς και σε μεμονωμένο διαφανές ηλιακό πάνελ Αρχικά, γίνεται αναφορά στα είδη των Α.Π.Ε. όπου δίνεται έμφαση στην ηλιακή ενέργεια, αναλύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και παρουσιάζονται τα μέρη από τα οποία αποτελούνται. Στη συνέχεια, αναφέρονται κάποιοι κρίσιμοι παράγοντες που έχουν να κάνουν με το σχεδιασμό και την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων, όπου παρατίθεται και μια μελέτη περίπτωσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου στα Χανιά Κρήτης και αποτιμώνται κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του, που κρίνουν την απόδοση και την ποιότητά του. Η διπλωματική, συνεχίζει παρουσιάζοντας κάποιους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων. Εκεί, αναφέρονται, το διάγραμμα ροής ενέργειας φ/β πάρκου, κάποιοι δείκτες αξιολόγησης του φ/β συστήματος και παρατίθεται μια μελέτη περίπτωσης όπου αναλύεται η απόδοση ενός φ/β πάρκου. Επίσης, παρουσιάζεται η ποιότητα και τα συστήματα που την πιστοποιούν σε άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας, πέραν της ηλιακής. Τέλος, αναλύεται ένα διαφανές ηλιακό πάνελ ως προς τις χαρακτηριστικές του σε χαμηλή όμως ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.

Εισαγωγή

Το φωτοβολταϊκό (ΦΒ) φαινόμενο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1839 από τον φυσικό Edmund Bequerel πάνω σε ηλεκτρολυτικά υγρά. Ο ρόλος του φαινομένου αυτού και η αξιοποίησή του προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναδείχτηκε μετά από περίπου 100 χρόνια. Συγκεκριμένα το 1954 παρασκευάστηκε η πρώτη ΦΒ κυψελίδα κρυσταλλικού πυριτίου με απόδοση 4,5% και αμέσως μετά έφτασε το 6%. Ακολούθησε εντατικοποίηση των προσπαθειών για δημιουργία ΦΒ στοιχείων υψηλότερης και σταθερότερης απόδοσης. Στις μέρες μας η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων έχει φτάσει σε ικανοποιητικά επίπεδα προδιαγράφοντας την ευρεία διείσδυσή τους στο ενεργειακό δυναμικό κάθε χώρας. Τα ΦΒ διακρίνονται για την αέναη, αποδοτική, ήπια και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι η συμβολή των τριτοβάθμιων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της χώρας μας αλλά και παγκοσμίως θα είναι καθοριστική στους τομείς της εκπαίδευσης και της τεχνολογικής έρευνας και ανάπτυξης ώστε να αντιμετωπιστεί το μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη.

Στις μέρες μας έχει πλέον καταστεί απολύτως σαφές ότι η ανεξέλεγκτη χρήση ορυκτών καυσίμων ευθύνεται για την υπερθέρμανση του πλανήτη με ό,τι συνεπάγεται αυτό (μεταβλητότητα του κλίματος, ακραία φυσικά φαινόμενα, συχνότεροι καύσωνες, καταστροφή οικοσυστημάτων κ.λπ.). Εκείνο όμως που δεν έχει κατανοηθεί πλήρως είναι ότι το πρόβλημα έχει και μία άλλη, εξίσου σημαντική, διάσταση: πέρα από οικολογικό είναι και οικονομικό-ενεργειακό. Οι πλέον αισιόδοξες εκτιμήσεις αναφέρουν ότι η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα φτάσει στο αποκορύφωμά της στο τέλος της τρέχουσας δεκαετίας, με αποτέλεσμα οι τιμές του μαύρου χρυσού να εκτοξευθούν σε δυσθεώρητα ύψη. Αλλά ούτε και τα αποθέματα γαιανθράκων είναι ανεξάντλητα. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το πετρέλαιο τροφοδοτεί ανά τον κόσμο πολέμους, διαφθορά και τρομοκρατία λόγω της γεωπολιτικής του σημασίας, δείχνει ξεκάθαρα ότι το ενεργειακό-περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη θα μπορούσε να λυθεί μόνο με την άμεση και σταθερή μετάβαση σε μία μεταπετρελαϊκή, μεταανθρακική παγκόσμια οικονομία, η οποία δεν θα επιβαρύνει με νέους ρύπους την ατμόσφαιρα και δεν θα είναι εξαρτημένη από το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Εξάλλου, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) υπόσχονται όχι μόνο ένα καλύτερο ενεργειακό και περιβαλλοντικό μέλλον, αλλά και περισσότερες θέσεις εργασίας, χαμηλότερη διακύμανση τιμών στη διεθνή αγορά, ενεργειακή ανεξάρτηση από πολυεθνικές εταιρίες που διακινούν πετρέλαιο και δυνατότητα εφαρμογής τους ακόμη και σε αγροτικές ή ημιαγροτικές περιοχές (γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τις χώρες του Τρίτου Κόσμου.) Για την πραγμάτωση αυτού

του στόχου δεν αρκούν τα μέτρα που προέβλεπε το γνωστό Πρωτόκολλο του Κιότο. Απαιτούνται μεγαλύτεροι περιορισμοί, αυστηρότερες νομοθεσίες και, το σημαντικότερο, μια άμεση στροφή στις καινοτόμες τεχνολογίες νέων καυσίμων και εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

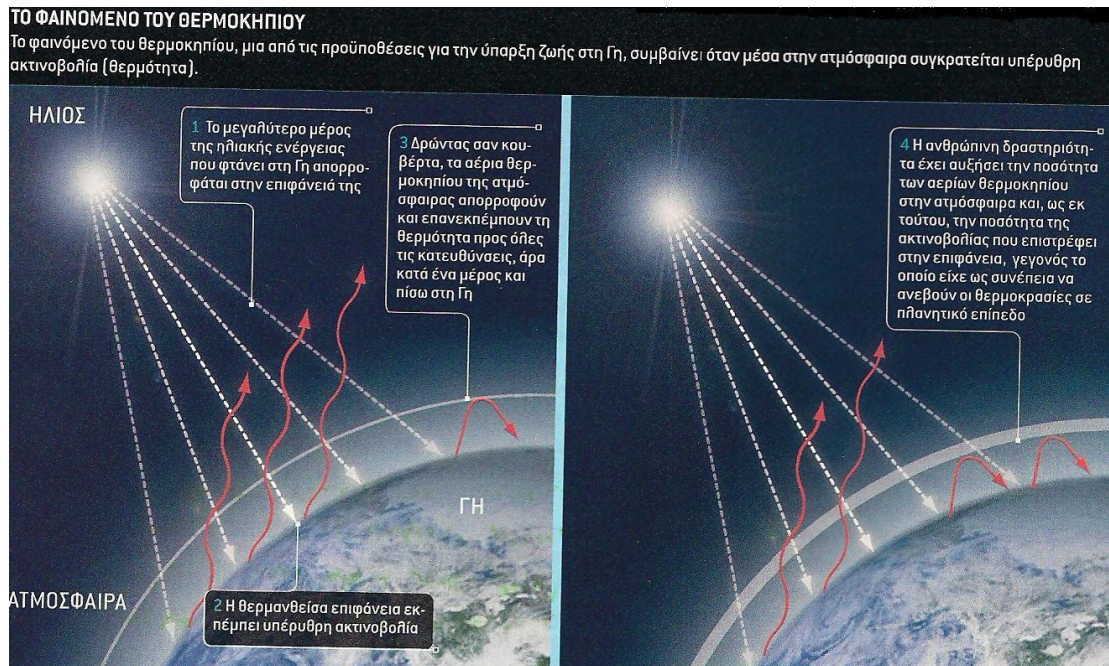
Βιοκαύσιμα, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, ηλιακή- φωτοβολταϊκή ενέργεια, ενέργεια ωκεανών αλλά και <<καθαρή>> πυρηνική ενέργεια είναι μερικές από τις προτεινόμενες λύσεις, οι οποίες βρίσκονται ήδη κοντά σε ένα σημείο καμπής, στο κρίσιμο στάδιο της χρηματοδότησης για έρευνα και ανάπτυξη. Το ενθαρρυντικό είναι ότι υπάρχει μεγάλο διεθνές ενδιαφέρον για αυτές τις καινοτόμες τεχνολογίες καυσίμων, ωστόσο δεν έχουν δρομολογηθεί όλες εκείνες οι εξελίξεις που θα μπορούσαν να ανοίξουν τις αγορές στην ανανεώσιμη ενέργεια σε επίπεδο πόλεων και κρατών ανά τον κόσμο.

Η παγκόσμια θέρμανση είναι πλέον πραγματικότητα. Για την αντιμετώπισή της, η καινοτομία στην ενεργειακή τεχνολογία και πολιτική αναδεικνύεται σε αναγκαιώδη παράγοντα. Τα τωρινά επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα- πλησιάζουν τα 400 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) στην ατμόσφαιρα της Γης- είναι υψηλότερα απ' ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή κατά τα τελευταία 650.000 τουλάχιστον χρόνια, αναμένεται δε έως το έτος 2050 να φτάσουν στα 530 ppm εφόσον δεν επιχειρηθεί κάποια ριζική παρέμβαση.

Η Γη χρειάζεται αέρια θερμοκηπίου- στα οποία περιλαμβάνονται οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο- προκειμένου να εμποδίζεται η διαφυγή προς το διάστημα ενός μέρους της θερμότητας από τη λαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία, έτσι ώστε να διατηρείται ο πλανήτης φιλόξενος. Από τα 20 έως τώρα καταγεγραμμένα θερμότερα έτη, σχεδόν όλα σημειώθηκαν από τη δεκαετία του 1980 και εντεύθεν. Ουδείς γνωρίζει τι ακριβώς πρόκειται να συμβεί εάν η κατάσταση αφεθεί ανεξέλεγκτη- βλέπετε, είναι αδύνατον να προβλεφθεί η ακριβής ημερομηνία κατά την οποία ένα παγκόσμιο στρώμα πάγου θα ολοκληρώσει τη μετατροπή φάσης που θα το φέρει από τη στερεά κατάσταση στην υγρή, και γι' αυτό οι ομάδες δημοσίου συμφέροντος που τηρούν σκεπτικιστική στάση απέναντι στην παγκόσμια θέρμανση συνεχίζουν να ανοητολογούν για τις αβεβαιότητες της κλιματικής αλλαγής. Αλλά δεν υπάρχει κλιματολόγος που να μην τον τρομάζει το ενδεχόμενο να του δοθεί κάποτε η ευκαιρία να ελέγξει εμπειρικά τι θα συμβεί εάν τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα αφεθούν να υπερβούν κατά πολύ τα 500 ppm.

Η αποτροπή της μετατροπής της ατμόσφαιρας από θερμοκήπιο σε φυσικό «θερμαινόμενο θερμοκήπιο» πιθανώς αντιπροσωπεύει την επιβλητικότερη επιστημονική και τεχνική πρόκληση που αντιμετώπισε ποτέ η ανθρωπότητα. Ο αδιάλειπτος συνδυασμός και συντονισμός τεχνικών και πολιτικών πόρων υπεράνω συνόρων επί έναν αιώνα ή και πλέον που

θα χρειαστεί για να τεθεί υπό έλεγχο η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κάνει μια αποστολή στη Σελήνη ή το πρόγραμμα Μανχάταν να φαίνονται σχετικώς στοιχειώδη.



Η κλιματική αλλαγή επιβάλλει μια τεράστια αναδιάρθρωση της παγκόσμιας ενεργειακής οικονομίας. Οι ανησυχίες για τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων δεν προσλαμβάνουν διαστάσεις κρίσεως παρά μόνο όταν λαμβάνεται υπόψη η περιφρούρηση του κλίματος. Το Κιότο πιθανόν να υπήρξε ένα αναγκαίο πρώτο βήμα, έστω και μόνον επειδή έριξε φως στον γεμάτο εμπόδια δρόμο που έχουμε να διανύσουμε. Ωστόσο, η σταθεροποίηση των εκπομπών άνθρακα θα απαιτήσει ένα πιο χειροπιαστό σχέδιο για την περαιτέρω οικονομική μεγέθυνση ενόσω θα οικοδομείται μια <<αποανθρακοποιημένη>> ενεργειακή υποδομή.

Ίσως κάποια αποφασιστική πρόοδος στις ηλιακές κυψέλες να μας βάλει στη φωτοβολταϊκή εποχή, επιτρέποντας τόσο σε ένα χαλβουργείο όσο και σε ένα χρήστη κινητού τηλεφώνου να αντλούν όλα τα βατ από μία και μοναδική πηγή. Αλλά αν αυτό δεν συμβεί-και πιθανότατα δεν θα συμβεί- θα απαιτηθούν πολλές τεχνολογίες (βιοκαύσιμα, ηλιακή, υδρογονική και πυρηνική ενέργεια) για να επιτευχθεί ικανοποιητική προσφορά «χαμηλοανθρακικής ενέργειας». Η υπερβολική προσήλωση στη μία ή την άλλη τεχνολογία θα μπορούσε να εκτροχιάσει τη δυναμική μιας βιώσιμης ατζέντας για την αποανθρακοποίηση. Άλλες ριζοσπαστικότερες ιδέες, όπως οι ηλιοηλεκτρικοί σταθμοί στο απώτερο Διάστημα και οι γεννήτριες σύντηξης, ενδέχεται να μπουκ στην πράξη αν οι προφήτες του σήμερα αποδειχθούν κοντόφθαλμοι έπειτα από 50 χρόνια.

Όσον αφορά την κατάσταση στη χώρα μας, οι Α.Π.Ε. συγκαταλέγονται στις προτεραιότητες κάθε κυβέρνησης, ωστόσο υπάρχει ακόμη αρκετός δρόμος να διανυθεί για να μπορούμε να πούμε ότι έχουν επιτευχθεί κάποιοι ικανοποιητικοί στόχοι (όπως η μείωση των εισαγωγών και η ενεργειακή αυτονομία της χώρας). Τα αίτια της καθυστέρησης είναι γνωστά: η γραφειοκρατία στις αδειοδοτικές διαδικασίες, οι χαμηλές χρηματοδοτήσεις και επενδύσεις, η απουσία χωροταξικών σχεδίων και η έλλειψη ενημέρωσης. Μόνον φέτος σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στους προαναφερθείς τομείς. Χαρακτηριστικά ας αναφέρουμε ότι, ενώ η χώρα μας διαθέτει τα καλύτερα αιολικά πεδία στην Ευρώπη, παράγει μόνο 700 μεγαβάτ από αιολική ενέργεια, δηλαδή το 2% περίπου της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής. Ομοίως και στους άλλους τομείς η σχετική έρευνα και τεχνολογία βρίσκονται σε εμβρυακή κατάσταση: η ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα ανέρχεται σε 2,7 γιγαβατώρες περίπου (στοιχεία 2003), ποσοστό πολύ μικρό αν σκεφτούμε τις μεγάλες περιόδους ηλιοφάνειας στη χώρα μας. Γενικά, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμμετέχουν στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κατά 93% οι ανανεώσιμες πηγές καλύπτουν μόνο το 7% με σημαντικότερη τη βιομάζα (που χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε κάποιες γεωργικές βιομηχανίες) και την ηλιακή ενέργεια. Τα τελευταία χρόνια, βέβαια, πολλές εταιρίες δραστηριοποιούνται στο χώρο των Α.Π.Ε. σε οικιακό και βιομηχανικό επίπεδο, αλλά οι περισσότερες από αυτές παραμένουν ακόμη σε κατασκευαστικό στάδιο. Είναι όμως ώρα να συνειδητοποιήσουμε ότι η υπερβολική επιφυλακτικότητα και η ασθενής πολιτική βούληση για την προώθηση των Α.Π.Ε. μπορεί να αποδειχθούν- και παγκοσμίως και στη χώρα μας- όχι μόνο περιβαλλοντικά καταστροφικές αλλά και οικονομικά επιζήμιες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

1.1 Γενικά

Η έννοια της βιώσιμης ή αειφόρου ανάπτυξης διατυπώθηκε από την παγκόσμια επιτροπή για το περιβάλλον και την ανάπτυξη ως εξής : “**βιώσιμη**” είναι η ανάπτυξη η οποία πληροί τις προϋποθέσεις για την ικανοποίηση των αναγκών της σημερινής γενιάς χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες. Η δυνατότητα για βιώσιμη ανάπτυξη είναι υπαρκτή όσο υπάρχουν ανανεώσιμοι πόροι συμπεριλαμβανομένων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αξιοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Η χρησιμοποίηση των υδρογονανθράκων ως βασική πηγή ικανοποίησης των ενεργειακών αναγκών, έχει να κάνει σε μεγάλο βαθμό με το ότι η τεχνολογία της καύσης στην οποία στηρίζεται η αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου αυτών, προϋπήρχε εδώ και πολλά χρόνια και η τεχνολογική εξέλιξή της ήταν πιο προσιτή σε ότι έχει να κάνει με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να υπάρξει εμπορική εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχομένου των ΑΠΕ πρέπει να υπάρχει ένα πολύ πιο ανεπτυγμένο επίπεδο τεχνολογίας, το οποίο δεν είχε αναπτυχθεί κατά την περίοδο την οποία η κυριαρχία των υδρογονανθράκων επικρατούσε ως κύρια πηγή ενέργειας (μέσα 18^{ου} – αρχές 20^{ου} αιώνα). Από τα προηγούμενα, εξαίρεση αποτελεί, η υδροηλεκτρική ενέργεια που αποτέλεσε την πηγή ενέργειας των πρώτων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για εμπορική διάθεση και ως σήμερα κατέχει σημαντική θέση στο κομμάτι της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια (19% των παγκόσμιων αναγκών).

Κάθε πηγή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώνεται μέσω φυσικών φαινομένων μόνιμου κύκλου, μπορεί να περιλαμβάνεται στην ευρύτερη έννοια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.). Πρόκειται για ‘καθαρές’ μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδесμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ευρέως. Παράλληλα, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση αλλά απλώς, η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Αυτό σημαίνει πως πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο ήλιος, ο άνεμος, οι

υδατοπτώσεις, η βιομάζα, η γεωθερμία κ.α.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκεται στο γεγονός ότι συμβάλλουν στην ενεργειακή ανεξαρτησία από τους ενεργειακούς πόρους οι οποίοι μπορούν να εξαντληθούν, με ελάχιστες περιβαλλοντικές συνέπειες και ταυτόχρονα αποτελούν εγχώρια πηγή ενέργειας, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το εισαγόμενο πετρέλαιο και ταυτόχρονα ενισχύουν την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Ως θετικά στοιχεία των Α.Π.Ε. αναφέρουμε τα εξής :

- Δίνουν τη δυνατότητα σε χωρικά απομονωμένες περιοχές (πχ νησιά) να καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες μειώνοντας ταυτόχρονα τις απώλειες από την μεταφορά.
- Ανεξαρτητοποίηση από ενεργειακούς πόρους οι οποίοι εξαντλούνται.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας, συνεισφέροντας έτσι στην εθνική ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση.
- Δεν επηρεάζονται από το διεθνές οικονομικό περιβάλλον.
- Επενδύοντας σε Α.Π.Ε. δημιουργούνται σε τοπικό επίπεδο νέες θέσεις εργασίας.
- Μπορούν να δράσουν σαν πόλος ανάπτυξης για την τοπική ανάπτυξη και εστία αναζωογόνησης υποβαθμισμένων οικονομικά περιοχών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να παρουσιαστούν οι διάφορες μορφές εναλλακτικής ενέργειας και να εξεταστεί η ποιότητα μέσα από τα συστήματα που τις αφορούν χρησιμοποιώντας μελέτες περιπτώσεων και σχετικές εταιρείες που ασχολούνται με την ποιότητα των συστημάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η ποιότητα στα συστήματα εναλλακτικών μορφών ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελεί ένα αντικείμενο που έχει να κάνει βασικά με τις

εταιρείες οι οποίες ασχολούνται με τέτοιου είδους συστήματα αλλά και διάφορους φορείς ή οργανισμούς των οποίων το αντικείμενο είναι οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας και ό,τι έχει να κάνει με αυτές. Έτσι, στην παρούσα διπλωματική εργασία αντλήθηκαν αρκετά στοιχεία από ιστοσελίδες εταιρειών ή οργανισμών που ασχολούνται είτε με κατασκευή φωτοβολταϊκών πάρκων (πχ. η εταιρεία Enfoton Solar Ltd, η Eco Energia A.E, η Solar Cells Hellas κ.α.) είτε με κάποια άλλη μορφή εναλλακτικής ενέργειας (πχ. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας, Cyprus Energy Agency) και ο στόχος ήταν να μελετηθεί πώς η κάθε εταιρεία ή οργανισμός εξασφάλιζε την ποιότητα των συστημάτων αυτών.

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2009) κάποιες από τις φυσικές παραμέτρους και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός φ/β πάρκου, που αποτελούν κριτήριο για την ποιοτική κατασκευή του, μπορεί να είναι: η θέση και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του πάρκου, η μορφολογία του εδάφους του (ανάγλυφο, φυσικά εμπόδια), η ισχύς του πάρκου, ο τύπος των συλλεκτών (ισχύς, τάση και ένταση εξόδου, διαστάσεις), ο τύπος των μετατροπέων (inverter), δηλαδή η ισχύς και η τάση εισόδου – εξόδου τους, οι αγωγοί μεταφοράς της ισχύος και τα έργα υποδομής. Επίσης, σύμφωνα με το Τμήμα Φ/Β Συστημάτων και Διεσπαρμένης Παραγωγής, Διεύθυνση ΑΠΕ, ΚΑΠΕ, 2009, για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι Tomas R. και Fordham M. αναφέρουν όσον αφορά την ισχύ του φ/β πάρκου ότι εφόσον η διαθέσιμη έκταση δεν μας περιορίζει, η επιλογή του μεγέθους της ισχύος είναι καθαρά θέμα μεγέθους επένδυσης – απόσβεσης και έτσι αποτελεί αντικείμενο ουσιαστικά οικονομοτεχνικής μελέτης ενώ οι Antonio Luque και Steven Hegedus (2003) αναφέρουν ότι η ποιότητα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόδοσή του που έχει να κάνει με την ποιότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, βάσεων στήριξης αλλά και πολλών άλλων παραγόντων.

Ο Καγκαράκης Κ. (1992) κάνει αναφορά ότι η ισχύς του φ/β πάρκου καθορίζεται με βάση τη διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης αλλά και από καθαρά τεχνικά κριτήρια. Στην ποιότητα της βιομάζας και την τηλεθέρμανση αναφέρεται ο Makrigiannis G. (2003). Οι P.Romanos και N.Hatziargyriou (2009) αναφέρουν ότι η εκτιμώμενη απόδοση της φ/β εγκατάστασης, που έχει άμεση σχέση με την ποιότητά της, ισούται με τον λόγο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα φ/β πλαίσια προς την παραγόμενη ενέργεια ακριβώς μετά τον αντιστροφή. Όσον αφορά την υδροηλεκτρική ενέργεια και τους υδροστροβίλους, οι Β. Λαμπρόπουλος και Μ. Κορνάρος (2004) αναφέρουν ότι κάποια από τα στοιχεία που κρίνουν την ποιότητα των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών (ΜΥΗΣ) είναι οι βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων και η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων που αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των ΜΥΗΣ. Ο Ackerman Th. (2005) αναφέρει για την ποιότητα στα αιολικά πάρκα ότι η επιλογή της τοποθεσίας για ένα αιολικό πάρκο είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του πάρκου. Όσο καλύτερα επιλεγεί η τοποθεσία τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες για αυξημένη απόδοση κάτι που δείχνει και την ποιοτική λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Πολλά στοιχεία αντλήθηκαν επίσης από την ιστοσελίδα της εταιρείας TUV Austria Hellas η οποία έχει ως στόχο την παροχή ανεξάρτητων υπηρεσιών με τη μορφή Τεχνικών Ελέγχων, Επιθεωρήσεων και Πιστοποιήσεων. Η εταιρεία χρησιμοποιεί το Σύστημα Διασφάλισης Ποιότητας ISO 9001:2008 αλλά και άλλα για να εγγυάται την ποιότητα των φ/β συστημάτων και των συστημάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Στη σελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής αναφέρεται ότι η βέλτιστη επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε σχέση με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό είναι καθοριστικής σημασίας για την τελική ποιότητα του αιολικού πάρκου.

Στη διπλωματική αυτή εργασία παρατίθενται επίσης και επιστημονικά στοιχεία ή μελέτες περιπτώσεων που έχουν να κάνουν με την ποιότητα σε φωτοβολταϊκά πάρκα που αντλήθηκαν από δημοσιευμένες εργασίες όπως η μελέτη του συνδεδεμένου φωτοβολταϊκού πάρκου στην Κρήτη των Ε. Κυμάκη, Σ. Καλυκάκη και Μ. Παπάζογλου ('Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete', 2009), όπου αναλύονται οι πτυχές που διασφαλίζουν την ποιότητα σε ένα Φ/Β πάρκο. Εδώ βλέπουμε, ότι μέσα στους παράγοντες για την

αξιολόγηση της ποιότητας ενός Φ/Β πάρκου είναι και οι Δείκτες Αξιολόγησης του Φωτοβολταϊκού Συστήματος (Ηλιακό κλάσμα, Απόδοση σειράς, Τελική απόδοση, Απώλειες συστήματος, Απόδοση αναφοράς, Απώλειες ακτινοβολίας, Λόγος απόδοσης). Τέλος, γενικά στοιχεία που φάνηκαν χρήσιμα στην περαιτέρω έρευνα για την προσέγγιση της ποιότητας στα συστήματα εναλλακτικών μορφών ενέργειας και τα Φ/Β πάρκα αντλήθηκαν από την Κλαδική Μελέτη της ICAP 2009 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

1.3 Αιολική ενέργεια

Ένας από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους ενεργειακούς τομείς είναι και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια άλλη μορφή ηλιακής ενέργειας. Υπάρχει η εκτίμηση ότι μεταξύ 1% - 3% της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Στην χώρα μας και σε πειραματικό στάδιο λειτουργούν γεννήτριες 3000 KW, ενώ για μείωση κόστους δημιουργούνται 'αιολικά πάρκα' συνολικής ισχύος μέχρι 40 MW. Υπάρχει δε και η εμπειρία δημοτικών αιολικών πάρκων, όπου ο δήμος παράγει μόνος του την ηλεκτρική ενέργεια.

Για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις που εκθέτουν έναν δρομέα (πτερωτή τύπου έλικας, με ένα ή περισσότερα πτερύγια) στο ρεύμα του ανέμου, λαμβάνοντας έτσι μέρος της κινητικής ενέργειάς του, με αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση του δρομέα. Οι διατάξεις αυτές λέγονται «αεροκινητήρες» ή «ανεμογεννήτριες» και με τη χρήση τους η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση του δρομέα του αεροκινητήρα και άρα του άξονά του και έτσι έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Μια από τις σημαντικότερες οικονομικά εφαρμογές των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Έτσι, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μια συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Οι ανεμογεννήτριες, μπορούν βέβαια να λειτουργούν και αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται συνηθέστερα : i) Για

παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές συνδεδεμένες στο δίκτυο για την κάλυψη ιδίων αναγκών ή για την πώληση του ρεύματος στην εταιρεία εκμετάλλευσης του δικτύου (ανεξάρτητη παραγωγή). ii) Για παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, για λειτουργία είτε μόνες τους με συσσωρευτές (stand alone) ή σε συνδυασμό με σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με ντίζελ (diesel – Windgenerator autonomous system).

1.4 Γεωθερμική ενέργεια

Η θερμοκρασία στον πυρήνα της γης είναι μεταξύ 4000 – 6000 °C. Ακόμα και σε βάθος μερικών χιλιομέτρων η θερμοκρασία του εδάφους διαμορφώνεται περίπου στους 250 °C. Κατά μέσο όρο για κάθε 36m έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C. Περιοχές υψηλού γεωθερμικού δυναμικού χαρακτηρίζονται αυτές στις οποίες, μέσω ρηγμάτων στο φλοιό της γης έχουμε την παρουσία υλικού από τον πυρήνα της γης σε σχετικά μικρό βάθος από την επιφάνεια, με αποτέλεσμα είτε την παρουσία επιφανειακών γεωθερμικών πηγών (Ισλανδία) ή την δυνατότητα εύκολης πρόσβασης σε ταμιευτήρες γεωθερμικής ενέργειας.

Η ενέργεια που εξέρχεται από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνειά της λέγεται **γεωθερμική ενέργεια**. Αυτή η ανεξάντλητη ενέργεια της γης μπορεί να εξορυχτεί με δύο τρόπους : i) χρησιμοποιώντας ένα μέσο μεταφοράς το οποίο υπάρχει στο υπέδαφος με μορφή ατμού ή ζεστού νερού ii) στη συνέχεια προωθείται στην επιφάνειά του, ψύχεται και υπό φυσιολογικές συνθήκες επιστρέφει πάλι πίσω στο υπέδαφος. Στη δεύτερη περίπτωση στέλνεται αρχικά νερό με πίεση στο βάθος και κατόπιν θερμαινόμενο μεταφέρεται προς τα πάνω. Διακρίνεται ανάλογα με την θερμοκρασία των ρευστών ή των ξηρών πετρωμάτων σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας βρίσκει εφαρμογές στη γεωργία (θερμοκήπια), στη θέρμανση χώρων, ενώ η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας προσφέρεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Όταν χρησιμοποιείται η γεωθερμία για ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζονται απίστευτα πλεονεκτήματα καθώς η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι μονάχα ανεξάντλητη αλλά και πιο 'διαθέσιμη' καθώς οι συμβατικοί σταθμοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά το 65-75% του έτους, σε αντιδιαστολή με το 90% του έτους που την παράγουν οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας. Επιπλέον, οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας

μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε. Εξαιτίας των προχωρημένων τεχνικών άντλησης μπορούν να καταλάβουν περιορισμένη επιφάνεια γης σε σχέση με τους παραδοσιακούς σταθμούς ορυκτών καυσίμων και να έχουν ελάχιστες επιπτώσεις κατά την διάνοιξη πηγαδιών.

Στις μη ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμίας συγκαταλέγονται: η θέρμανση οικιών, η θέρμανση θερμοκηπίων, η θέρμανση σε μονάδα αναερόβιας διάσπασης απορριμμάτων, η παραγωγή ψύχους κ.α. Όταν χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας για την παροχή θέρμανσης σε οικία, η εξοικονόμηση χρημάτων για ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να υπερβεί το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος, ενώ όταν εφαρμόζεται στη γεωργία (πχ θερμοκήπια), το κόστος θέρμανσης μπορεί να περικοπεί μέχρι και κατά 80%.

Η εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας με θερμοαντλίες μπορεί να γίνει παντού και όχι μόνο σε μέρη που έχουμε γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας. Σε βάθη 0 – 150 m οι θερμοκρασίες είναι 15 – 32 °C και δίνουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας. Πλεονεκτήματα της ομαλής γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας είναι ότι είναι σχεδόν παντού διαθέσιμη σε όλη τη διάρκεια του χρόνου με σταθερή παροχή. Η εγκατάσταση για εκμετάλλευση δεν έχει σημαντικές απαιτήσεις και δεν δημιουργεί προβλήματα. Οι θερμοκρασίες γύρω στους 25 °C προσφέρονται για την παραγωγή τόσο ζεστού όσο και ψυχρού νερού, δηλαδή για την ψύξη και την θέρμανση των χώρων. Ανάλογα με το είδος της γεωθερμίας έχουμε και την εκμετάλλευση. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε την Ελβετία, όπου λειτουργούσαν μέχρι το 1990, 5000 γεωθερμικές αντλίες βάθους 80 – 120 m και το γεωθερμικό έργο στο Riehen της Σουηδίας το οποίο βασίζεται σε γεώτρηση βάθους 1547 m και η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για τις ανάγκες σε ζεστό νερό 1000 κατοίκων.

1.5 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Χωρίς να προσμετρούνται οι μεγάλοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ σε σύγκριση με τα περισσότερα κράτη της Ε.Ε. η Ελλάδα είναι αισθητά πίσω σε μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς. Όμως, το 2004 παρουσιάσαμε τη μεγαλύτερη αύξηση μεταξύ των κρατών μελών.

Ένα πλήρες υδροηλεκτρικό σύστημα περιλαμβάνει την πηγή ύδατος, τη

σωλήνωση όδευσης του ύδατος από την πηγή στον υδροστρόβιλο, το σύστημα ελέγχου/ρύθμισης της ροής, τον υδροστρόβιλο, τη γεννήτρια ρεύματος, το ρυθμιστή της γεννήτριας και τέλος τις καλωδιώσεις για τη μεταφορά/διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, μπορούμε να διακρίνουμε δύο συστήματα : Τα ελεύθερα συστήματα δίχως αποθήκευση και τα μεγαλύτερα συστήματα όπου εφαρμόζεται αποθήκευση με φράγμα.

Τα εργοστάσια παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι εγκατεστημένα σε περιοχές με τρεχούμενο νερό (φράγματα κοιλάδων, λίμνες, ποτάμια) και εκμεταλλεύονται τη ροή ενός ποταμού ή καναλιού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κινητική και δυναμική ενέργεια της ροής του νερού μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια περιστροφής και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Από την συνολική εκάστοτε ροή, ένα σταθερό τμήμα δεν αξιοποιείται αλλά παρακάμπτει το στρόβιλο ώστε να διασώζεται σε αυτό ο ιχθυοπληθυσμός του υδατορεύματος.

Η εγκατεστημένη ισχύς των μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών παρουσίασε εντυπωσιακή αύξηση σε ποσοστό 57% από τη στιγμή που ιδιώτες επενδυτές, η ΔΕΗ και η αυτοδιοίκηση μπορούν να σχεδιάσουν και να πραγματοποιήσουν μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς με σύνθετη αξιοποίηση τόσο στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας αλλά και στην Αγροτική και Τουριστική εκμετάλλευση. Το τελευταίο διάστημα δίνεται βάρος στα ‘μικρά υδροηλεκτρικά’, τα οποία συμβάλλουν όχι μόνο σε συνεχή ή εποχιακή παραγωγή ενέργειας, αλλά και στην ύδρευση, άρδευση και επανατροφοδότηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Η ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων έχει τελικά άμεσο αντίκτυπο στην περιφερειακή ανάπτυξη και στην ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας. Επιπλέον :

- Η χρήση υδροηλεκτρικών δεν απελευθερώνει ρύπους.
- Η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται σε υψηλό βαθμό.
- Δεν έχουμε απόδοση θερμότητας στο περιβάλλον.

1.6 Βιοενέργεια (Βιομάζα)

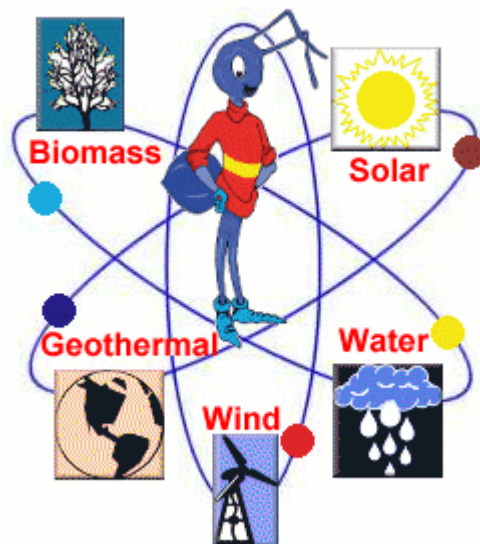
Ως **βιομάζα** χαρακτηρίζεται η ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που προέρχεται από οργανική ύλη. Αυτή η οργανική ύλη περιλαμβάνει το ξύλο, τα υπολείμματα από αγροτικές και δασικές δραστηριότητες, τα υπολείμματα από τις αγροτικές βιομηχανίες, τα προϊόντα ενεργειακών καλλιεργειών, καθώς και κάθε άλλο υλικό που διαθέτει οργανικό φορτίο, όπως είναι τα υπολείμματα κτηνοτροφικών ομάδων και ύλες από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.

Σκοπός της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας είναι η παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Ανάλογα με την εκάστοτε διαθέσιμη πρώτη ύλη επιλέγεται και η κατάλληλη διεργασία για τη βέλτιστη ενεργειακή της αξιοποίηση. Οι διεργασίες που είναι διαθέσιμες για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες : τις θερμοχημικές και τις βιοχημικές. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την καύση, την αεριοποίηση και την πυρόλυση. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την αναερόβια χώνευση και την αλκοολική ζύμωση.

Η βιομάζα αποτελεί μία σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατόν να συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Η χρήση της, ως πηγή ενέργειας, δεν είναι νέα. Σε αυτήν εξάλλου συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας.

Η βιομάζα συνήθως χρησιμοποιείται για την κάλυψη αναγκών θερμότητας ή την τηλεθέρμανση πόλεων παράγοντας ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε βιομάζα για: α) Θέρμανση θερμοκηπίων και κτηνοτροφικών μονάδων. β) Θέρμανση σε παραγωγικές μονάδες που βρίσκονται κοντά σε βιομαζικούς ενεργειακούς πόρους. γ) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στους τόπους παραγωγής. δ) Κάλυψη αναγκών τηλεθέρμανσης, τηλεψύξης χωριών, πόλεων που βρίσκονται κοντά στους τόπους παραγωγής. Μειονέκτημα αποτελεί η απαιτούμενη έκταση, αφού μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα ισχύος 20 MW απαιτεί περίπου 48.000 στρέμματα καλλιεργήσιμης γης. Στον ελλαδικό χώρο ξεχωρίζουν η Τηλεθέρμανση της Κοινότητας Νυμφασίας στην Αρκαδία με καύση Βιομάζας και η αντικατάσταση πετρελαίου στα εκκοκκιστήρια των Γεωργικών συνεταιρισμών Φαρσάλων και Γιαννιτσών.

Στα πλαίσια της χρήσης ενέργειας από Βιομάζα εντάσσεται και η ενεργειακή αξιοποίηση των Απορριμμάτων κυρίως των Δημοτικών στερεών απορριμμάτων (ΔΣΑ). Η επεξεργασία τους έως σήμερα γίνεται με: α) υγειονομική ταφή, β) μηχανική ανάκτηση, γ) λιπασματοποίηση, δ) καύση. Ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί από την καύση των απορριμμάτων, τα οποία όμως έχουν μικρή θερμογόνο δύναμη και μπορούν να χαρακτηριστούν φτωχά καύσιμα. Ένα πετυχημένο ευρωπαϊκό παράδειγμα ενεργειακής αξιοποίησης των απορριμμάτων είναι το «Θερμικό εργοστάσιο παραγωγής Ενέργειας» HKW Saudreuth στη Νυρεμβέργη. Εκεί παράγεται ρεύμα και θερμότητα για τηλεθέρμανση χρησιμοποιώντας τον ατμό από την καύση σκουπιδιών. Κάθε χρόνο εξοικονομούνται έτσι 400 εκατομμύρια KWh που αντιστοιχούν σε ενέργεια που παράγεται από περίπου 50.000 τόνους λιγνίτη.



Σχήμα 1.1 Οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

1.7 Η ηλιακή ενέργεια και Φωτοβολταϊκά συστήματα

Είναι γνωστό σε όλους ότι ο άνθρωπος με τις δραστηριότητες του έχει υποβαθμίσει το φυσικό περιβάλλον σε σημαντικό βαθμό. Επίσης είναι γνωστή και η χρονική περίοδος (δεκαετία του '70) κατά τη διάρκεια της οποίας εκδηλώθηκε η περιβαλλοντική κρίση. Τα φαινόμενα που εμφανίστηκαν τότε ήταν στο στάδιο της επιστημονικής μελέτης και

παρακολούθησης. Τριάντα χρόνια αργότερα η ανθρωπότητα αναζητά λύσεις μέσα από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ηλιακή, η οποία με ροή ισχύος περίπου $1,4 \text{ kW/m}^2$ αποτελεί σημαντικό ενεργειακό πλούτο ειδικότερα για την Ελλάδα. Η γήινη ατμόσφαιρα αντανακλά ένα μέρος της ενέργειας και επιτρέπει τελικά να καταλήξει στο έδαφος περίπου 1 kW/m^2 , τιμή που αντιστοιχεί σε συνθήκες θερινού ηλιοστασίου κατά τις μεσημεριανές ώρες και με αίθριο καιρό. Συγκριτικά με τα αποθέματα πετρελαίου που είναι γνωστά σε όλο τον πλανήτη η ενέργεια που δέχεται ετησίως η γη είναι χίλιες φορές μεγαλύτερη.

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που μπορούν να δεσμεύσουν την ηλιακή ακτινοβολία και να τη μετατρέψουν σε κατάλληλη ενέργεια για να αξιοποιηθεί σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής είτε στον οικιακό τομέα για παραγωγή ηλεκτρισμού είτε για θέρμανση νερού και άλλες οικιακές χρήσεις. Ανάλογα με την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας για τελική χρήση της, τα συστήματα αξιοποίησής της διακρίνονται στα :

A) Τα **Ενεργητικά ηλιακά συστήματα** που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα και ενσωματώνονται κυρίως στις κατασκευές κτιρίων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε οικιακές χρήσεις όσο και σε βιομηχανικές χρήσεις για την εξυπηρέτηση των θερμικών φορτίων του χειμώνα.

B) Τα **Παθητικά ηλιακά και υβριδικά συστήματα** που αφορούν αρχιτεκτονικές λύσεις όπου χρησιμοποιούνται κάποια κατάλληλα δομικά υλικά για τη μεγιστοποίηση της απευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό στα κτίρια.

Γ) Τα **Φωτοβολταϊκά συστήματα** που χρησιμοποιούνται για την άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής.



Σχήμα 1.2 Φωτοβολταϊκό πάρκο

Τα **φωτοβολταϊκά συστήματα** μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια κατευθείαν σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια ή κρύσταλλα) φωτοβολταϊκών στοιχείων ή κυψέλες, μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας στην επιθυμητή μορφή. Η παραγωγή της ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση υλικών (ημιαγωγίμων) τα οποία έχουν την ιδιότητα να απορροφούν φωτόνια του ηλιακού φωτός και να απελευθερώνουν ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Η ροή των ελεύθερων αυτών ηλεκτρονίων συνεπάγεται τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος-ηλεκτρικής τάσης.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων, το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κτλ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν στις οροφές κτιρίων, σε οποιοδήποτε ανοικτό ιδιόκτητο και περιφραγμένο χώρο (Φωτοβολταϊκά Πάρκα), σε ανοιχτούς χώρους πάρκινγκ ως

σκίαστρα, ως δομικά συστατικά νέων κτιριακών κατασκευών σύμφωνα με την ήδη υπάρχουσα διεθνή εμπειρία και ως «αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις» σε στάδια, πάρκα, πλατείες.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, για παράδειγμα, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200W ή και παραπάνω. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των πάνελ όπως κάδμιο με τελλούριο (Cd-Te) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 1 κιλοβάτ, συνδεδεμένο στο δίκτυο, παράγει κατά μέσο όρο 1200-1500 κιλοβατώρες το χρόνο, ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής, και αποτρέπει κατά μέσο όρο κάθε χρόνο την έκλυση 1450 κιλών διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δυο στρέμματα δάσους. Αποτελείται από τα εξής επιμέρους υποσυστήματα:

1. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια
2. Κατασκευή στήριξης
3. Συστήματα μετατροπής ισχύος
4. Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, προστασίας και λοιπά στοιχεία

1.7.1 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται συνήθως από 30 με 36, ερμητικά σφραγισμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία μέσα σε ειδική διαφανή πλαστική ύλη, των οποίων η μπροστινή όψη προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε οξείδιο του σιδήρου. Η κατασκευή αυτή, που δεν ξεπερνά σε

πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου, όπως τα τζάμια των κτιρίων. Τα στοιχεία εσωτερικά, είναι διασυνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με την εφαρμογή. Η κατασκευή μιας γεννήτριας κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει και από ερασιτέχνες, μετά την προμήθεια των στοιχείων. Το κόστος είναι απίθανο να είναι χαμηλότερο από την αγορά έτοιμης γεννήτριας, καθώς η προμήθεια ποιοτικών στοιχείων είναι αρκετά δύσκολη.

1.7.2 Κατασκευή στήριξης

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προκειμένου να τοποθετηθούν στο σημείο εγκατάστασής τους εφοδιάζονται με ειδικές κατασκευές. Οι κατασκευές αυτές στήριξης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται από το βάρος των πλαισίων και τους τοπικούς ανέμους, να μη προκαλούν σκiasμό στα πλαίσια, να επιτρέπουν την προσέγγιση στα πλαίσια, αλλά ταυτόχρονα να διασφαλίζουν την ασφάλειά τους. Σε εφαρμογές όπου τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ενσωματώνονται σε κτιριακές δομές, τότε απαιτείται καλή συναρμογή με τα δομικά στοιχεία.

1.7.3 Συστήματα μετατροπής ισχύος

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παράγουν συνεχές ρεύμα ενώ τα φορτία καταναλώνουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Για τη μετατροπή της ισχύος στα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούνται συνήθως μετατροπείς συνεχούς σε εναλλασσόμενο (DC/AC). Σκοπός των συστημάτων μετατροπής ισχύος είναι η κατάλληλη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του παραγόμενου ρεύματος (f, v), ώστε να καταστεί δυνατή η τροφοδοσία των διαφόρων καταναλώσεων.

Ο αντιστροφέας είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε 12V ή 14V, σε εναλλασσόμενη 220V, ενώ ως βαθμίδα χρησιμοποιείται στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος). Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σε αντιστροφείς διασυνδεδεμένων και αυτόνομων συστημάτων. Η τεχνολογία κατασκευής τους διακρίνεται περαιτέρω σε **καθαρού και τροποποιημένου ημιτόνου**. Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου έχουν υψηλότερο κόστος αλλά επιτυγχάνουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, είναι συμβατοί με όλες τις συσκευές και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή του αντιστροφέα αποτελούν η αξιοπιστία, η ενεργειακή απόδοση, οι αρμονικές παραμορφώσεις, το κόστος και η συμβατότητα με τις τεχνικές απαιτήσεις της ΔΕΗ. Σε ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα ο αντιστροφέας τοποθετείται σε απόσταση από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε στεγασμένο χώρο. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, οι καλωδιώσεις είναι συνεχούς ρεύματος, ωστόσο έχουν αναπτυχθεί πλαίσια με ενσωματωμένους αντιστροφείς με συνέπεια την αντικατάσταση των καλωδιώσεων συνεχούς με αντίστοιχες εναλλασσόμενου, οι οποίες είναι χαμηλότερου κόστους και περισσότερο ασφαλείς.

1.7.4 Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, προστασίας και λοιπά στοιχεία

Το φωτοβολταϊκό σύστημα συμπληρώνουν οι ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου, η γείωση, οι καλωδιώσεις (συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος) και σχετικό ηλεκτρολογικό υλικό, οι διατάξεις ασφαλείας, ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας και σύστημα παρακολούθησης της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Παράγοντες σχεδιασμού και κατασκευής φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων.

2.1 Ποιότητα κατασκευής

Ο ποιοτικός έλεγχος αποτελεί σημαντικό κομμάτι της κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (πχ. φωτοβολταϊκού πάρκου) και αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό τομέα για τους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ακόμα και πολύ μικρά ελαττώματα κατά την κατασκευή μπορεί τελικά να προκαλέσουν απαιτήσεις τέτοιες που η ανακατασκευή να είναι αναγκαία. Το αποτέλεσμα είναι αυξημένο κόστος και καθυστερήσεις. Στην χειρότερη των περιπτώσεων αστοχίες των υλικών μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα στο προσωπικό και ανεπανόρθωτες ζημιές σε άψυχο υλικό. Εξαιτίας των παραγόντων αυτών έχουμε έμμεσα κόστη ασφάλισης, επίβλεψης και κανονισμών που αυξάνονται σημαντικά.

Μια σωστή εταιρεία προσπαθεί και διασφαλίζει ότι η εργασία θα γίνει σωστά και όλα τα παραπάνω θα αποφευχθούν. Οι σημαντικές αποφάσεις που σχετίζονται με την ποιότητα της κατασκευής λαμβάνονται κατά το σχεδιασμό του συστήματος παρά κατά την κατασκευή. Κατά την μελέτη θα ληφθούν αποφάσεις για το σχεδιασμό των στοιχείων του συστήματος, τα υλικά και τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού.

Ο ποιοτικός σχεδιασμός πρέπει να είναι καθαρός, τεκμηριωμένος και αποτέλεσμα προσεκτικής μελέτης κάθε εφαρμογής. Σίγουρα βασίζεται στο επίπεδο μόρφωσης, ετοιμότητας και συνεργασίας των μελετητών αλλά και των μηχανικών που θα την πραγματοποιήσουν. Σε κάθε περίπτωση όμως, η συνεχής προσπάθεια, η ενημέρωση για τις νέες τεχνολογίες και διαδικασίες είναι βασικά στοιχεία για την επίτευξη ενός ποιοτικού συστήματος άρτια δομημένου και σωστά εφαρμοσμένου.

2.2 Φυσικοί παράμετροι και τεχνικά χαρακτηριστικά

Οι φυσικοί παράμετροι και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός επίγειου φωτοβολταϊκού πάρκου που είναι απευθείας διασυνδεδεμένο στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. είναι τα εξής :

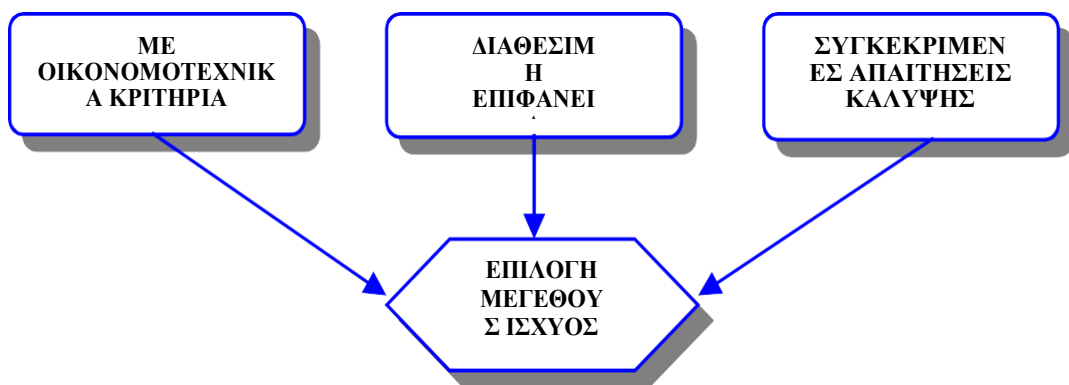
- Η θέση και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του πάρκου.
- Η μορφολογία του εδάφους του (ανάγλυφο, φυσικά εμπόδια).
- Η ισχύς του πάρκου.
- Ο τύπος των συλλεκτών (ισχύς, τάση και ένταση εξόδου, διαστάσεις).
- Ο τύπος των μετατροπέων (inverter), δηλαδή η ισχύς και η τάση εισόδου –εξόδου τους.
- Οι αγωγοί μεταφοράς της ισχύος.
- Τα έργα υποδομής.

2.2.1 Η ισχύς του πάρκου

Ο σχεδιασμός ενός φωτοβολταϊκού πάρκου όπως και κάθε σχεδιασμός τεχνικού έργου προαπαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Μέγεθος καθοριστικό για να ξεκινήσει η σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου αποτελεί η ισχύς του, η οποία καθορίζεται ανάλογα με την περίπτωση από τα παρακάτω κριτήρια:

1. Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης). Στην περίπτωση αυτή, στην οποία απαιτείται οικονομοτεχνική μελέτη, εμπίπτουν κυρίως οι ανεξάρτητοι παραγωγοί, με απευθείας διασυνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα.
2. Κριτήρια με βάση τη διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς του πάρκου είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει αν “καλύψουμε” πλήρως με συλλέκτες τη διαθέσιμη επιφάνεια (εννοείται ότι συνυπολογίζονται οι ζώνες σκίασης και επισκεψιμότητας τους, όταν πρόκειται για έδαφος). Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα με συσσωρευτές ή χωρίς, με απευθείας διασύνδεση στο δίκτυο.

3. Καθαρά τεχνικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά αφορούν τον καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ισχύος που απορρέει από συγκεκριμένες απαιτήσεις κατανάλωσης (αυτόνομα συστήματα μη διασυνδεδεμένα, είτε ανεξάρτητοι παραγωγοί όπως στο πρώτο κριτήριο). Το μειονέκτημα του αυτόνομου συστήματος χωρίς συσσωρευτή είναι ότι δεν αξιοποιεί την ενέργεια όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, πράγμα που δεν ισχύει με το απευθείας διασυνδεδεμένο σύστημα.



Διάγραμμα κριτηρίων επιλογής μεγέθους ισχύος.

Όσον αφορά στο πρώτο κριτήριο, εφόσον η διαθέσιμη έκταση δεν μας περιορίζει, η επιλογή του μεγέθους της ισχύος είναι καθαρά θέμα μεγέθους επένδυσης – απόσβεσης και έτσι αποτελεί αντικείμενο ουσιαστικά οικονομοτεχνικής μελέτης. Κατά προσέγγιση, αν Q το ποσό της επένδυσης και q το κόστος ανά KW εγκατεστημένης ισχύος, τότε η **ισχύς του πάρκου (P)** θα είναι:

$$P = Q / q \text{ (kW)} \quad (2.1)$$

Έτσι, από την τιμή πώλησης (α) της kWh και από το χρόνο (t) σε ώρες της μέσης ημερήσιας ηλιοφάνειας στη διάρκεια του έτους, υπολογίζεται καταρχάς το **ετήσιο ενεργειακό πλεόνασμα (E)**:

$$E = P \times t \text{ (kWh)} \quad (2.2)$$

Εν συνεχεία, υπολογίζεται το ετήσιο οικονομικό όφελος :

$$S = E \times \alpha \quad (2.3)$$

Τα παραπάνω αποτελούν μόνο ενδεικτικές προσεγγίσεις ενώ η ακριβής εκτίμηση της απόσβεσης απαιτεί τη χρήση των κατάλληλων μοντέλων. Σ' αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι η πολιτική των επιδοτήσεων είναι η πλέον καθοριστική για τις επιλογές του επενδυτή – παραγωγού όσο καλές προθέσεις και αν τρέφει για το περιβάλλον. Στην ουσία το μέγεθος της επιδότησης ή η τιμή πώλησης της kWh ή και τα δύο, είναι αυτά που θα διαμορφώσουν μία ελκυστική ή απαγορευτική - ασύμφορη σε βάθος χρόνου απόσβεση.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά περιπτώσεις όπου έχουμε συνήθως να καλύψουμε συγκεκριμένες επιφάνειες όπως στέγες, όψεις ή να χρησιμοποιήσουμε Φ/Β πάνελ ως υλικό πλήρωσης επιφανειών που εξυπηρετούν αισθητικές, λειτουργικές και σύγχρονες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις. Πρόκειται για αυτό που ονομάζουμε ενεργειακή λειτουργία ή ενεργειακή ταυτότητα μιας κατασκευής. Μια τέτοια κατασκευή πέραν των αναγκών που εκπληρώνει, μπορεί ταυτόχρονα να είναι αυτόνομη ενεργειακά ή ακόμη και αν δεν χρειάζεται ενέργεια για την αποστολή της να την παράγει σαν συνεισφορά σε συνολικότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα παραπάνω γίνονται αντιληπτά από εφαρμογές που ήδη υφίστανται όπως στέγαστρα και όψεις κτιρίων, οι οποίες εκπληρώνοντας το σκοπό τους, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με απόλυτο σεβασμό στο περιβάλλον. Ο σύγχρονος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός εκτός της προωθημένης αισθητικής έχει να επιδείξει ευφείς λύσεις για την εξοικονόμηση της ενέργειας, όπως η πλήρωση επιφανειών με Φ/Β πάνελ, στοχεύοντας έτσι στην ενσωμάτωση της παραγωγής ενέργειας με “έξυπνες κατασκευές”, οι οποίες συγχωνεύουν πολλές αποστολές – λειτουργίες. Οι παραπάνω τρόποι (πρώτο και δεύτερο κριτήριο) εκτιμούν με ακρίβεια την ισχύ αιχμής του φωτοβολταϊκού πάρκου όσον αφορά στο πρώτο κριτήριο και του φωτοβολταϊκού συστήματος όσον αφορά στο δεύτερο κριτήριο.

Το τρίτο κριτήριο αφορά περιπτώσεις στις οποίες κυρίως το δίκτυο της Δ.Ε.Η. είναι απομακρυσμένο. Η σύγκριση του κόστους μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με

το κόστος της επένδυσης των φωτοβολταϊκών αναδεικνύει τη χρήση των φωτοβολταϊκών ως την πλέον κατάλληλη και με οικολογικό χαρακτήρα λύση. Σε αυτό το κριτήριο γίνεται χρήση αλγόριθμου, με μια πορεία υπολογισμών που επηρεάζονται από τη θέση (γεωγραφικό πλάτος), το κλίμα (ηλιοφάνεια, υγρασία, θερμοκρασίες, άνεμοι), τη μορφολογία εδάφους και τη ρύπανση. Όλες οι προηγούμενες φυσικές παράμετροι θα καθορίσουν κατ' αρχήν και με ένα συντελεστή απωλειών κατά περίπτωση, την “ελάχιστη ισχύ αιχμής” της Φ/Β γεννήτριας, που φυσικά θα είναι μεγαλύτερη από αυτή της κατανάλωσης. Θεωρώντας ότι έχουμε επαρκείς πίνακες με αξιόπιστες μετρήσεις ηλιοφάνειας και θερμοκρασιών του πρόσφατου παρελθόντος γίνεται εφικτός και ακριβής ο υπολογισμός του Φ/Β πάρκου.



Σχήμα 2.1 Υποδομή στήριξης φωτοβολταϊκών κυψελών

2.2.2 Μελέτη περίπτωσης: Φωτοβολταϊκό πάρκο στα Χανιά Κρήτης

Το συγκεκριμένο Φ/Β πάρκο υλοποιήθηκε στην περιοχή Περιβόλια Χανίων στην Κρήτη και έχει ονομαστική ισχύ αιχμής 60 kW, ισχύς η οποία υπολογίστηκε με βάση το πρώτο κριτήριο που προαναφέρθηκε. Η ποιότητα κατασκευής του πάρκου είναι υψηλή σε επίπεδο σχεδιασμού και υλικών. Η οργάνωση των πάνελ στη συστοιχία είναι άρτια τεχνικά και αυτό είναι αποτέλεσμα μακρόχρονης εμπειρίας από

κατασκευή άλλων τέτοιων πάρκων. Η οργάνωση και το μέγεθος της συστοιχίας που είναι ουσιαστικά η βασική υπομονάδα του Φ/Β πάρκου, καθορίζεται κυρίως από τους μετατροπείς (inverters) ενώ παράλληλα επιδιώκεται η βέλτιστη χρήση υλικών για τη σκυροδέτηση και τις μεταλλικές κατασκευές. Σημαντικός παράγοντας επίσης είναι η τοποθεσία και η ευκολία πρόσβασης σε αυτήν.

Η επιλογή inverter για το Φ/Β πάρκο μπορεί να γίνει με κριτήριο το χαμηλό κόστος κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα ο μετατροπέας να έχει μεγάλη ισχύ και συνεπώς μέγεθος. Αυτό όμως σημαίνει πιο δύσκολο έλεγχο και εποπτεία του όλου συστήματος. Για παράδειγμα το συγκεκριμένο έργο στα Χανιά θα μπορούσε να καλυφθεί με ένα inverter των 60 kW με κίνδυνο την αποκοπή όλου του συστήματος σε τυχόν βλάβη του. Επισημαίνεται ότι ο τύπος των inverter για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους (range) λειτουργίας. Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός).

Στο συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιήθηκε ο ευρέως προτεινόμενος και δοκιμασμένος στο εξωτερικό inverter Sunny Boy με ισχύ 2,5 kW. Οι συλλέκτες τύπου ASTROPOWER με ισχύ 65 w και διαστάσεις (1,20 × 0,52) ομαδοποιούνται έτσι ώστε σε κάθε inverter να καταλήγουν παραλληλισμένα 2 string με 22 panels εν σειρά το καθένα, δηλαδή συνολικά 44 panels /inv. Το μέγεθος του string (δηλαδή τα 22 panel) είναι το κρίσιμο για τη βέλτιστη απόδοση της ισχύος του inverter. Με βάση τις διαστάσεις των panels, το επιθυμητό πρακτικό μέγεθος της συστοιχίας και τον αριθμό “κλειδί” των 22 panel που προαναφέρθηκε, ορίζεται ως ύψος της συστοιχίας αυτό των 11 panel (22/2 =11). Με δεδομένο επίσης ότι το μήκος των μεταλλικών profile I.P.E στο εμπόριο είναι τυποποιημένο στα 12m, εύκολα μπορεί να οριστεί το **μήκος** της συστοιχίας ως άρτιο πολλαπλάσιο του **2 (string = 2στήλες x 11panels)** που ταυτόχρονα δεν θα είναι μικρότερο των 12m. Αυτό γίνεται, ώστε αφενός στη συστοιχία να υπάρχει ακέραιος αριθμός inverter και αφετέρου να έχουμε άριστη εποπτεία, απόλυτη γεωμετρική και ηλεκτρική συμμετρία των κυκλωμάτων (strings), ευκολία διασύνδεσης και αποφυγή λαθών. Τα παραπάνω αφορούν τόσο το στάδιο της κατασκευής όσο και το στάδιο λειτουργίας του πάρκου. Όμοια λογική ακολουθείται και στην περίπτωση που παρεμβάλλεται συστοιχία συσσωρευτών. Το Φ/Β πάρκο αποτελείται από 7 συστοιχίες των 132 πάνελ η καθεμιά, συνολικά 7X132 = 924 panels και 3 inverters ανά συστοιχία, συνολικά 3X7= 21 inverters που με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε 7 inverters ανά φάση

(21 inverters/3 φάσεις = 7 inverters/φάση). Αφού ορίστηκε η συστοιχία, το module του Φ/Β πάρκου, είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε την τοπογραφική διάταξη τους μέσα στο πάρκο και ταυτόχρονα να εκπονήσουμε μελέτη εφαρμογής για τις κατασκευές υποδομής και ανάρτησης των συλλεκτών.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικοί άξονες υπολογισμού κατά πρώτον για τα έργα υποδομής και κατά δεύτερον για την τοπογραφική διάταξη του πάρκου. Τα έργα υποδομής περιλαμβάνουν εκσκαφές, εργασίες θεμελίωσης, σκυροδέτησης και κατασκευή-τοποθέτηση μεταλλικών ζευκτών για την ανάρτηση των 924 panels. Όλες οι παραπάνω κατασκευές υποστηρίζονται από μελέτη εφαρμογής παίρνοντας υπόψη τους δυσμενέστερους συνδυασμούς δράσεων όπως μόνιμα φορτία, άνεμος με 150 kg/m και χιόνι. Σχετικά με την τοπογραφική διάταξη του πάρκου, ο προσανατολισμός όλων των συστοιχιών είναι απόλυτα νότιος (αζιμούθιο 180 °C). Η τελευταία ορίστηκε στις 35° που ταυτίζεται σχεδόν με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Σε πιο οριζόντιες κλίσεις θα είχαμε αυξημένη σκόνη αν και η τοπική ρύπανση στη συγκεκριμένη τοποθεσία είναι ασήμαντη. Αν και η ένταση των ανέμων που πνέουν στη περιοχή είναι αρκετά χαμηλή, ο δρσισμός των πάνελ είναι ικανοποιητικός πράγμα που εξασφαλίζει χαμηλή ειδική αντίσταση στο σύστημα και συνεπώς χαμηλές απώλειες. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ξηρό κλίμα σε συνδυασμό με το πετρώδες έδαφος, τους γειτονικούς ορεινούς όγκους και την κλίση των 35° ευνοούν την αξιοποίηση ποσοστού της αντανακλώμενης ακτινοβολίας.

Το Φ/Β πάρκο υποστηρίζεται από διαγνωστικά και καταγραφικά μέσα ελέγχου κάθε inverter και άρα κάθε κυκλώματος. Το διαγνωστικό αυτό σύστημα, δέχεται σήμα μέσω τηλεφωνικού καλωδίου που συνδέει σε σειρά όλα τα inverters μέσω ειδικής θύρας του τελευταίου. Επίσης, αντίστοιχοι αισθητήρες θα παρέχουν πληροφορίες στο διαγνωστικό σύστημα, για την ηλιοφάνεια και την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο συλλέκτη. Οι μετρήσεις αυτές σε συνδυασμό με εκείνες των inverter για το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος, θα αποτελέσουν το πιο έγκυρο και τεκμηριωμένο υλικό για την βελτίωση και εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και του τρόπου υπολογισμού τους. Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζεται η γενική διάταξη του φωτοβολταϊκού πάρκου, καθώς και η διάταξη των κυκλωμάτων.



Σχήμα 2.2 Γενική διάταξη Φ/Β πάρκου και κυκλωμάτων



Σχήμα 2.2.β Γενική διάταξη Φ/Β πάρκου και κυκλωμάτων

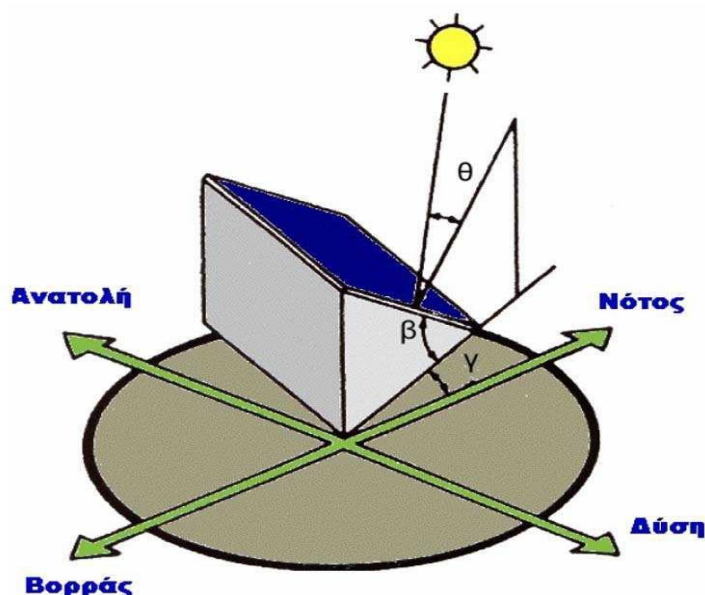
2.3 Επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

2.3.1 Προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, συμπεραίνεται πως για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του

ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας.

Στην πλειονότητα των Φ/Β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, λόγω του κόστους που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90° . Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του πλαισίου. Η κλίση του πλαισίου εκφράζεται με τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο της επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου και το οριζόντιο επίπεδο, ενώ η αζιμούθια γωνία σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κεκλιμένης πλευράς του πλαισίου και τον τοπικό μεσημβρινό βορρά – νότου (κάτωθι σχήμα).



Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και με την αζιμούθια γωνία (γ) να είναι περίπου 0° (κατεύθυνση προς νότο). Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης επιτυγχάνεται για νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των 30° .

2.3.2 Προβλήματα σκιασμών

Η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός Φ/Β συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη σκιασμών οι οποίοι επιδρούν στην απόδοση των Φ/Β πλαισίων. Με δεδομένο ότι σε ένα Φ/Β πλαίσιο τόσο τα Φ/Β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα Φ/Β πλαίσια μιας στοιχειοσειράς συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται αντιληπτό ότι ακόμα και ο σκιασμός ενός μέρους της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής. Επιπρόσθετα, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας είναι δυνατόν να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανση αυτού. Επομένως, έχει μεγάλη σημασία να αποφεύγονται οι σκιασμοί ακόμα και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια και ακόμα περισσότερο από δέντρα, παρακείμενα κτίρια κλπ.

Κατά την επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Εάν στην τοποθεσία έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (πχ. σκίαση από παρακείμενα κτίρια, κολώνες, στηθαίο κλπ) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 9:00 έως 15:00) τότε η θέση της εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη. Τέλος, για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας απρόσκοπτης λειτουργίας του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτιρίων. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας ορθής τοποθεσίας έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού είναι ο ορίζοντας προς νότο να είναι ελεύθερος και χωρίς εμπόδια.

2.3.3 Στατική μελέτη και υλικά στήριξης

Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε ένα σύστημα στήριξης, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία και την ασφάλεια της εγκατάστασης σε ακραίες συνθήκες ανέμου, χιονόπτωσης, σεισμού και θερμοκρασιακών μεταβολών. Οι ακραίες αυτές συνθήκες καθώς και ο συνδυασμός τους, μαζί με τους αντίστοιχους

συντελεστές ασφαλείας, προδιαγράφονται στους Ευρωκώδικες, παράλληλα με επιπρόσθετους ελέγχους, όπως για το σύνολο των δομικών κατασκευών. Για τη στατική επάρκεια του συστήματος καθ'αυτού, μπορεί να ζητείται αντίστοιχο πιστοποιητικό από τον προμηθευτή. Ο εγκαταστάτης θα πρέπει να έχει υπόψη του την διαφοροποίηση των συστημάτων στήριξης και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που το διέπουν, συμπεριλαμβανομένων της ευκολίας εγκατάστασης, της αξιοπιστίας και των λειτουργικών στοιχείων (όπως η δυνατότητα ή όχι φυσικού αερισμού του πλαισίου).

Ο σχεδιασμός ενός τεχνικού έργου από καταβολής κόσμου ήταν ένα σύνθετο, με πολλές παραμέτρους πρόβλημα, με τη διαφορά ότι έγινε κοινή συνείδηση τις τελευταίες δεκαετίες του αιώνα που πέρασε. Η λύση πολλών προβλημάτων χωρίς να προΐδεάζει η μορφή τους, προκύπτει από εξισώσεις που χρησιμοποιούν ενεργειακά μεγέθη. Βασική παράμετρος για όλα τα τεχνικά έργα υποδομής, είναι ο υπολογισμός τους σε βάθος χρόνου, για όποιο χαρακτήρα και αν έχει αυτό. Ειδικότερα για ένα έργο παραγωγής ενέργειας, οι προτεινόμενες λύσεις πρέπει να αξιολογούνται σε βάθος χρόνου και όχι στιγμιαία, γεγονός που μπορεί να παραπλανήσει την τελική επιλογή υλικών και μεγεθών. Τέτοιας αξιολόγησης, σχετικά με το αντικείμενο μας, χρήζουν π.χ. σε μια επένδυση Α.Π.Ε., η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία – ενέργεια ανά m² επιφάνειας. Ειδικά στα Φ/Β συστήματα, η χρονική διάρκεια ενός έτους είναι μέγεθος αναφοράς, γιατί αποτελεί την περίοδο (T) της σχετικής κίνησης ηλίου-γης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μέτρηση ποιότητας και αποδοτικότητας φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων.

3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση

Ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και αποτελεί μέτρο της ποιότητας και αποτελεσματικότητας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Η ποιότητα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόδοσή του που έχει να κάνει με την ποιότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, βάσεων στήριξης αλλά και πολλών άλλων παραγόντων.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φ/β συστήματος είναι η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ειδικότερα, δύο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος οδηγούν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε διαφορετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η διαφορά οφείλεται κυρίως στην καταλληλότητα των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο και η συγκέντρωση των φορέων. Αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων, οι οποίες οδηγούν σε μείωση της απόδοσης μετατροπής.

3.2 Διάγραμμα ροής ενέργειας φωτοβολταϊκού πάρκου

Το διάγραμμα ροής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1.

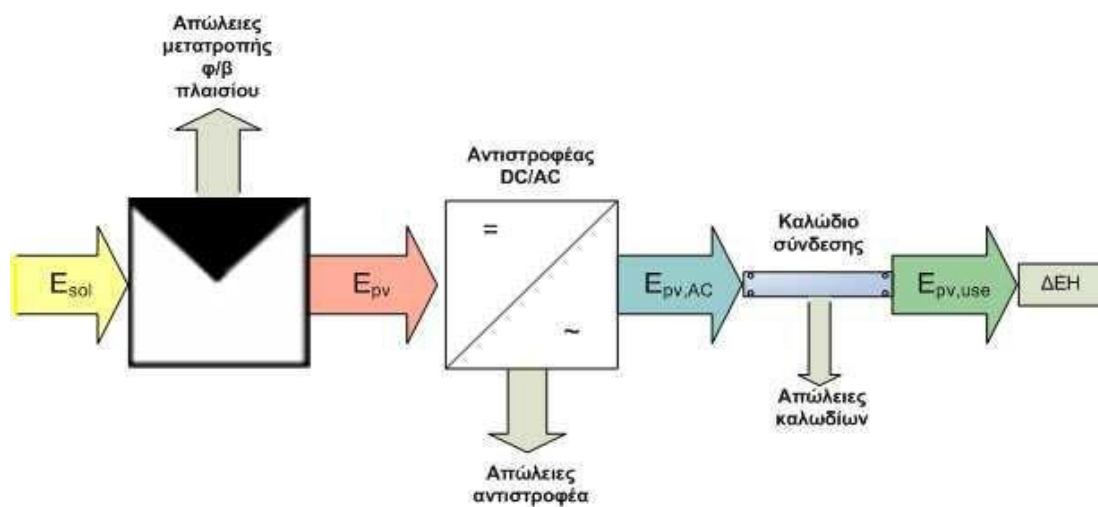
Η εκτιμώμενη απόδοση της εγκατάστασης, όπως φαίνεται στη σχέση 3.1, ισούται με τον λόγο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια

προς την παραγόμενη ενέργεια ακριβώς μετά τον αντιστροφέα, όπου και λαμβάνονται οι μετρήσεις. Να σημειωθεί εδώ, ότι ο βαθμός απόδοσης αυτός αφορά το σύνολο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, δηλαδή από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έως και το σημείο σύνδεσης του πολυοργάνου, δηλαδή μετά τον αντιστροφέα. Συνυπολογίζονται λοιπόν οι βαθμοί απόδοσης των πλαισίων καθώς και του αντιστροφέα ενώ επίδραση έχουν και οι απώλειες στα καλώδια λόγω την πτώσης τάσης που παρατηρείται κατά την όδευση του ρεύματος από τα πλαίσια μέχρι τον αντιστροφέα.

$$n = (E_{sol} / E_{pv,AC}) 100\% \quad (3.1)$$

όπου, E_{sol} : η προσπίπτουσα ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκά πλαίσια

$E_{pv,AC}$: η παραγόμενη ενέργεια μετά τον αντιστροφέα



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα ροής ενέργειας του διασυνδεδεμένου Φ/Β πάρκου

Στο σχήμα 3.1 φαίνεται το διάγραμμα ροής ενέργειας ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού πάρκου, όπου :

$E_{pv,AC}$: Παραγόμενη ενέργεια μετά τον αντιστροφέα DC/AC

E_{sol} : Ηλιακή ενέργεια

E_{pv} : Παραγόμενη ενέργεια από φ/β πλαίσια

3.3 Μελέτη περίπτωσης: Ανάλυση απόδοσης φωτοβολταϊκού πάρκου στο νησί της Κρήτης

Το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πάρκο βρίσκεται στη Σητεία της Κρήτης, ένα νησί με πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την δημιουργία Φ/Β εγκαταστάσεων. Παρακάτω μελετείται και αξιολογείται η απόδοση του συγκεκριμένου πάρκου. Το συγκεκριμένο Φ/Β πάρκο έχει μέγιστη ισχύ 171.36 kW και βρίσκεται σε λειτουργία από το 2002. Μετά από παρακολούθηση ενός έτους με κατάλληλα μέσα του Φ/Β πάρκου, υπολογίζονται η απόδοσή του και οι διάφορες απώλειες ισχύος (θερμοκρασία, δίκτυο, ηλεκτρονικά ισχύος, διαθεσιμότητα πλέγματος Φ/Β πλαισίων και αλληλοσύνδεση). Το Φ/Β πάρκο τροφοδότησε το δίκτυο με 229 MWh κατά τη διάρκεια του έτους 2007, με διακύμανση από 335.48 kWh έως 869.68 kWh. Η τελική απόδοση (Y_F) κυμάνθηκε από 1.96 έως 5.07 ώρες/μέρα (h/d) και ο λόγος απόδοσης (PR) κυμάνθηκε από 58% έως 73%, δίνοντας ένα ετήσιο PR 67.36 %.

Ο χρόνος απόσβεσης μιας επένδυσης στην Ελλάδα, μια περιοχή με μεγάλη έκθεση στον ήλιο, είναι από τους μικρότερους στην Ευρώπη. (Οι υπέρμετρες φορολογήσεις βέβαια είναι ένα άλλο θέμα). Η ανάλυση της απόδοσης ενός μεγάλου Φ/Β πάρκου σε ένα νησί όπως η Κρήτη, με τιμές ηλιοφάνειας από τις μεγαλύτερες στην Ευρώπη, είναι μεγάλης σημασίας διότι δίνει επιπλέον κίνητρο στους πιθανούς επενδυτές βλέποντας μέσω αυτής τις πιθανότητες να έχουν οικονομικά ανταλλάγματα από την επένδυσή τους. Επιπλέον, η εκτίμηση της απόδοσης με πραγματικά δεδομένα επιτρέπει την ανακάλυψη επιχειρησιακών προβλημάτων, διευκολύνει τη σύγκριση συστημάτων που μπορεί να διαφέρουν στη σχεδιάσή τους και αξιολογεί την αλληλεπίδραση του πάρκου με το τοπικό δίκτυο, κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό σε ένα μεγάλο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα, σαν αυτό που μελετάμε.

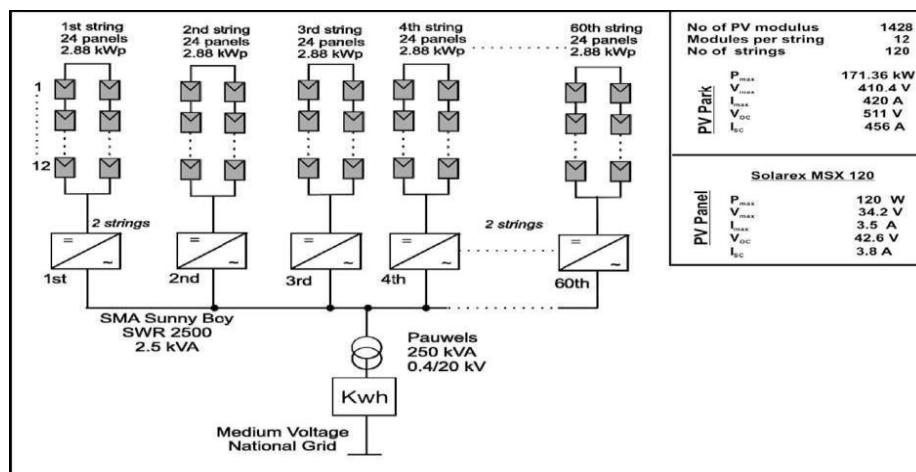
3.3.1 Το φωτοβολταϊκό πάρκο

Το Φ/Β πάρκο έχει εγκατεστημένη χωρητικότητα 171.36 kW, δίκτυο συνδεδεμένο με γραμμή μετάδοσης 20 kV και καλύπτει συνολική επιφάνεια 3784 m²

με ενεργή επιφάνεια 1142.4 m². Το πάρκο αποτελείται από 1428 πολυκρυσταλλικά πάνελ σιλικόνης της BP Solar. Τα Φ/Β πάνελ είναι διατεταγμένα σε 120 παράλληλες γραμμές, με 12 πάνελ η καθεμία και συνδέονται με 60 αντιστροφείς τύπου Sunny Boy SB2500. Επίσης, υπάρχουν κουτιά σύνδεσης, όργανα μέτρησης θερμοκρασίας και ακτινοβολίας και σύστημα καταγραφής δεδομένων. Το Φ/Β σύστημα είναι ανυψωμένο στις 30° και έχει προσανατολισμό προς το νότο στηριζόμενο σε βάσεις από ανοξείδωτο ατσάλι. Η γωνία των 30° επιλέγεται για μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας. Στο σχήμα 3.2 φαίνεται το φ/β πάρκο και στο σχήμα 3.3 φαίνεται ένα σχηματικό κυκλωματικό διάγραμμα των ηλεκτρικών συνδέσεων του συστήματος.



Σχήμα 3.2 : Το φωτοβολταϊκό πάρκο με τα πάνελ να έχουν γωνία 30° και προσανατολισμό προς το Νότο.



Σχήμα 3.3 : Σχηματικό κυκλωματικό διάγραμμα του φ/β συστήματος.

3.3.2 Ανάλυση του συστήματος

Η απόδοση γι' αυτό το συνδεδεμένο στο δίκτυο Φ/Β πάρκο μελετάται και αναλύεται για το έτος 2007 σε ωριαία, ημερήσια και μηνιαία βάση. Το σύστημα του φ/β πάρκου παρακολουθείται πλήρως ώστε να αποτιμηθεί η απόδοση του συστήματος με το τοπικό δίκτυο ισχύος. Για να αξιολογηθεί η απόδοση του φ/β πάρκου υπολογίζονται η τελική απόδοση Y_F (Final Yield), η απόδοση αναφοράς Y_R (Reference Yield), ο λόγος απόδοσης PR (performance ratio) και ο παράγοντας χωρητικότητας CF (capacity factor) όπως ορίζονται από τα διεθνή πρότυπα IEC 61724..

$$Y_F = E(KWh AC) / P(KW DC) \quad (3.2)$$

Η απόδοση αναφοράς Y_R είναι η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το πάρκο σε κάτοψη H_t (KW h/m²) διαιρεμένη με την ακτινοβολία αναφοράς GSTC (1 KW / m²). Επομένως, η απόδοση αναφοράς είναι ο αριθμός των ωρών της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας.

$$Y_R = H_t (KW h/m^2) / 1 KW/m^2 \quad (3.3)$$

Το PR μπορεί να εκφραστεί ως :

$$PR = Y_F / Y_R = n_{deg} n_{tem} n_{soil} n_{net} n_{inv} n_{tr} n_{ppc} \quad (3.4)$$

Η απόδοση σειράς Y_A καθορίζεται ως η ετήσια ή ημερήσια παραγωγή ενέργειας του φ/β συστήματος διαιρεμένη με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ, οι απώλειες του συστήματος L_s υπολογίζονται από τη διαφορά της απόδοσης σειράς με την τελική απόδοση και οι απώλειες L_c οφείλονται στις απώλειες του Φ/Β πλέγματος. Έτσι έχουμε :

$$Y_A = E_{pv,AC} / P_{nom} \quad (3.5)$$

$$L_c = Y_R - Y_A \quad (3.6)$$

$$L_s = Y_A - Y_F \quad (3.7)$$

Τέλος, ο παράγοντας της χωρητικότητας (CF) ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής ετήσιας ενέργειας που προέρχεται από το δίκτυο (output) διαιρεμένο με την ποσότητα της ενέργειας που το φ/β πάρκο θα παρήγαγε αν λειτουργούσε σε

πλήρη λειτουργία ισχύος (Pr) 24 ώρες τη μέρα και επί ένα χρόνο.

$$CF = Y_F / 8760 = E / (Pr \cdot 8760) = (H_t \cdot PR) / (Pr \cdot 8760) \quad (3.8)$$

Η γενική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο του φ/β πλέγματος, η περιβαλλοντική θερμοκρασία, η DC ισχύς που προέρχεται από το πλέγμα και η AC έξοδος ισχύος του φ/β πάρκου μετρήθηκαν κάθε 10 λεπτά και αποθηκεύτηκαν στο σύστημα καταγραφής δεδομένων. Η συνολική λειτουργία του συστήματος καταγράφηκε σε μορφή συλλογής δεδομένων για το έτος 2007 ανά δέκα λεπτά και από αυτό προέκυψε ένας μηνιαίος μέσος όρος.

Η υψηλότερη τιμή της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρήθηκε τον μήνα Ιούλιο με τιμή 224.66 kW h/m² και η χαμηλότερη το Δεκέμβριο με τιμή 92.35 kW h/m². Η ετήσια έκθεση στον ήλιο ήταν 1984.38 kW h/m² και η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος 16.46 °C. Το φ/β πάρκο παρήγαγε 229 MWh μέσα στο 2007, με τιμές που κυμάνθηκαν από 10.4 (Δεκέμβριος) έως 26.96 MWh (Ιούλιος).

Η ετήσια τελική απόδοση των 1336.6 kW h/kW για το φ/β πάρκο είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή των φ/β που λειτουργούν στην Γερμανία και τη νότια Ισπανία, κάτι που δείχνει τις τεράστιες προοπτικές που θα είχε μια τέτοιου είδους επένδυσης στο νησί της Κρήτης.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να υπολογιστούν αναλυτικά οι διάφορες απώλειες του Φ/Β πάρκου περιγράφεται παρακάτω. Η κατοπτρική ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ημέρας, η DC ισχύς από την φ/β συστοιχία και η AC έξοδος ισχύος του Φ/Β πάρκου λαμβάνονται με μια συχνότητα 10 λεπτών ημερησίως και βγαίνει η μέση τιμή τους με αυτήν την συχνότητα. Η ονομαστική στιγμιαία DC ισχύς της Φ/Β συστοιχίας κάθε 10 λεπτά και η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας του πλέγματος υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας και τις τεχνικές προδιαγραφές των φ/β πάνελ που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια, η πραγματική έξοδος ισχύος του πλέγματος προσομοιώνεται σταδιακά προσθέτοντας τις διάφορες απώλειες του πλέγματος (απώλειες θερμοκρασίας, διάβρωσης κλπ). Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για τον υπολογισμό της αλληλοσύνδεσης, απωλειών αντιστροφέα και μετασχηματιστή συσχετίζοντας την πραγματική έξοδο ισχύος του

πλέγματος με την έξοδο ισχύος του φ/β πάρκου με μία συχνότητα 10 λεπτών. Αυτή η μέθοδος δίνει μία ρεαλιστική εκτίμηση, από τη στιγμή που οι διάφορες απώλειες αλληλοσχετίζονται και συνδέονται απευθείας με την στιγμιαία πραγματική εξόδου των Φ/Β πάνελ και του Φ/Β πάρκου.

Η αποτελεσματικότητα ενός Φ/Β πάνελ εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας και την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Καθώς η θερμοκρασία των φ/β πάνελ αυξάνεται, η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται γραμμικά, από τη στιγμή που η μέγιστη ισχύς των φ/β πάνελ αναφέρεται σε STC συνθήκες. Σε διαφορετικές θερμοκρασίες, η έξοδος ισχύος των φ/β πάνελ εξαρτάται από τη διαφορά της θερμοκρασίας των πάνελ και τη θερμοκρασία STC ($T_c - T_{STC}$) και την πυκνότητα ισχύος (G) της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η μηνιαία θερμοκρασία λειτουργίας των φ/β πλαισίων και η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρώνται κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας.

Το καλοκαίρι, η μηνιαία μέση κατά ώρα θερμοκρασία των φ/β πάνελ κυμαίνεται από 22 – 31 °C και η θερμοκρασία περιβάλλοντος κυμαίνεται ανάμεσα στους 13 – 18 °C. Το χειμώνα οι αντίστοιχες διακυμάνσεις είναι 10–12 °C και 6–8 °C.

Τα Φ/Β πάνελ μετά από συνεχή λειτουργία τελικά καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα σκόνης και βρωμιάς, μειώνοντας έτσι το ποσό του φωτός που φτάνει σε κάθε κύτταρό τους. Το ποσό της χαμένης ισχύος εξαιτίας αυτού του γεγονότος (n_{soil}) εξαρτάται από τον τύπο της σκόνης, τη χρονική διάρκεια από την τελευταία βροχόπτωση και την τήρηση του προγράμματος καθαριότητας. Για το συγκεκριμένο φ/β πάρκο εμπειρικά υπολογίστηκαν από τη μελέτη PVUSA. Οι απώλειες λόγω βρωμιάς ήταν 4 – 5 % κατά το χειμώνα και 6 – 7 % κατά την καλοκαιρινή περίοδο και οι συνολικές ετήσιες απώλειες 5.86%.

Προσθέτοντας τις απώλειες λόγω θερμοκρασίας και ακαθαρσιών στην ονομαστική ισχύ εξόδου του πλέγματος χωρίς απώλειες, ένα 5% αναντιστοιχίας, συγκρινόμενο με την πραγματική καταγεγραμμένη ισχύ εξόδου, παρατηρήθηκε. Αυτή η αναντιστοιχία μπορεί να αποδοθεί στις απώλειες λόγω υποβάθμισης των φ/β πάνελ (n_{deg}) λόγω των ετών, μιας και το πάρκο βρίσκεται σε λειτουργία ήδη από το 2002. Το γεγονός αυτό έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τις πειραματικές μελέτες και τις εγγυήσεις των κατασκευαστών.

Οι απώλειες μετατροπής του αντιστροφέα (DC σε AC) υπολογίστηκαν με μία

συχνότητα 10 λεπτών αφαιρώντας τη DC ισχύ εξόδου του πλέγματος από την AC ισχύ εξόδου κανονικοποιώντας τις DC απώλειες καλωδίωσης και αλληλεσύνδεσης ($n_{net}=6\%$) και απώλειες μετατροπής ($n_{tr}=2\%$). Επομένως, οι υπολογισμένες απώλειες μαζί με αυτές του αντιστροφέα ($n_{inv}=2\%$) είναι 7.84%.

Οι απώλειες διαθεσιμότητας και σύνδεσης του πλέγματος (n_{ppc}) κυμαίνονται από 0.3 (Οκτώβριος και Νοέμβριος) έως 19.9% (Μάρτιος), με έναν ετήσιο μέσο 4.54%. Οι απώλειες είναι πολύ χαμηλές (<1%) τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο. Υπάρχει μία αύξηση από το Μάιο μέχρι τον Ιούλιο, ενώ από τον Ιανουάριο μέχρι το Μάρτιο οι απώλειες είναι πολύ μεγάλες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Επιθεώρηση και πιστοποίηση έργων κατασκευής φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το τελευταίο χρονικό διάστημα παρατηρείται μια δυναμική ανάπτυξη φ/β εγγυημένη ανταπόδοση του σταθμού σε βάθος εγκαταστάσεων, ως αποτέλεσμα εφαρμογής του νόμου 3851/2010, ο οποίος αποτελεί συνέχεια των νόμων 3734/2009 και 3468/2006, λόγω του ότι οι συγκεκριμένες επενδύσεις παρουσιάζονται και προωθούνται ως μηδενικού ρίσκου, χάρη στην χρονον. Ουσιαστικά δηλαδή, θεωρείται δεδομένο ότι θα γίνει απόσβεση της επένδυσης σε κάποιο χρονικό διάστημα από την ολοκλήρωση της κατασκευής της φ/β εγκατάστασης, από την στιγμή που η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας θα ξεκινήσει από την έναρξη της λειτουργίας της εγκατάστασης. *Η πιστοποίηση της ποιότητας ενός τέτοιου έργου, απευθύνεται σε πληθώρα διαφορετικών εμπλεκόμενων μερών :*

- Σε ιδιώτες επενδυτές – παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα.
- Σε εγκαταστάτες φ/β συστημάτων.
- Σε ιδιώτες για οικιακές εφαρμογές (φ/β συστήματα σε στέγες).
- Σε οργανωμένες μεγάλες μονάδες φ/β πάρκων.
- Σε τράπεζες που δανειοδοτούν μια επένδυση για τη μείωση του διαχειριστικού κινδύνου.
- Σε ασφαλιστικούς οργανισμούς που ασφαλίζουν το έργο.

Η πιστοποίηση Φ/Β συστημάτων καθίσταται απαραίτητη, διότι:

1. Είναι ευκολότερη η δανειοδότηση της επένδυσης από την τράπεζα.
2. Βελτιστοποιείται η αξιοπιστία της υλοποίησης της μελέτης.
3. Αυξάνεται η αξιοπιστία της επένδυσης απέναντι σε τρίτους.
4. Υπάρχει με αυτόν τον τρόπο η τελική επιβεβαίωση της ορθής υλοποίησης της μελέτης και της εγκατάστασης από Οργανισμό Πιστοποίησης διεθνούς κύρους και αξιοπιστίας.
5. Διασφαλίζεται η υψηλή ποιότητα κατασκευής και η ορθή λειτουργία της

εγκατάστασης.

4.2 Πιστοποίηση σε όλες τις φάσεις κατασκευής ενός Φ/Β συστήματος

Μία πλήρης παροχή υπηρεσιών πιστοποίησης της ποιότητας, που έχει να κάνει με την κάλυψη όλων των φάσεων κατασκευής ενός Φ/Β συστήματος και προτείνεται από την εταιρεία επιθεώρησης και πιστοποίησης έργων παραγωγής ενέργειας TUV AUSTRIA HELLAS παρατίθεται παρακάτω :

- Έλεγχος και πιστοποίηση βάσεων στήριξης Φ/Β συστημάτων βάσει των Ευρωκωδικών 1, 3 και 9 και του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού 2000 (Ε.Α.Κ. 2000).
- Έλεγχος και πιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης του έργου με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και βάσει της τελικής μελέτης εφαρμογής.
- Έλεγχος της πληρότητας του τεχνικού φακέλου και ανασκόπηση της μελέτης εγκατάστασης ως προς την αναμενόμενη οικονομική απόδοση του συστήματος.
- Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραλαβή των υλικών που θα ενσωματωθούν στο έργο και πλήρη ανασκόπηση των συνοδευτικών τους εγγράφων με σκοπό τη συμμόρφωση ως προς τις τεχνικές προδιαγραφές (π.χ. γεωμετρία και ισχύς πάνελ, ταξινόμηση, διατομές καλωδίων, διατομές πασσάλων, πίνακες κ.τ.λ.)
- Επιτόπου επισκέψεις επιθεωρητών διαφόρων ειδικοτήτων (Πολιτικού, Μηχανολόγου και Ηλεκτρολόγου Μηχανικού) σε όλα τα στάδια κατασκευής της εγκατάστασης (π.χ. τοποθέτηση πασσάλων και βάσεων στήριξης φ/β συστημάτων και σύνδεση αυτών, τοποθέτηση φ/β πάνελ και σύνδεση τους με τις βάσεις στήριξης, τοποθέτηση καλωδίων και πινάκων, ηλεκτρολογικές συνδέσεις) και πιστοποίηση αυτής.
- Επαλήθευση ηλεκτρολογικών μεγεθών εγκατάστασης βάσει μελέτης ή/και των απαιτήσεων των προτύπων EN 62446:2009 και HD 384 (π.χ. έλεγχος θεμελιακής γείωσης, αντικεραυνικής προστασίας, βραχυκυκλωμάτων, καλής λειτουργίας αντιστροφεία κτλ.)
- Επιτόπου παρουσία κατά τη διάρκεια δοκιμών παράδοσης – παραλαβής, και κατά την οριστική παραλαβή των έργων και την αυτοψία που θα πραγματοποιηθεί από τη Δ.Ε.Η.

- Έκδοση τελικού πιστοποιητικού συμμόρφωσης της εγκατάστασης ως προς τις απαιτήσεις της εγκεκριμένης μελέτης και των σχετικών προδιαγραφών και προτύπων.

4.3 Πιστοποίηση ποιότητας γραμμής παραγωγής Φ/Β πλαισίων

Ο όμιλος Solar Cells Hellas, παραγωγός δισκίων πυριτίου (Wafers) και Φ/Β στοιχείων (solar cells) πολυκρυσταλλικού πυριτίου, αποδεικνύει την αφοσίωσή του στην παροχή προϊόντων υψηλής ποιότητας, έχοντας πραγματοποιήσει επιτυχώς την πιστοποίηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής των Φ/Β πλαισίων της εταιρείας Soltech A.E. κατά τα διεθνή πρότυπα ISO και OHSAS. Η επιθεώρηση έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της Soltech στην βιομηχανική περιοχή Πατρών από τον φορέα TUV Rheinland Greece. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της επιθεώρησης πιστοποιήθηκε η λειτουργία της γραμμής παραγωγής Φ/Β πλαισίων σύμφωνα με τα κάποια πρότυπα.

Τα οφέλη της εταιρείας από την εφαρμογή των παραπάνω προτύπων θεωρούνται ως υψίστης σημασίας τόσο για την ίδια την εταιρεία, τα στελέχη και τους εργαζομένους της, όσο και για τις άλλες εταιρείες που συνεργάζονται με αυτή.

4.4 Πιστοποίηση συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου

Η εταιρεία PAIRAN κατασκευάζει συστήματα αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου για τις Η.Π.Α. και τον Καναδά που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις προκειμένου να έχουν αυξημένη απόδοση. Η ειδική εταιρεία στην κατασκευή φωτοβολταϊκών από το Göttingen της Γερμανίας, PAIRAN, είναι η πρώτη παγκοσμίως επιχείρηση που κατέχει πιστοποίηση από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά για τα ολοκληρωμένα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου. Με αυτήν την πιστοποίηση, η γερμανική επιχείρηση έχει εξασφαλίσει αποκλειστική πρόσβαση στις αμερικανικές και καναδικές αγορές. Τα πιστοποιητικά ασφαλείας UL και CSA εκδόθηκαν από την αναγνωρισμένη αρχή πιστοποίησης, Curtis Strauss.

Μέχρι τώρα, τα πιστοποιητικά χορηγούνταν μόνο για μεμονωμένα τμήματα διάφορων συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου, όπως για παράδειγμα,

για τα συστήματα χειρισμού. Με την πιστοποίηση της σειράς των ολοκληρωμένων συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου SF-10 έως SF-60, η εταιρεία στόχευσε στην κατάκτηση των υπερπόντιων αγορών φωτοβολταϊκών. "Χωρίς την επίσημη πιστοποίηση ασφαλείας η ένταξη των προϊόντων μας στους αμερικανικούς και καναδικούς εμπορικούς καταλόγους θα ήταν αδύνατη", εξηγεί ο Peter Fleitmann, διευθυντής του Τμήματος διεθνών πωλήσεων. "Με αυτήν την πιστοποίηση από το εργαστήριο Curtis Strauss, τα προϊόντα μας έχουν εγκριθεί με βάση τα αυστηρότερα επίσημα πρότυπα ασφαλείας και πλέον μπορούμε να προσεγγίσουμε τις νέες αγορές με τις καλύτερες δυνατές προϋποθέσεις." Η γερμανική εταιρεία παροχής προϊόντων ποιότητας, PAIRAN, έχει ήδη στο ενεργητικό της περισσότερα από 10.000 εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα αυτόματης παρακολούθησης του ήλιου σε όλον τον κόσμο.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες θεωρούν τη Γερμανία ως μια από τις μεγαλύτερες αγορές φωτοβολταϊκών στον κόσμο. Αυτό οφείλεται κυρίως στα επενδυτικά κίνητρα για την κατασκευή μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων που παρέχονται στη Γερμανία. Στα ερχόμενα έτη, οι ειδικοί προβλέπουν μια δυναμική άνοδο στην αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η Bloomberg New Energy Finance προβλέπει ότι μέχρι το 2020, μόνο στην Αμερική, η τρέχουσα ισχύς των φωτοβολταϊκών θα αυξηθεί από 1,4 GW σε 44 GW.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ποιότητα και συστήματα πιστοποίησης σε άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας

5.1 Πιστοποίηση ποιότητας σε αιολικά πάρκα

5.1.1 Επιλογή τοποθεσίας αιολικού πάρκου

Η επιλογή της τοποθεσίας για ένα αιολικό πάρκο είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του πάρκου. Όσο καλύτερα επιλεγεί η τοποθεσία τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες για αυξημένη απόδοση κάτι που δείχνει και την ποιοτική λειτουργία του αιολικού πάρκου. Ο αντικειμενικός σκοπός της διαδικασίας επιλογής της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας ενός πάρκου είναι ο προσδιορισμός σε 'λογικό' χρονικό διάστημα των θέσεων, οι οποίες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα οικονομοτεχνικής βιωσιμότητας της αιολικής εγκατάστασης με την ταυτόχρονη μεγαλύτερη αποδοχή εκ μέρους του κοινωνικού περιγύρου.

Βασικό κριτήριο για την επιλογή της θέσης είναι ότι η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή προσπελάσιμη από τα συνήθη μεταφορικά μέσα, να υπάρχει πρόσβαση σε λιμάνια ή συγκοινωνιακούς κόμβους κ.α. Επίσης κρίνεται απαραίτητο να είναι κοντά στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. στην περίπτωση σύνδεσής της με το εθνικό δίκτυο καθώς το αιολικό πάρκο αποτελεί κατανεμημένη παραγωγή, συμφέρει δηλαδή να παράγουμε ενέργεια εκεί που την χρειαζόμαστε ώστε να μην έχουμε απώλειες. Παράλληλα, απαιτείται και η σύμφωνη γνώμη του κοινωνικού περιγύρου, με τη διαβεβαίωση ότι η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δε θα αλλοιώσει το περιβάλλον, καθώς και με την υπενθύμιση ότι η αιολική ενέργεια είναι μία τελείως καθαρή μορφή ενέργειας.

Από την πλευρά της βέλτιστης επιλογής της τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε σχέση με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, η τήρηση των βασικών ανεμολογικών κριτηρίων προϋποθέτει την επιλογή τοποθεσιών με:

- υψηλή μέση ταχύτητα ανέμου
- αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας, δηλαδή μεγάλη διάρκεια ισχυρών ανέμων και περιορισμένη ύπαρξη περιόδων νηνεμίας και

- απουσία αποφράξεων του ανέμου καθώς και υψηλών εμποδίων.

Βάσει των παραπάνω κριτηρίων, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μέρη που αποτελούν κορυφές λείων και κυκλοτερών λόφων με ελαφρές κατωφέρειες και ανοιχτό ορίζοντα, καθώς και σε ανοιχτές πεδιάδες, σε ακρογιαλιές ή τέλος στα ανοίγματα των βουνών που δημιουργούν φυσικούς επιταχυντές (ρεύματα αέρα). Πέρα από την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, κατά την διαδικασία επιλογής της τοποθεσίας πρέπει να συνυπολογιστούν και άλλες επιμέρους παράμετροι προκειμένου να έχουμε την τελική επιλογή της θέσης. Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή θα είναι η καλύτερη δυνατή εφόσον συνυπολογισθούν και οι ακόλουθες συνιστώσες :

- Οικονομικά συμφέρουσα παραγωγή ενέργειας. Στόχος κάθε αιολικής εγκατάστασης είναι η παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας και μάλιστα φθηνότερης από την ήδη παραγόμενη από συμβατικά καύσιμα.
- Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την αιολική εγκατάσταση. Αναφερόμαστε εδώ στην οπτική και αισθητική επίδραση, τις επιδράσεις στα πουλιά, την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση καθώς και το πρόβλημα του θορύβου.
- Κανονισμοί και περιορισμοί στη χρήση γης (ιδιοκτησία εδαφικών εκτάσεων).
- Απαιτούμενες ελάχιστες αποστάσεις από διάφορες υποδομές.
- Δυνατότητα πρόσβασης – απαιτούμενα έργα υποδομής – κατασκευή αναγκαίου οδικού δικτύου.
- Αποδοχή της ανεμογεννήτριας από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο.
- Υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή.
- Αντιμετώπιση ακραίων μετεωρολογικών συνθηκών.

Όσον αφορά τα ακραία καιρικά φαινόμενα, ένα από τα σημαντικότερα που θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την επιλογή της θέσης του αιολικού πάρκου είναι και η ύπαρξη παγετού. Η επικάλυψη πάγου στα μέρη της εγκατάστασης

αυξάνει τη στατική και δυναμική τους καταπόνηση, με αποτέλεσμα να πρέπει τα μέρη της εγκατάστασης αλλά και οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας να υπολογισθούν σε καταπονήσεις από αυξημένα μηχανικά φορτία. Επίσης, είναι πιθανόν να προξενηθεί εκτόξευση τμημάτων πάγου κατά την περιστροφή των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Ένας επιπρόσθετος κίνδυνος που συνοδεύει την εμφάνιση παγετού, είναι η καταστροφή των ανεμομέτρων ή η βλάβη των συστημάτων ελέγχου της εγκατάστασης. Για τους παραπάνω λόγους αυξάνεται και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδος.

5.1.2 Ποιότητα ισχύος αιολικού πάρκου

Η τοποθέτηση των ανεμογεννητριών επηρεάζει την ποιότητα ισχύος στο συνδεδεμένο δίκτυο. Ανάλογα με τη διαμόρφωση του δικτύου και τον τύπο των Α/Γ που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται διαφορετικά προβλήματα ποιότητας ισχύος. Όλες οι Α/Γ ακολουθώντας τις φυσικές μεταβολές του ανέμου έχουν ανομοιογενή παραγωγή ενέργειας.

Οι μονάδες αιολικής ενέργειας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με νέες τεχνολογίες οι οποίες τους δίνουν τη δυνατότητα να παρέχουν καλές υπηρεσίες και να παράγουν όσο το δυνατόν πιο «καθαρή» ενέργεια για το δίκτυο. Η πρόοδος στα ηλεκτρονικά ισχύος έχει επιτρέψει να ολοκληρωθεί μια ομαλότερη ρύθμιση. Εφαρμογές όπως η αντιστάθμιση άεργης ισχύος, η αποθήκευση ενέργειας και οι Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας είναι σύνηθες να υπάρχουν σε αιολικούς σταθμούς.

Επειδή το αιολικό πάρκο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο είναι σημαντικό να εντοπιστούν και να κατανοηθούν οι πηγές διαταραχών που επηρεάζουν την ποιότητα ισχύος. Η τάση και η συχνότητα πρέπει να διαφυλάσσονται όσο το δυνατόν σταθερές. Οι διαταραχές στην τάση και το ρεύμα λόγω των αρμονικών εξαιτίας της αντίδρασης της γραμμής πρέπει να παρακολουθούνται.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι Α/Γ με κριτήριο την καμπύλη ισχύος-ταχύτητας. Διακρίνονται σε :

- Α/Γ σταθερών στροφών (σταθερής ταχύτητας και σταθερής συχνότητας)
- Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας (μεταβλητής ταχύτητας και σταθερής συχνότητας)

Η παραγωγή τάσεως με σταθερή συχνότητα επιβάλλεται στην περίπτωση που οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο.

5.1.3 Αξιοπιστία ηλιακής ενέργειας

Αξιοπιστία για ένα σύστημα ορίζεται ως η πιθανότητα του συστήματος να εκτελεί την αποστολή του επαρκώς για τη σχεδιαζόμενη χρονική περίοδο και τις επικρατούσες λειτουργικές συνθήκες. Η αιολική ενέργεια όπως και οι περισσότερες πηγές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνοδεύεται από τεχνολογικά προβλήματα τα οποία εμποδίζουν την πλήρη και χωρίς περιορισμούς χρήση της στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Γι' αυτό συνήθως αναφέρονται συγκεκριμένα ποσοστά εισχώρησης στο δίκτυο (ποσοστό επί της συνολικής ζήτησης ισχύος) της τάξεως του 20 – 30%, ανάλογα με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε περιοχής. Ο κύριος λόγος της επιφυλακτικότητας για την αύξηση της εισχώρησης της αιολικής ενέργειας είναι η μεταβλητότητα του ανέμου. Αν για παράδειγμα μειωθεί αισθητά ο άνεμος στην περιοχή του αιολικού πάρκου, αναπόφευκτα θα μειωθεί και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, η μείωση στην παραγωγή θα πρέπει να καλυφθεί από άλλες (συμβατικές) μονάδες παραγωγής σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Όμως ο χρόνος απόκρισης των συμβατικών μονάδων παραγωγής είναι σχετικά μεγάλος και αν δεν υπάρχει ήδη διαθέσιμη εφεδρεία στο σύστημα δε θα λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

Η σύγχρονη τεχνολογία συνέβαλε στην κατασκευή αξιόπιστων και αποδοτικών Α/Γ. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες Α/Γ, **οριζοντίου άξονα** και **κατακόρυφου**. Στην πράξη χρησιμοποιούνται οι Α/Γ οριζοντίου άξονα. Οι συνθήκες στις οποίες λειτουργούν είναι εξαιρετικά δύσκολες, δεδομένου ότι εργάζονται σε σκληρές κλιματολογικές συνθήκες, με υψηλές ταχύτητες ανέμου και σε συνθήκες εναλλασσόμενων φορτίσεων. Για να είναι αξιόπιστες πρέπει κατά το σχεδιασμό τους να τηρούνται συγκεκριμένες προδιαγραφές :

- Ο χρόνος ζωής του συστήματος πρέπει να είναι 20-30 χρόνια.
- Να υπάρχει ασφαλής λειτουργία της Α/Γ σε ταχύτητες ανέμου 25-30 m/sec.
- Να εξασφαλιστεί η επιβίωση της Α/Γ σε ταχύτητες ανέμου 50-70 m/sec.
- Να εξαλειφθούν οι κίνδυνοι συντονισμού. Οι ιδιοσυχνότητες των διαφόρων

υποσυστημάτων (πυλώνας, πτερύγια, κ.λ.π.), η συχνότητα περιστροφής του δρομέα και οι αρμονικές της πρέπει να συμπίπτουν.

- Να υπάρχει αντοχή σε εναλλασσόμενα φορτία.
- Να γίνει κατάλληλη σχεδίαση του συστήματος, ώστε να επιτυγχάνεται απόσβεση των πρόσθετων φορτίων και των ταλαντώσεων που οφείλονται στις ριπές και στην τύρβη του ανέμου.
- Να διενεργηθεί ακριβής έλεγχος όλων των συνθηκών φόρτισης της Α/Γ σε κάθε εξάρτημα ή υποσύστημα με έμφαση στις δυσμενέστερες συνθήκες φόρτισης που μπορεί να εμφανιστούν. Απαιτείται επίσης αντιδιαβρωτική προστασία.

5.1.4 Εταιρείες και οργανισμοί πιστοποίησης αιολικής ενέργειας

Ένας από τους οργανισμούς που ασχολούνται με την αξιολόγηση της αιολικής ενέργειας είναι και το *Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.)* το οποίο εποπτεύεται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα το Τμήμα Αιολικής Ενέργειας. Το *αντικείμενο* και οι *αρμοδιότητες* του συγκεκριμένου τμήματος είναι οι εξής :

- 1) Αποτίμηση Αιολικού Δυναμικού – Ανάπτυξη πλήρους μεθοδολογίας εκτίμησης και μέτρησης του αιολικού δυναμικού. Διερεύνηση και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού της χώρας.
- 2) Εφαρμοσμένη Έρευνα και Ανάπτυξη Αιολικής Τεχνολογίας - Δημιουργία υποδομής για ανάλυση - σχεδιασμό - αξιολόγηση και πιστοποίηση Ανεμογεννητριών (Α/Γ). Καταγραφή φασμάτων φόρτισης Α/Γ στην χώρα. Ανάπτυξη βέλτιστων αεροτομών για τις συνθήκες της Ελλάδας - Εργαστήριο προσομοίωσης νησιωτικών δικτύων για τη μεγιστοποίηση της χρήσης της αιολικής ενέργειας στα νησιωτικά δίκτυα της χώρας. Ανάπτυξη συστημάτων Wind/Diesel – Σχεδιασμός αιολικών πάρκων.
- 3) Πιστοποίηση Αιολικών Συστημάτων - Πιστοποίηση Α/Γ – Εργαστήριο ελέγχου, πιστοποίησης, ανάπτυξης και εξέλιξης πτερυγίων Α/Γ μέχρι 30μ μήκος - Ανάπτυξη μόνιμων και κινητών σταθμών αξιολόγησης αιολικών έργων και Α/Γ.

- 4) Προώθηση Αιολικής Τεχνολογίας - Προώθηση της χρηματοδότησης και της συμμετοχής σε έργα που αφορούν στην εγκατάσταση Α/Γ σε συνεργασία με την Τοπική Αυτοδιοίκηση και άλλους φορείς - Τεχνική βοήθεια και επιμόρφωση σε χρήστες και στη βιομηχανία - Συμμετοχή στο στρατηγικό σχεδιασμό ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.

Μια εταιρεία που δραστηριοποιείται στον τομέα της εκτίμησης του αιολικού δυναμικού είναι η 2EN – Εναλλακτική Ενεργειακή. Η εταιρεία αυτή παρέχει διαπιστευμένες υπηρεσίες και κατασκευάζει προϊόντα δοκιμασμένης αντοχής και αξιοπιστίας. Κάποιες από τις διαπιστευμένες υπηρεσίες που η εταιρεία παρέχει είναι οι εξής :

- Πιστοποίηση κατά διαδικασίες Συστήματος Ποιότητας ISO 17025:2005 που χορηγήθηκε από τον φορέα Deutscher Akkreditierungs Rat και το Ελληνικό Σύστημα Διαπίστευσης στα παρακάτω πεδία:
 - i. Μέτρηση και ανάλυση αιολικού δυναμικού
 - ii. Εκτίμηση ενεργειακής παραγωγής αιολικού πάρκου
- Παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών, μακροχρόνιες συσχετίσεις στατιστικών ανέμου και διαμόρφωση μετρητικών συστημάτων για εκπόνηση μελετών αιολικού δυναμικού.
- Μετρήσεις με χρήση LIDAR (τεχνολογία μέτρησης από απόσταση) για την εκτίμηση της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος της μέτρησης (wind shear) μέχρι τα 200μ.
- Κατασκευή και Εμπορία σωληνωτών και δικτυωτών μετεωρολογικών ιστών από 10 μέχρι 65 μέτρα ύψος.
- Παραγωγή και εμπορία καινοτόμων και αξιόπιστων ανεμομέτρων και ανεμοδεικτών.
- Χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

5.2 Ποιότητα και Βιομάζα

Με τον όρο **βιομάζα**, όπως προαναφέρθηκε, ονομάζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών

τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Είναι η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί. Στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η χρήση της βιομάζας γίνεται συνήθως με την καύση σε σύγχρονους λέβητες υψηλής τεχνολογίας, με αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη παροχή αέρα, οι οποίοι είναι σε θέση να αποδώσουν περισσότερο από το 90% της ενέργειας που περιέχεται στο ξύλο για θέρμανση. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού των επιφανειών εναλλακτών θερμότητας και αυτόματη απομάκρυνση της στάχτης, ενώ ορισμένα μοντέλα συμπιέζουν τις στάχτες, ώστε το καθαρίσμα να είναι αναγκαίο μόνο δύο φορές το χρόνο. Οι σύγχρονοι λέβητες ξύλου δεν παράγουν ορατό καπνό και οι εκπομπές τους είναι πολύ χαμηλές.

Ένας από τους οργανισμούς που ασχολείται με τη βιομάζα και την ποιότητα των διαδικασιών που έχουν να κάνουν με αυτήν είναι το Τμήμα Βιομάζας του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Κάποια από τα αντικείμενα και τις αρμοδιότητες του τμήματος είναι τα εξής :

- 1) Ενεργειακές Καλλιέργειες - Διερεύνηση και αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων - Εκτέλεση πιλοτικών έργων εκμετάλλευσης βιομάζας σε συνεργασία με τρίτους - Αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού φυτών καλλιεργούμενων σε γόνιμα και περιθωριακά εδάφη - Απογραφή και διερεύνηση τεχνολογιών συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης της βιομάζας - Διερεύνηση και αξιολόγηση της παραγωγικότητας διαφόρων ενεργειακών φυτών, όπως του γλυκού σόργου, της αγριαγκινάρας, του μίσκανθου κ.ά. σε γόνιμα και περιθωριακά εδάφη, με απώτερο σκοπό την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων είτε με στερεά καύσιμα, είτε με υγρά, που θα παραχθούν με θερμοχημικές διεργασίες και θα χρησιμοποιηθούν για παραγωγή θερμότητας, ψύξης και κίνησης - Μελέτη και κατασκευή ενός ολοκληρωμένου συστήματος προετοιμασίας, μεταφοράς και θερμοχημικής επεξεργασίας της βιομάζας, με απώτερο στόχο την παραγωγή βιοαιθανόλης (οινοπνεύματος), που θα χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμη ύλη

μεταφορών σε πρόσμειξη με βενζίνη μέχρι και 20%, για αύξηση του βαθμού οκτανίων (παραγωγή αμόλυβδης), καθώς και για εξοικονόμηση βενζίνης.

- 2) Εφαρμογές Βιομάζας - Υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, με υπολείμματα βιομάζας που προέρχονται από τη δραστηριότητά τους - Παραγωγή χημικών λιπασμάτων από υπολείμματα πτηνοτροφίας - Τηλεθέρμανση κατοικιών με δασικά υπολείμματα - Συμπααραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού με την αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας σε βιομηχανικές μονάδες, Δήμους ή Κοινότητες - Εκπόνηση μελετών για έργα Τηλεθέρμανσης/Τηλεψύξης και Συμπααραγωγής με χρήση Βιομάζας - Εκπόνηση μελετών -στα πλαίσια Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων - ενεργειακού σχεδιασμού διαφόρων περιοχών της χώρας, με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίηση των διαθέσιμων ποσοτήτων βιομάζας και των ενεργειακών καλλιεργειών.
- 3) Τεχνολογίες Μετατροπής Βιομάζας - Πιλοτική μονάδα (12 kg/h) αστραπιαίας πυρόλυσης βιομάζας για παραγωγή πυρολυτικών υγρών (βιοέλαιο) - Ανάπτυξη μονάδας 50 KW με αεριοποίηση βιομάζας σε συνεργασία με το Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας αεριοποίησης 150 KW στο Τρίγωνο Έβρου.

5.3 Ποιότητα και γεωθερμική ενέργεια

Ένα σύστημα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (ΓΑΘ) αποτελείται από τρία κύρια μέρη :

- Την αντλία θερμότητας (heat pump) που λειτουργεί όπως οι αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει, αντί για νερό, θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5 °C) και την μεταφέρει σε άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία (π.χ. 25°C).
- Το Σύστημα θέρμανσης/ψύξης εντός του κτιρίου, που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι (αεραγωγοί ή ενδοδαπέδια ή fan coils). Οι

γεωθερμικές αντλίες θερμότητας λειτουργούν και με καλοριφέρ.

- Το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (γεωεναλλάκτη θερμότητας, κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα), το οποίο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος.

Η ποιότητα ενός τέτοιου συστήματος έχει άμεση σχέση με την απόδοσή του. Ένα σύστημα γεωεναλλάκτη είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος είναι:

- Ο σχεδιασμός του συστήματος
- Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας
- Η ποιότητα εγκατάστασης
- Το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας
- Οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου
- Οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όπως όλοι οι άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας, βαθμονομούνται σύμφωνα με το συντελεστή απόδοσης (COP), ο οποίος προσδιορίζει την ενέργεια που το σύστημα παράγει σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί. Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν COP 3-5. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μία μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το σύστημα, 3-5 μονάδες παρέχονται ως θερμότητα. Ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300%-500%. Τα συστήματα γεωεναλλακτών πρακτικά δεν χρειάζονται συντήρηση. Με ορθή εγκατάσταση ο γεωεναλλάκτης θα λειτουργεί για πολλές δεκαετίες. Τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος, η αντλία θερμότητας, οι κυκλοφορητές και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας βρίσκονται εντός του κτιρίου προστατευμένα από τις εξωτερικές συνθήκες. Συνήθως οι περιοδικοί έλεγχοι για τη σωστή λειτουργία είναι η μόνη απαραίτητη συντήρηση.

Το Τμήμα Γεωθερμικής Ενέργειας του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) είναι ένας φορέας που ασχολείται με θέματα ποιότητας στην γεωθερμία και έχει ως αντικείμενο και αρμοδιότητες τις εξής :

- Μελέτες σκοπιμότητας για τη θέρμανση θερμοκηπίων και τηλεθέρμανση

ορισμένων πόλεων και χωριών με γεωθερμική ενέργεια.

- Μελέτες σκοπιμότητας και έργα εφαρμογής για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας για αφαλάτωση.
- Μελέτες και έργα εφαρμογών γεωθερμικής ενέργειας στο αεροδρόμιο "ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ" Θεσσαλονίκης.
- Σχεδιασμός και ανάπτυξη συστημάτων γήινων εναλλακτών θερμότητας σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη κτιρίων.
- Δημιουργία βάσης δεδομένων για την πληροφόρηση και διάδοση των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στη γεωθερμία και κατάρτιση οδηγών γεωθερμικών πεδίων και εφαρμογών σε αυτά, τόσο για τον ελληνικό όσο και για το διεθνή χώρο.

5.4 Ποιότητα και υδροηλεκτρική ενέργεια

Οι **Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ΜΥΗΣ)** στην Ελλάδα αποτελούν μία από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρουσιάζουν δε, σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την αξιοποίηση συμβατικών μορφών ενέργειας (λιγνίτη, πετρέλαιο κ.ά.). Παρά ταύτα, δεν είναι λίγες οι φορές που οργανώσεις ή η τοπική κοινωνία αντιτίθεται στην κατασκευή των ΜΥΗΣ εξαιτίας κάποιων ενδεχόμενων αρνητικών περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

Κάποια από τα στοιχεία που κρίνουν την ποιότητα των ΜΥΗΣ είναι οι βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων και η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων που αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των ΜΥΗΣ. Συνήθως οι βαθμοί απόδοσής τους είναι πολύ υψηλοί (90% και άνω) και η διάρκεια ζωής τους πολύ μεγάλη (μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη).

Κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά των μικρών υδροηλεκτρικών έργων είναι η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης - απόζευξης στο δίκτυο, ή η αυτόνομη λειτουργία τους, η αξιοπιστία τους, η παραγωγή ενέργειας άριστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις, η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης των αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό

κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης, η φιλικότητα προς το περιβάλλον με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων και τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευσης, κλπ.), η δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις, κ.α.

Ένας φορέας που ασχολείται με τα ΜΥΗΣ και την αξιολόγησή τους είναι το Τμήμα Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Το αντικείμενο και οι αρμοδιότητες του τμήματος είναι οι εξής:

- 1) Η αποτίμηση του Ελληνικού μικροϋδροηλεκτρικού δυναμικού.
- 2) Η καταγραφή και αξιολόγηση των πιθανών θέσεων εγκατάστασης Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων.
- 3) Η μελέτη και ο σχεδιασμός των έργων αυτών.
- 4) Η παροχή τεχνικής στήριξης, βοήθειας και ενημέρωσης προς κάθε φορέα για την προώθηση της εκμετάλλευσης των Μ.Υ.Η.Ε.
- 5) Η εκτέλεση πιλοτικών Μ.Υ.Η.Ε. σε συνεργασία με τρίτους.
- 6) Η τεχνική υποστήριξη για χάραξη τοπικής και περιφερειακής στρατηγικής σχετικά με τη μικροϋδροηλεκτρική ανάπτυξη.
- 7) Η συμμετοχή σε κοινές προσπάθειες συλλογής και επεξεργασίας πρωτογενών πληροφοριών κλιματουδρολογικού περιεχομένου, καθώς και κατασκευής των πρώτων Ελληνοποιημένων υδροστρόβιλων.
- 8) Καταγραφή κυματικού και παλιρροιακού δυναμικού και ανάπτυξη τεχνολογιών αξιοποίησής τους.
- 9) Ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων μικροϋδροηλεκτρικής απόληψης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα

Η ποιότητα κατά την κατασκευή συστημάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα του έργου. Αν κατά την κατασκευή δεν προσεχθεί αρκετά ένα σημείο, ενδέχεται να προκύψουν ελαττώματα γεγονός που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη της ανακατασκευής. Επιπλέον, μπορεί να υπάρξει αυξημένο κόστος και καθυστερήσεις λόγω αυτού του γεγονότος. Μια σωστή εταιρεία προσπαθεί και διασφαλίζει την ποιότητα του συστήματος αυτού κατά την κατασκευή του, αλλά ακόμα σημαντικότερο ρόλο για την ποιότητά του αποτελεί το κομμάτι της σχεδίασής του.

Κάποιες φυσικές παράμετροι και τεχνικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός επίγειου Φ/Β πάρκου και άρα σχετίζονται με την ποιότητά του είναι οι εξής :

- Η θέση και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του πάρκου.
- Η μορφολογία του εδάφους (ανάγλυφο, φυσικά εμπόδια).
- Η ισχύς του πάρκου.
- Ο τύπος των συλλεκτών (ισχύς, τάση και ένταση εξόδου, διαστάσεις).
- Ο τύπος των μετατροπέων (inverter), δηλαδή η ισχύς και η τάση εισόδου –εξόδου τους.
- Οι αγωγοί μεταφοράς της ισχύος.
- Τα έργα υποδομής.

Στην ποιοτική κατασκευή του Φ/Β πάρκου σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασής του, κάτι που εξαρτάται από τον προσανατολισμό των Φ/Β πλαισίων, τα προβλήματα σκιασμών, τη στατική μελέτη και τα υλικά στήριξης.

Επιπλέον για την αξιολόγηση της ποιότητας ενός Φ/Β πάρκου χρησιμοποιούνται, όπως είδαμε, κάποιοι Δείκτες Αξιολόγησης, όπως είναι το **Ηλιακό κλάσμα**, η **Απόδοση σειράς**, η **Τελική απόδοση**, οι **Απώλειες Συστήματος**, η **Απόδοση αναφοράς**, οι **Απώλειες ακτινοβολίας** και ο **Λόγος απόδοσης**. Επίσης, η

ποιότητα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόδοσή του που έχει να κάνει με την ποιότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, βάσεων στήριξης αλλά και πολλών άλλων παραγόντων. Η απόδοση του Φ/Β συστήματος εξαρτάται σημαντικά από τη σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας και από τη θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου.

Για την κάλυψη όλων των φάσεων κατασκευής ενός Φ/Β συστήματος προτείνονται τα εξής :

- Επιτόπου παρουσία κατά τη διάρκεια δοκιμών παράδοσης-παραλαβής, και κατά την οριστική παραλαβή των έργων και την αυτοψία που θα πραγματοποιηθεί από τη Δ.Ε.Η.
- Έκδοση τελικού πιστοποιητικού συμμόρφωσης της εγκατάστασης ως προς τις απαιτήσεις της εγκεκριμένης μελέτης και των σχετικών προδιαγραφών και προτύπων.

Για **αιολικά πάρκα** σημαντικό ρόλο για την ποιότητά τους παίζουν η επιλογή τοποθεσίας του αιολικού πάρκου, η ποιότητα ισχύος του και η αξιοπιστία της αιολικής ενέργειας που θα παράγει. Για ένα **γεωθερμικό σύστημα** οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του συστήματος, που έχει άμεση σχέση με την απόδοσή του είναι:

- Ο σχεδιασμός του συστήματος
- Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας
- Η ποιότητα εγκατάστασης
- Το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας
- Οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου
- Οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας

Όσον αφορά τους **μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς**, κάποια από τα στοιχεία που κρίνουν την ποιότητά τους είναι οι βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων και η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων που αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την

τεχνολογική ωριμότητα των ΜΥΗΣ.

Τέλος, όσον αφορά τη **βιομάζα**, κάποιες ενέργειες που μπορούν να επηρεάζουν την ποιότητά της είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες, η διερεύνηση και αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, η εκτέλεση πιλοτικών έργων εκμετάλλευσης βιομάζας σε συνεργασία με τρίτους, η αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού φυτών καλλιεργούμενων σε γόνιμα και περιθωριακά εδάφη κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Μέτρηση χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας και απόδοσης σύγχρονου φωτοβολταϊκού πλαισίου με (ημι)διαφανή ηλιακά κύτταρα σε χαμηλές εντάσεις ηλιακής ακτονοβολίας. Ανάλυση πειραματικών δεδομένων.

❖ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ KEITHLEY 2420



Εικόνα 7.1

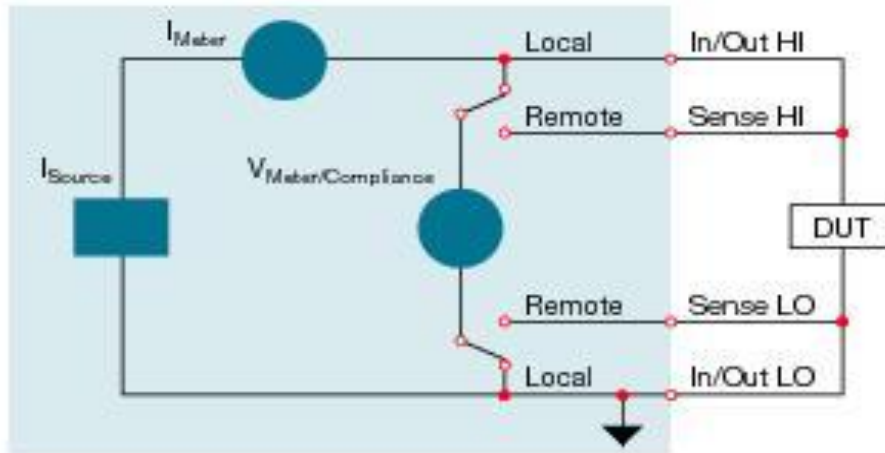
Keithley 2420

Το Keithley 2420 3A Sourcemeter (εικόνα 7.1) αποτελείται από δύο βασικά εργαστηριακά όργανα:

- A) ένα υψηλής ακρίβειας βολτόμετρο, αμπερόμετρο και ωμόμετρο
- B) ένα υψηλής ακρίβειας και σταθερότητας χαμηλού θορύβου τροφοδοτικό συνεχούς τάσης και ρεύματος.

Ανάλογα με τον προγραμματισμό του οργάνου και το τι συνδέεται στην έξοδό του (φορτίο ή πηγή) το Keithley 2420 μπορεί να λειτουργήσει σαν όργανο τεσσάρων καταστάσεων:

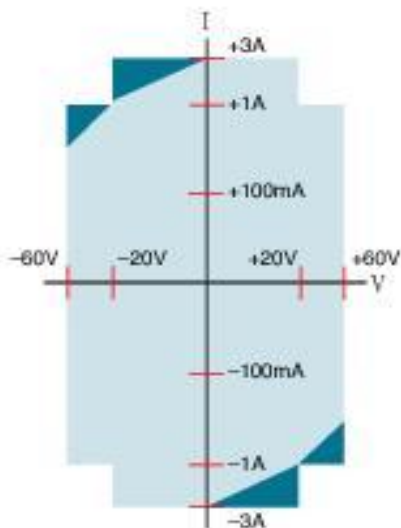
- 1) σαν πηγή ενέργειας (τάση και ρεύμα ίδιας πολικότητας)
- 2) σαν φορτίο (τάση και ρεύμα ανάποδης πολικότητας)



Εικόνα 7.2

Λειτουργία Keithley 2420 σαν πηγή ρεύματος και σαν μετρητής τάσης.

Στις δύο πρώτες καταστάσεις το όργανο λειτουργεί σαν πηγή ενέργειας, είτε τάσης είτε ρεύματος, όπου δίνει ενέργεια στο φορτίο. Στις άλλες δύο περιπτώσεις το όργανο λειτουργεί σαν καταναλωτής ενέργειας όπου καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από όση παράγει, στην περίπτωση αυτή τόσο η τάση V όσο και το ρεύμα I είναι ανάστροφης πολικότητας. Στην εικόνα 7.2 φαίνεται ενδεικτικά η περίπτωση στην οποία το όργανο έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί σαν πηγή ρεύματος και σαν μετρητής τάσης.



Στο διάγραμμα ρεύματος-τάσης που φαίνεται στη διπλανή εικόνα παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο οι πιθανοί συνδυασμοί μετρήσεων σε ένα κύκλωμα (είτε είναι ενεργητικό είτε είναι παθητικό) από το μοντέλο 2420 της εταιρίας Keithley. Σύμφωνα με αυτό για τιμές έντασης ρεύματος μεγαλύτερες του 1A (δηλαδή από 1A μέχρι και 3A που είναι το μέγιστο) η μέγιστη τιμή τάσης που μπορεί να μετρήσει ή να δώσει σαν πηγή το όργανο είναι 20V ενώ, για τιμές ρεύματος μέχρι και 1A

μπορεί να μετρηθεί ή να παραχθεί από το όργανο μέγιστη τιμή τάσης 60V. Έτσι λοιπόν, ανάλογα με το προς μέτρηση κύκλωμα και παρατηρώντας το διάγραμμα I-V του οργάνου μπορεί να αποφασιστεί ο τρόπος μέτρησής του. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 7.0)

φαίνονται οι κλίμακες με τις αρχικές και τελικές τιμές του οργάνου όταν αυτό δουλεύει σαν πηγή ή σαν μετρητής.

<i>Source Voltage</i> από 5μV μέχρι 63V
<i>Source Current</i> από 500pA μέχρι 3.15A
<i>Measure Voltage</i> από 1μV μέχρι 63.3V
<i>Measure Current</i> από 100pA μέχρι 3.165A
<i>Measure Resistance</i> από 10μΩ μέχρι 21.1MΩ

Πίνακας 7.0

❖ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ KEITHLEY 2420

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το όργανο της εταιρίας Keithley 2420, που περιγράφηκε αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα, παρατίθενται στις επόμενες σελίδες. Συγκεκριμένα, οι χαρακτηριστικές ρεύματος-τάσης του προς μέτρηση φωτοβολταϊκού πλαισίου αφορούν εντάσεις φωτός από 165W έως 390W συνοδευόμενες από τον πίνακα των βασικών παραμέτρων που μετρήθηκαν. Ο περιορισμός στην ένταση της ακτινοβολίας, που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, αφορά στη λειτουργία του οργάνου της Keithley και στους περιορισμούς στην μετρούμενη τιμή ρεύματος σε συνδυασμό με την τάση.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα ρεύματος-τάσης, το οποίο παρουσιάζει τον τρόπο λειτουργίας και τους πιθανούς συνδυασμούς ρεύματος-τάσης σε οποιαδήποτε μέτρηση, ο περιορισμός στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορά στην υψηλή τιμή έντασης ρεύματος(πάνω από 1 A) σε συνδυασμό με την υψηλή τιμή τάσης(πάνω από 20 V). Συγκεκριμένα, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που μελετούμε έχει τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης, $I_{sc} = 2$ A και τάση ανοιχτού κυκλώματος, $V_{oc} = 39.1$ V, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τους κανόνες λειτουργίας του οργάνου της εταιρίας Keithley. Κατόπιν τούτου, για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος καταφύγαμε στη λύση των μετρήσεων με χαμηλές εντάσεις ακτινοβολίας ώστε να εξαιρεθούν οι όποιοι περιορισμοί στις μετρούμενες τιμές ρεύματος και στις αντίστοιχες τιμές των τάσεων.

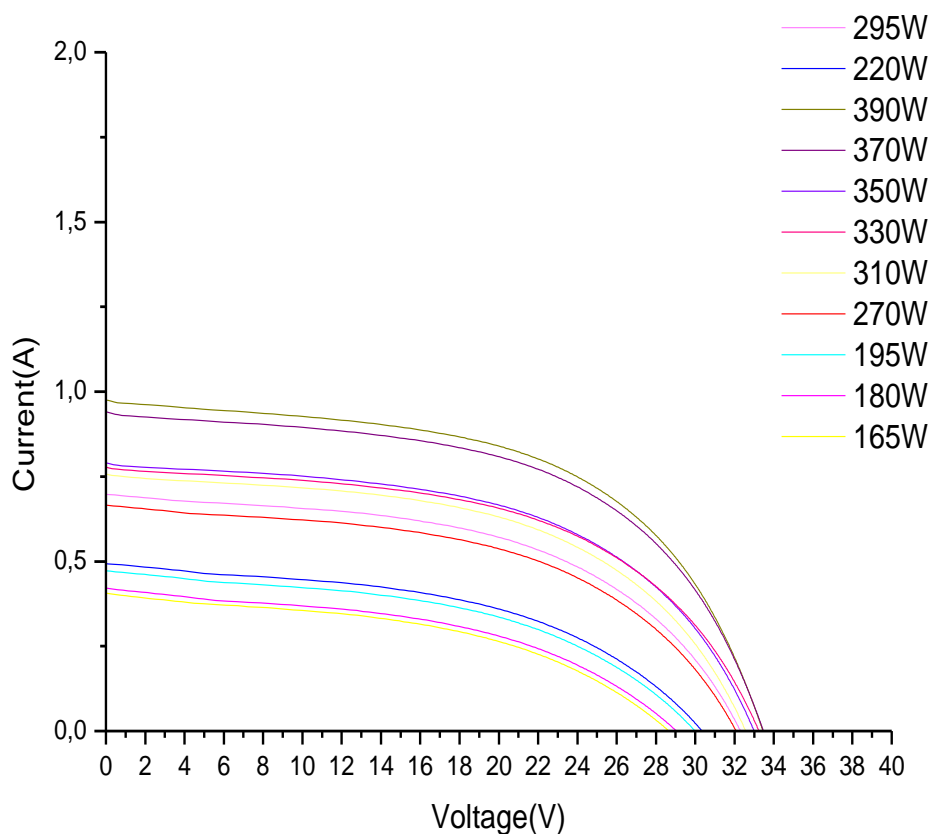
Στους πίνακες αποτελεσμάτων που παρατίθενται κάτω από κάθε χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης, έχουν υπολογιστεί είτε γραφικά είτε μετά από υπολογισμούς, τα

βασικά μεγέθη που περιγράφουν πλήρως την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου. Τα μεγέθη αυτά είναι: V_{oc} , I_{sc} , V_m , I_m , P_{max} , FF και $\eta\%$.



Εικόνα 7.2

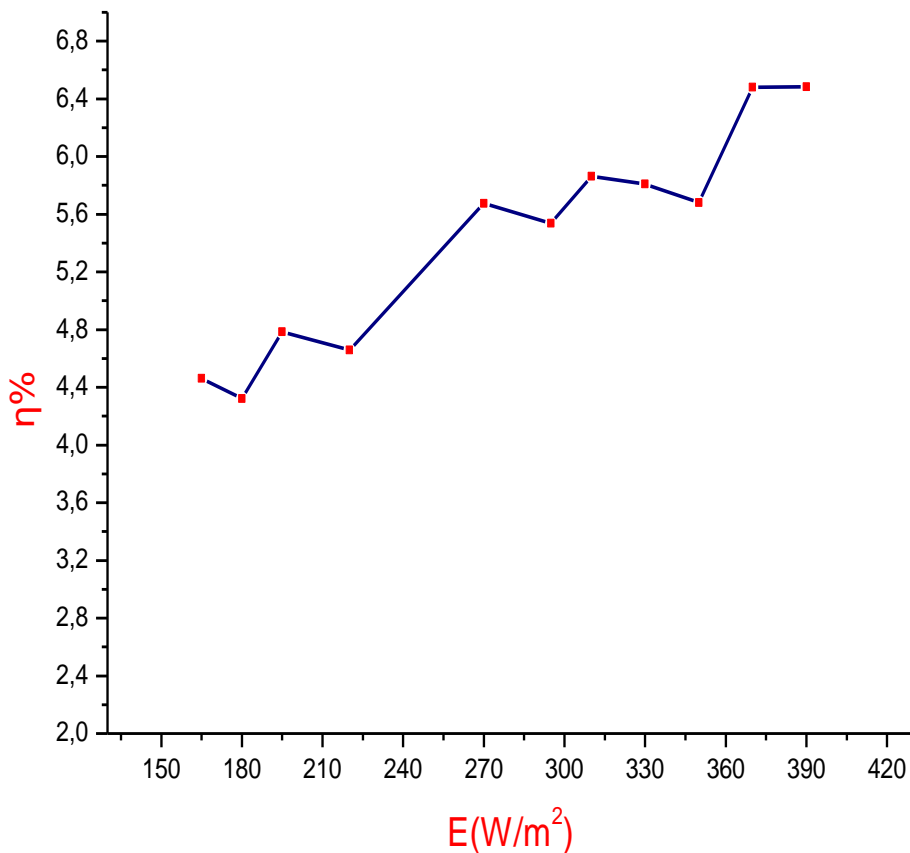
Το εξεταζόμενο διαφανές ηλιακό πάνελ. *Solarmodule P48-72 GEGLK*.



Γράφημα 7.1

Όλες οι πειραματικά μετρούμενες καμπύλες για διαφορετικές εντάσεις ακτινοβολίας φωτός σε ένα γράφημα.

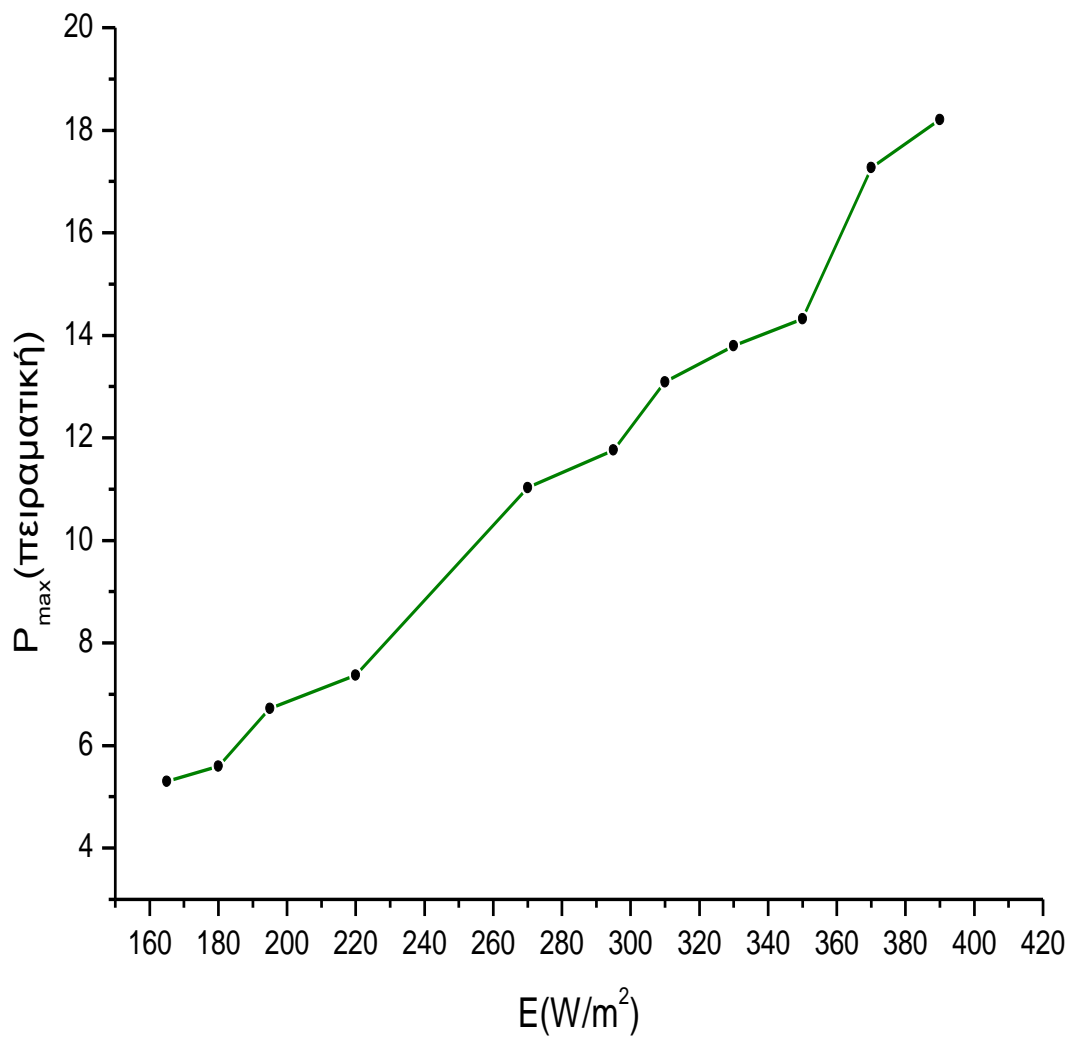
Η θεωρητική απόδοση του προς εξέτασιν διαφανούς ηλιακού πάνελ του εργαστηρίου μας είναι 6,66% ($\eta\%=6,658$) και η οποία είναι σταθερή για οποιαδήποτε τιμή ισχύος H/M ακτινοβολίας. Από το παρακάτω γράφημα όμως, παρατηρούμε, πως πειραματικά το ΦΒ μας πλαίσιο αγγίζει ή τουλάχιστον πλησιάζει την τιμή αυτή (6,66%), όταν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας είναι 250 W/m² και άνω. Συνεπώς, το μοντέλο 'Solarmodul P48-72 GEGLK' της εταιρίας Solarwatt δεν συμφέρει να χρησιμοποιείται για εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας κάτω των 250 Watt/m². Με άλλα λόγια, το εν λόγω εξεταζόμενο πάνελ του εργαστηρίου μας είναι αποδοτικό για εντάσεις άνω των 250 W/m².



Γράφημα 7.2

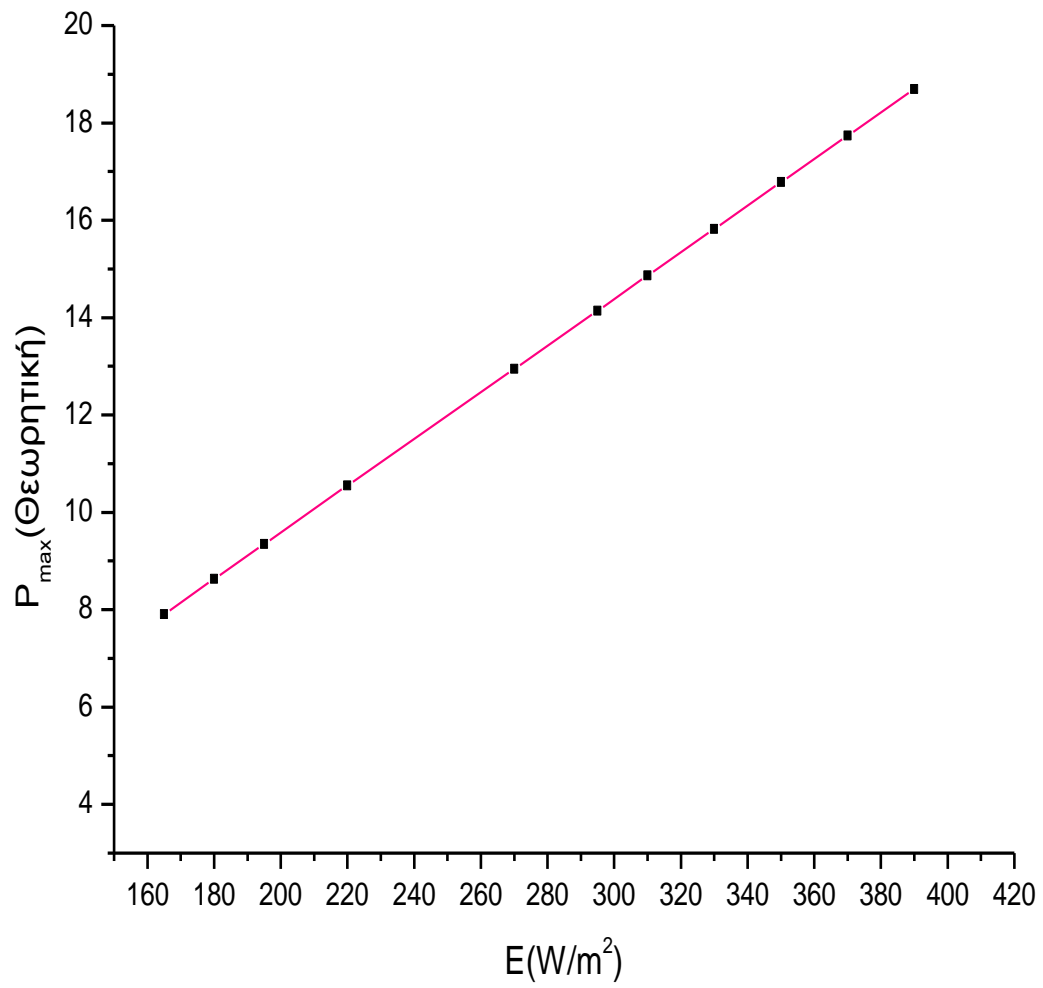
Πειραματική τιμή της απόδοσης σαν συνάρτηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρία γραφήματα που συνδέουν την μέγιστη ισχύς του Φ/Β μας πλαισίου με την εισερχόμενη ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας. Στο γράφημα 7.3 παρουσιάζεται η μέγιστη ισχύς που μετρούσαμε στο εργαστήριο για κάθε μια από τις εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας, στο 7.4 η θεωρητική μέγιστη ισχύς που προκύπτει από υπολογισμούς για τις ίδιες εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας και στο 7.5 τα δύο ανωτέρω γραφήματα επισυνάπτονται για να κατανοήσουμε τις πραγματικές δυνατότητες του διαφανούς ηλιακού μας πάνελ.



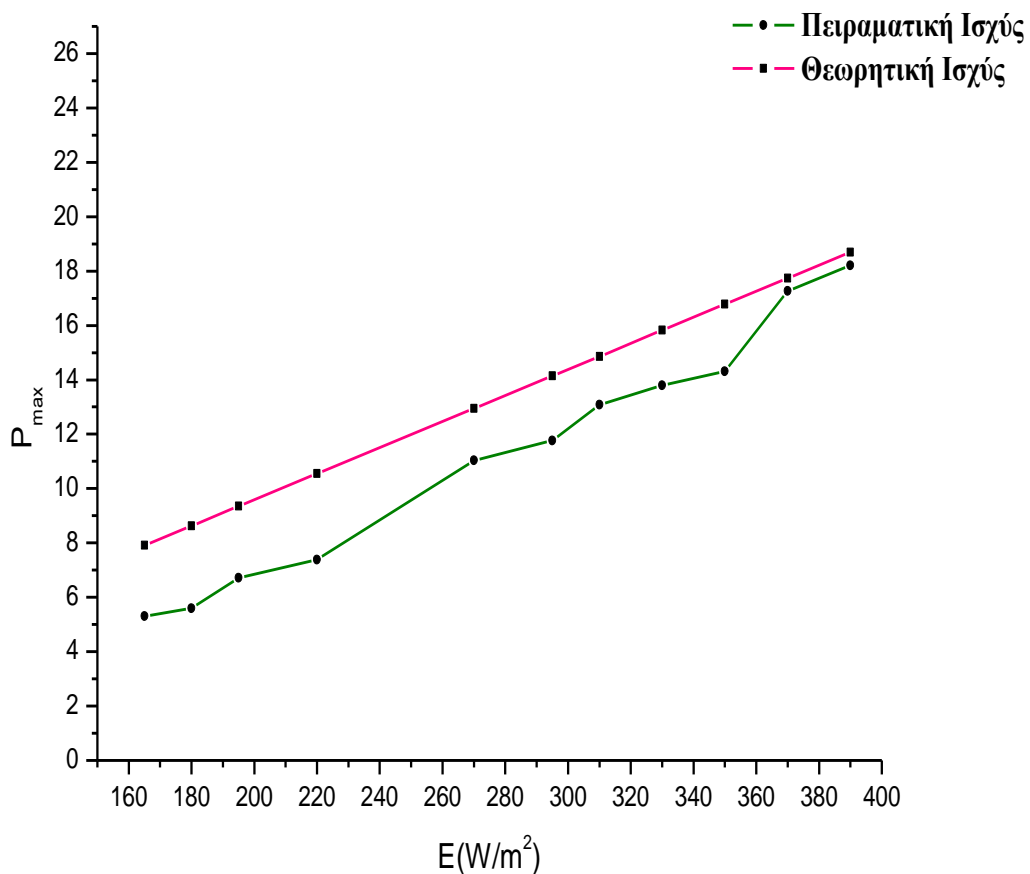
Γράφημα 7.3

Μέγιστη πειραματική ισχύς του διαφανούς πάνελ συναρτήσει της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.



Γράφημα 7.4

Μέγιστη θεωρητική-ιδανική ισχύς διαφανούς ηλιακού πάνελ συναρτήσει της εισερχόμενης ηλιακή ακτινοβολίας.



Γράφημα 7.5

Συμπεράσματα

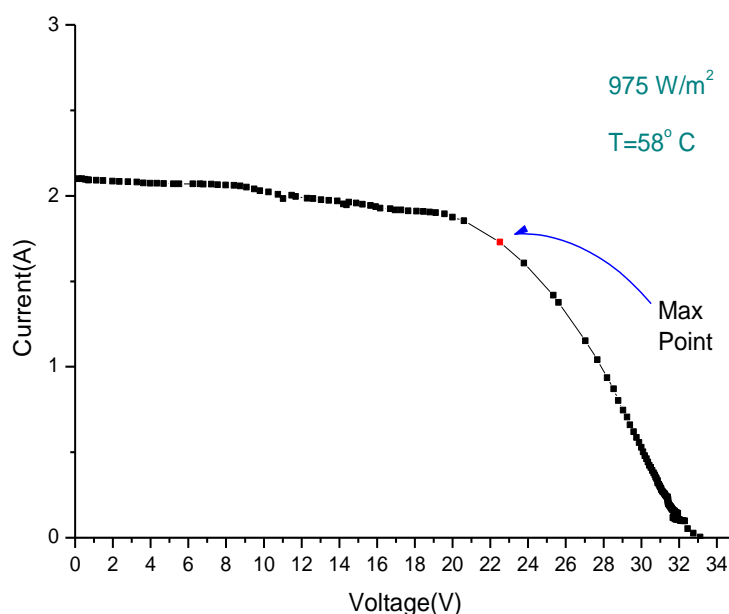
Στο ανωτέρω διάγραμμα παρατηρούμε πως για μικρές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας (κάτω από 250 W/m²) οι αποκλίσεις είναι αρκετά μεγάλες. Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό οφείλονται σε εσωτερικές ταραχές των ηλιακών κυψελίδων, σε απώλειες λόγω των καλωδίων, σε εν μέρει σκιάσεις που υπήρχαν στο πάνελ κατά την πειραματική διαδικασία, σε συστηματικό σφάλμα που εισαγάγει το Keithley 2420 και στο οποίο δεν μπορούμε να παρέμβουμε, κ.α. Ένας επίσης σημαντικός λόγος είναι πως με βάση το γράφημα 7.2 το Φ/B μας δείγμα δεν είναι αποδοτικό για εντάσεις κάτω των 250 W/m² πράγμα το οποίο επαληθεύει το γράφημα 7.5. Αντιθέτως, για εντάσεις άνω των 250 W/m² παρατηρούμε πως η ισχύς που παράγει το διαφανές ηλιακό μας πλαίσιο κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα, ιδίως για εντάσεις 370 W/m² και άνω όπου διακρίνουμε σχεδόν σύγκλιση της πειραματικής ισχύς με την ιδανική θεωρητική ισχύ.

❖ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Εκτός από τις παραπάνω γραφικές που μετρήθηκαν με το Keithley πραγματοποιήθηκε και μία μέτρηση με αμπερόμετρο, βολτόμετρο και αντίσταση. Τα επιμέρους στοιχεία του πειράματος συνδέθηκαν ως εξής:

- σε σειρά με το προς μέτρηση πλαίσιο ήταν συνδεδεμένα το αμπερόμετρο και η αντίσταση.
- Παράλληλα με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ήταν συνδεδεμένο το βολτόμετρο.

Η διαδικασία μέτρησης πραγματοποιήθηκε μεταβάλλοντας την τιμή του φορτίου, μέσω της αντίστασης που ήταν συνδεδεμένη σε σειρά και συλλέγοντας ένα ζεύγος τιμών ρεύματος-τάσης για κάθε τιμή της αντίστασης. Η ένταση του ηλίου ήταν 975 Watt/m^2 και το πάνελ είχε κατά μέσο όρο θερμοκρασία $T=58^\circ \text{ C}$. Από τα πειραματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν προέκυψε η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης που φαίνεται παρακάτω.



Γράφημα 7.6

V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_m (V)	I_m (A)	P_{max} (W)	FF	$\eta\%$
32.071	2.099	22.503	1.727	38.863	0.577	5.536

Πίνακας 7.1

Πίνακας αποτελεσμάτων για την χαρακτηριστική I-V μετρούμενη στα 975 W/m^2 με τη βοήθεια αντιστάτη.

Βιβλιογραφική πηγή

1. Πηγές Ενέργειας – Συμβατικές και Ανανεώσιμες, Γελεγένης – Αξαόπουλος, έκδοση Σύγχρονη εκδοτική.
2. California Energy Commission, “A guide to photovoltaic (PV) system design installation”, First Edition, Endecon Engineering, June 2001.
3. Tomas R., Fordham M. & Partners, Photovoltaics and Architecture, London & New York.
4. Καγκαράκης Κ., Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.
5. P. Romanos, N. Hatziaergyriou, S. Bonias, N. Daniil, La Rocca, K. Pantazis et al (ICCS/NTUA). *Photovoltaics in Smart Buildings*. Hamburg : Twenty-Fourth European Photovoltaic Solar Energy, 2009
6. Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete Emmanuel Kymakis, Sofoklis Kalykakis, Thales M. Papazoglou, Electrical Engineering Department, Technological Educational Institute (TEI) of Crete, 2009
7. Eco Energia A.E. / www.ecoenergia.gr
8. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ)/ www.cres.gr
11. Kasap A. *Principles of Electronic Materials and Devices*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2004
12. Moller, Hans Joachim, *Semiconductor for Solar Cells*, Artech House, 1993
13. Wurfel, P. *Physics of Solar Cells*, John Wiley and Sons Ltd, 2005
14. Godrey Boyle, *Renewable Energy*, Oxford University Press, 2004
15. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Εκδόσεις Ζήτη, 2005
16. www.sunways.com
17. Scientific American, Δεκέμβριος 2006
18. www.elsevier.com/locate/solmat