



2016

Φοιτητής :
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΜΠΑΞΕΒΑΝΗΣ

Α.Μ.: 5257

Επιβλέπων Καθηγητής:
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΚΟΝΤΑΞΑΚΗΣ

Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων.....	4
Εισαγωγή.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	10
Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	10
1.1 Η ηλιακή ενέργεια ως εναλλακτική μορφή ενέργειας.....	10
1.3 Τα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας	11
1.4 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	16
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ	16
2.1 Φωτοβολταϊκά με κρυσταλλική δομή πυριτίου	17
2.2 Τεχνολογία λεπτού υμένα	19
2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών κυψέλων	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	23
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	23
3.1 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των κυψελίδων καυσίμων.....	23
3.2 Απόδοση φωτοβολταϊκού και είδος πλαισίου.....	25
3.3 Επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην απόδοση των φωτοβολταϊκών.....	28
3.4 Συντελεστής γήρανσης των φωτοβολταϊκών.....	31
3.5 Επίδραση στην απόδοση του φωτοβολταϊκού των στοιχείων του συστήματος.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	33
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	33
4.1 Συλλογή δεδομένων.....	33

4.2 Απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου	33
4.3 Συλλογή και καταγραφή δεδομένων.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	36
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	36
5.1 Σταθερό φωτοβολταϊκό	36
5.1.1 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα χαρακτηριστικά της κυψελίδας	40
5.1.2 Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα χαρακτηριστικά του σταθερού φωτοβολταϊκού.	46
5.3 Επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του συστήματος.....	50
5.2 Επίδραση εξωτερικών παραμέτρων στο μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα.....	54
5.2.1 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα.....	54
5.2.2 Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα χαρακτηριστικά του μονοαξονικού συστήματος.	58
5.2.3 Επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του μονοαξονικού συστήματος.	63
5.4 Διαξονικό Σύστημα φωτοβολταϊκού	66
5.4.1 Επίδραση της έντασης ηλιακής ισχύος στα χαρακτηριστικά του διαξονικού συστήματος.....	66
5.4.2 Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα χαρακτηριστικά του διαξονικού συστήματος.....	72
5.4.3 Επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του διαξονικού συστήματος.	76
5.5 Σύγκριση των τριών συστημάτων	79
Κεφάλαιο 6.....	84
Συμπεράσματα.....	84

Πίνακας Εικόνων

Σχήμα 1.1: Το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με βάση το τεχνολογικό επίπεδο του 2009 [2].	11
Σχήμα 1.2 Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος [3].	12
Σχήμα 1.3: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο[5].	14
Σχήμα 2.1: Μονοκρυσταλλική κυψέλη πυριτίου[9].	18
Σχήμα 2.2: Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου[9].	19
Σχήμα 2.3: Φωτοβολταϊκές κυψέλες τελουριούχου καδμίου[15].	21
Σχήμα 3.1: Το διάγραμμα κυκλώματος απλού φωτοβολταϊκού [17].	23
Σχήμα 3.2: Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος – δυναμικού και καμπύλη ισχύος για τυπικό φωτοβολταϊκό [18].	25
Σχήμα 3.3: Σχέση μεταξύ του ενεργειακού κενού και της απόδοσης των φωτοβολταϊκών[21].	27
Σχήμα 3.4: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού κελιού [19].	29
Σχήμα 3.5: Σχέση μεταξύ απόδοσης φωτοβολταϊκού και θερμοκρασίας [23]	30
Σχήμα 4.1: Χαρακτηριστικά ηλεκτρικής απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου BP 3230N	35
Σχήμα 5.1: Μέση ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα στην περιοχή της χερσονήσου	40
Σχήμα 5.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας για τον μήνα Ιούλιο ανά ημέρα λειτουργίας.	41
Σχήμα 5.3: Μεταβολή θερμοκρασίας της μονάδας και της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Ιούλιο	41
Σχήμα 5.4: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής απόδοσης ανά ημέρα το μήνα Ιούλιο.	42
Σχήμα 5.5: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας τον Ιούλιο στο δυναμικό του φωτοβολταϊκού συστήματος	43
Σχήμα 5.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας για τον μήνα Δεκέμβριο ανά ημέρα λειτουργίας.	43

Σχήμα 5.7: Μεταβολή θερμοκρασίας της μονάδας και της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο	44
Σχήμα 5.8: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής απόδοσης ανά ημέρα το μήνα Δεκέμβριο	45
Σχήμα 5.9: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας τον Δεκέμβριο στο δυναμικό του φωτοβολταϊκού συστήματος	45
Σχήμα 5.10: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Σχήμα 5.11: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας τον Αύγουστο	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Σχήμα 5.12: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με ενεργειακή παραγωγή της μονάδας τον Αύγουστο	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Σχήμα 5.14: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας τον Ιανουάριο	48
Σχήμα 5.15: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με ενεργειακή παραγωγή της μονάδας τον Ιανουάριο	49
Σχήμα 5.16: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και του παραγόμενου δυναμικού τον Ιανουάριο.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Σχήμα 5.18: Μεταβολή εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασία μονάδας	51
Σχήμα 5.19: Μεταβολή εξωτερικής θερμοκρασίας και ενεργειακής παραγωγής για τον Ιούλιο	52
Σχήμα 5.20: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και του παραγόμενου δυναμικού για τον Ιούλιο	52
Στον πίνακα 5.1.5 φαίνονται τα αποτελέσματα της επίδρασης του ανέμου στη θερμοκρασία της μονάδας. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου τόσο πέφτει και η θερμοκρασία της μονάδας.....	52
Σχήμα 5.21: Επίδραση ταχύτητας ανέμου στη θερμοκρασία της μονάδας....	53
Όπως φαίνεται από το σχήμα όσο η ταχύτητα αυξάνεται ψύχεται η μονάδα και ο συντελεστής θερμοκρασίας και ο λόγος επίδοσης αυξάνονται.....	53
Σχήμα 5.22: Μεταβολή της ηλιακής ενέργειας ανά μήνα για το μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα.	54

Σχήμα 5.23: Μεταβολή της ηλιακής ενέργειας ανά μήνα για το μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα τον Ιούνιο.....	55
Σχήμα 5.24: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής παραγωγής ανά ημέρα το μήνα Ιούνιο για το μονοαξονικό σύστημα.....	56
Σχήμα 5.25: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και παραγόμενης συνεχούς τάσης ανα ημέρα για το μονοαξονικό σύστημα τον Ιούνιο	56
Σχήμα 5.26: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασία της μονάδας για το μονοαξονικό σύστημα τον Ιανουάριο	59
Σχήμα 5.27: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και παραγόμενης συνεχούς τάσης ανα ημέρα για το μονοαξονικό σύστημα τον Ιανουάριο	59
Σχήμα 5.25: Μεταβολή της ταχύτητας του Ανέμου ανά μήνα για το μονοαξονικό σύστημα.	59
Σχήμα 5.26: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας της μονάδας τον Αύγουστο.	60
Σχήμα 5.27: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος μονοαξονικού φωτοβολταϊκού τον Αύγουστο	61
Σχήμα 5.28: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της παραγόμενης τάσης του συστήματος μονοαξονικού φωτοβολταϊκού τον Αύγουστο	61
Σχήμα 5.29: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας της μονάδας τον Ιανουάριο.	62
Σχήμα 5.30: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της παραγόμενης τάσης του συστήματος μονοαξονικού φωτοβολταϊκού τον Ιανουάριο	63
Σχήμα 5.31: Η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας ανά μήνα λειτουργίας για το μονοαξονικό σύστημα φωτοβολταϊκού.....	64
Σχήμα 5.32: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας της μονάδας το μήνα Ιούλιο.	65
Σχήμα 5.33: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της ενεργειακής απόδοσης για το μονοαξονικό σύστημα το μήνα Ιούλιο.....	65
Σχήμα 5.34: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της παραγόμενης τάσης για το μονοαξονικό σύστημα το μήνα Ιούλιο.....	66
Σχήμα 5.35: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για το διαξονικό σύστημα ανά μήνα λειτουργίας.....	67

Σχήμα 5.36: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας λειτουργίας της μονάδας διαξονικού συστήματος τον μήνα Ιούλιο.....	69
Σχήμα 5.37: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής παραγωγής για το διαξονικό σύστημα και την ηλιακή ακτινοβολία.....	69
Σχήμα 5.38: Μεταβολή του παραγόμενου συνεχούς δυναμικού και της ηλιακής ακτινοβολίας για το διαξονικό σύστημα τον Ιούλιο.....	70
Σχήμα 5.40: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας μονάδας για το διαξονικό σύστημα φωτοβολταϊκών τον Ιανουάριο.....	71
Σχήμα 5.41: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της ενεργειακής απόδοσης για το διαξονικό σύστημα τον Ιανουάριο.....	71
Σχήμα 5.42: Μεταβολή της τάσης συνεχούς ρεύματος και της ηλιακής ακτινοβολίας για το διαξονικό σύστημα το μήνα Ιανουάριο.....	72
Σχήμα 5.43: Η μεταβολή του ανέμου ανά μήνα για το διαξονικό σύστημα. ...	73
Σχήμα 5.44: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου και της ενεργειακής παραγωγής της μονάδας για το διαξονικό σύστημα τον Αύγουστο.....	74
Σχήμα 5.45: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου και της παραγόμενης συνεχούς τάσης της μονάδας για το διαξονικό σύστημα τον Αύγουστο.	75
Σχήμα 5.46: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου και της θερμοκρασίας της μονάδας για το διαξονικό σύστημα τον Ιανουάριο. Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
Σχήμα 5.47: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας στην περιοχή εγκατάστασης του διαξονικού συστήματος.	76
Σχήμα 5.48: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας της μονάδας τον μήνα Αύγουστο για το διαξονικό σύστημα.....	77
Σχήμα 5.49: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της ενεργειακής απόδοσης της μονάδας τον μήνα Αύγουστο για το διαξονικό σύστημα	78
Σχήμα 5.50: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της παραγόμενης συνεχούς τάσης της μονάδας τον μήνα Αύγουστο για το διαξονικό σύστημα	79
Σχήμα 5.51: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε εξεταζόμενο σύστημα. Σταθερο-περιοχή χερσονήσου, διαξονικό- Περιοχή Μοίρες, μονοαξονικό – Περιοχή Κεφαλά.....	80
Σχήμα 5.52: Θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας για τα τρία συστήματα για μέγιστες και ελάχιστες συνθήκες ηλιοφάνειας	81

Σχήμα 5.53: Μέση παραγωγή ενέργειας για τα τρία συστήματα	81
Σχήμα 5.54: Ταχύτητα ανέμου για τα τρία συστήματα Σταθερο-περιοχή χερσονήσου, διαξονικό- Περιοχή Μοίρες, μονοαξονικό – Περιοχή Κεφαλά ...	82
Σχήμα 5.55: Παραγωγή ενέργειας για συνθήκες μέγιστης απόδοσης και ελάχιστης απόδοσης	83

Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν καθώς και εξαιτίας του γεγονότος πως το ηλιακό δυναμικό της χώρας είναι άφθονο και κατά συνέπεια ικανό να αξιοποιηθεί ως εναλλακτική μορφή ενέργειας.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους αλλά και από τις εξωτερικές συνθήκες στις οποίες καλούνται να λειτουργήσουν.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθεί η επίδραση των εξωτερικών συνθηκών και συγκεκριμένα της ηλιακής ακτινοβολίας, της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας των πάνελ στην απόδοση των φωτοβολταϊκών. Η μελέτη θα γίνει για τρία διαφορετικά είδη φωτοβολταϊκών και συγκεκριμένα για σταθερό, μονοαξονικό και διαξονικό φωτοβολταϊκό.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας θα γίνει μια εισαγωγή στα βασικά στοιχεία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στην ηλιακή ενέργεια. Θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας και πως παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και θα αναλυθούν τα στοιχεία απόδοσης τους. Ιδιαίτερη αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων θα γίνει στο τρίτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάρκων στα οποία βασίστηκαν οι πειραματικές μετρήσεις και θα αναλυθεί η πειραματική διαδικασία. Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων θα παρουσιαστούν στο πέμπτο κεφάλαιο και τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας παρουσιάζονται στο έκτο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

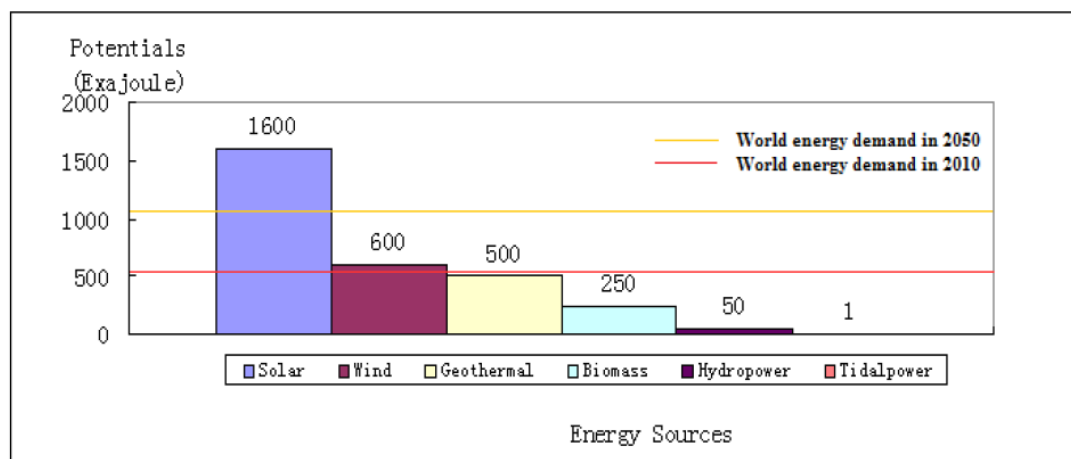
Στο πλαίσιο της ανάπτυξης νέων πολιτικών για την ενέργεια πολλές χώρες υιοθέτησαν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η σημασία των οποίων συμβαδίζει με την κλιματική αλλαγή που παρατηρείται στον πλανήτη και την εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Η ανάπτυξη των εναλλακτικών μορφών ενέργειας βασίζεται σε τρία βασικά κίνητρα [1]: η ενεργειακή ασφάλεια, η οικονομική βελτίωση και η μείωση των απωλειών διοξειδίου του άνθρακα. Με τον όρο εναλλακτικές μορφές η αναφορά γίνεται σε κάθε μορφή ενέργειας που δεν ανήκει στην κατηγορία των συμβατικών μορφών ενέργειας.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού θα γίνει εκτεταμένη αναφορά στην ηλιακή ενέργεια ως ανανεώσιμη και εναλλακτική μορφή ενέργειας. Θα αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας και οι βασικές ηλιακές συσκευές και ιδιαίτερα τα φωτοβολταϊκά πάνελ που αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.1 Η ηλιακή ενέργεια ως εναλλακτική μορφή ενέργειας

Ο ήλιος αποτελεί μια από τις πιο ισχυρές και άφθονες ενεργειακές πηγές στον κόσμο. Πολλές από τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας όπως ο άνεμος, τα ορυκτά καύσιμα, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η ενέργεια από τη βιομάζα έχουν πηγή προέλευσης την ηλιακή ακτινοβολία[2].

Το δυναμικό για κάθε εναλλακτική πηγή ενέργειας είναι εφικτό να υπολογιστεί ενώ έχει διατυπωθεί η άποψη σε παγκόσμιο επίπεδο πως η μελλοντική ανάπτυξη της τεχνολογίας οδηγεί σε αύξηση του ενεργειακού δυναμικού για κάθε πηγή. Παρόλα αυτά η παγκόσμια απαίτηση για ενέργεια αυξάνει ετησίως κατά 5%. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την μόνη εναλλακτική πηγή ενέργειας που μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά την αύξηση της ζήτησης στην ενέργεια.

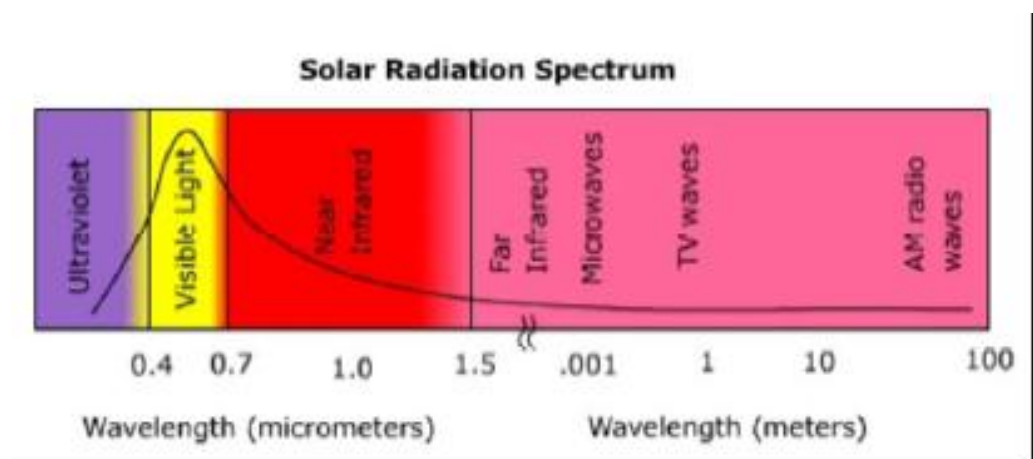


Σχήμα 1.1: Το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με βάση το τεχνολογικό επίπεδο του 2009 [2].

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές όπως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμογές ηλιακής πρόωσης, ηλιακής αφαλάτωσης και έλεγχο της θερμοκρασίας.

1.3 Τα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μεταφορά της ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός που για το κενό είναι της τάξης ίσης με $3 \times 10^8 \text{ m/sec}$. Ο χρόνος που χρειάζεται το φως από τον Ήλιο να φτάσει στη Γη είναι 8 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα. Η μετάδοση θερμότητας από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να μεταφερθεί μέσω του κενού. Οποιοδήποτε σώμα βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός εκπέμπει ακτινοβολία στο γύρω περιβάλλον του. Οι διαφορετικές ακτινοβολίες ορίζονται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας ενώ τη μεγαλύτερη διακύμανση την παρουσιάζει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.



Σχήμα 1.2 Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεως του μήκους κύματος [3].

Το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι ανάμεσα στα 0,4 και 0,71μm. Ο ήλιος εκπέμπει μόνο ένα μέρος της ακτινοβολίας σε αυτό το εύρος και συγκεκριμένα το 44%. Η ηλιακή ακτινοβολία καλύπτει το φάσμα από τα 0,1 έως τα 4μm. Περίπου το 7% των ηλιακών εκπομπών είναι στο μήκος κύματος από 0,1 έως 0,4μm που είναι η περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Περίπου το 48% της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στην περιοχή μεταξύ 0,71-4μm[3].

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που περνάει μέσω μιας ειδικής επιφάνειας είναι αντιστρόφως ανάλογη στο τετράγωνο της απόστασης από την πηγή ενέργειας. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί τον νόμο του αντίστροφου τετραγώνου και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της επίδρασης της απόστασης που διανύει η ηλιακή ενέργεια στην πυκνότητα της εκπομπούμενης ακτινοβολίας ενώ δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Πυκνότητα ακτινοβολίας} = I/d^2$$

Όπου με I συμβολίζεται η πυκνότητα της ακτινοβολίας και με d η απόσταση που διανύεται από την ακτινοβολία.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη και σε οποιονδήποτε πλανήτη επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα εξαιτίας της ικανότητας μερικών σωματιδίων και αερίων της ατμόσφαιρας να απορροφούν την εισερχόμενη ακτινοβολία. Η

απορρόφηση είναι η διαδικασία που ορίζεται ως η διαδικασία στην οποία η ηλιακή ακτινοβολία διατηρείται από ένα συστατικό και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα προκαλεί το συστατικό να εκπέμπει τη δικιά του ακτινοβολία.

Επιπλέον η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζεται από την ανάκλαση της στην ατμόσφαιρα. Η ανάκλαση είναι η διαδικασία στην οποία η ηλιακή ακτινοβολία όταν προσκρούσει σε ένα σωματίδιο της ατμόσφαιρας ανακλάται κατά 180° γεγονός που οδηγεί σε 100% απόρριψη της ηλιακής ακτινοβολίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιείται στα σύννεφα όταν η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνάει σωματίδια της ατμόσφαιρας με υγρασία και παγωμένο νερό[3].

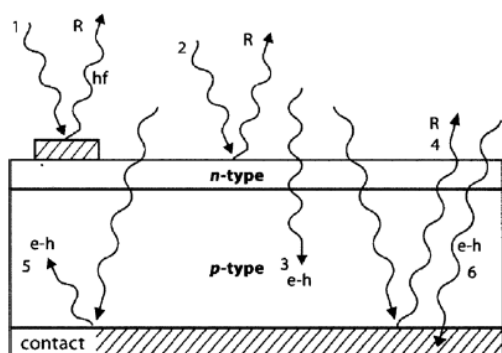
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στη γη φτάνει μόνο ένα μικρό μέρος από την παραγόμενη ακτινοβολία. Αυτό το μέρος της παραγόμενης ακτινοβολίας που φτάνει στη γη αποτελεί έμμεση πηγή σχεδόν οποιασδήποτε μορφής ενέργειας που χρησιμοποιείται σήμερα.

Η ηλιακή ενέργεια βρίσκει πολλές εφαρμογές με κύρια την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που μπορούν να χαρακτηριστούν ως γεννήτριες ηλιακής ενέργειας. Για να είναι αποτελεσματική η λειτουργίας μιας γεννήτριας ηλιακής ενέργειας απαιτείται να υπάρχουν ένας συλλέκτης και μια μονάδα αποθήκευσης. Ο συλλέκτης συλλέγει την ακτινοβολία που πέφτει σε αυτόν και παράγει ηλεκτρική ενέργεια ενώ η μονάδα αποθήκευσης αποθηκεύει το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας και το αποδίδει στις περιόδους που η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί για την παραγωγή ισχύος όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια της νύκτας ή κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ημερών.

1.4 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Η συλλογή των φωτονίων που αποτελούν τους βασικούς φορείς του φωτός δεν συνεπάγεται απαραίτητα την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος απαιτεί τη δημιουργία μιας τάσης και ενός ηλεκτρικού ρεύματος. Η παραγωγή δυναμικού σε μια ηλιακή κυψέλη πραγματοποιείται από μια διαδικασία που είναι γνωστή ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η συλλογή των φορέων παραγωγής ηλιακού φωτός από μια σύνδεση δύο ημιαγωγών p-n προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων στην πλευρά του n ημιαγωγού και την δημιουργία οπών στον p ημιαγωγό. Σε συνθήκες βραχυκυκλώματος δεν υπάρχει δημιουργία φορτίου και οι φορείς εξέρχονται από τη συσκευή με τη μορφή ρεύματος[4].

Αν οι φορείς παραγωγής ρεύματος εμποδίζονται από το να εξέλθουν από το ηλιακό κελί τότε η συλλογή των φορέων παραγωγής ρεύματος προκαλούν μια αύξηση στον αριθμό των ηλεκτρονίων στον αγωγό τύπου n της σύνδεσης p-n και παράλληλα αύξηση των οπών στον p ημιαγωγό. Ο διαχωρισμός του φορτίου δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στη σύνδεση που είναι αντίθετο με αυτό που υπάρχει οδηγώντας σε μείωση του καθαρού ηλεκτρικού πεδίου. Το δημιουργούμενο ηλεκτρικό πεδίο αναπαριστά ένα ισοζύγιο στη ροή του ρεύματος διάχυσης. Η μείωση του ηλεκτρικού πεδίου είναι συνάρτηση του ρεύματος διάχυσης. Μια νέα ισορροπία επιτυγχάνεται και δημιουργείται διαφορά δυναμικού στη σύνδεση p-n.



Σχήμα 1.3: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο[5]

Το ρεύμα από μια ηλιακή κυψέλη είναι η διαφορά ανάμεσα στο οριακό ρεύμα που αναπτύσσεται και το προς τα μπρός ρεύμα. Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος η προς τα εμπρός ώθηση του κόμβου αυξάνει σε ένα σημείο όπου το παραγόμενο ρεύμα από το φως εξισορροπείται από το μπροστινό ρεύμα του κόμβου και το καθαρό ρεύμα είναι ίσο με το μηδέν. Το απαιτούμενο δυναμικό για αυτά τα δύο ρεύματα ονομάζεται δυναμικό ανοικτού κυκλώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι μια άλλη ονομασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και είναι συσκευές που μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πρωτοεισήχθησαν το 1954 από την Bell Telephone Laboratories και σήμερα αποτελούν την πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη τεχνολογία που αναμένεται να έχει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας[6].

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών μπορούν να συνοψιστούν στα [6]:

- ✓ Η ηλιακή ισχύς αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είναι πάντα διαθέσιμη.
- ✓ Τα φωτοβολταϊκά είναι μικρά σε όγκο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε σε αντίθεση με ότι συμβαίνει με άλλες τεχνολογίες.
- ✓ Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ισχύος που χρησιμοποιούν άνθρακα πυρηνική ενέργεια, πετρέλαιο και φυσικό αέριο τα φωτοβολταϊκά δεν έχουν κόστος καυσίμου και έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Ένα τυπικό σύστημα φωτοβολταϊκών αποτελείται από ηλιακά κελιά που ενώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας το φωτοβολταϊκό στοιχείο και τα βοηθητικά στοιχεία που περιλαμβάνουν τον μετατροπέα και τον αντιστροφέα. Στην αγορά υπάρχει ένα πλήθος φωτοβολταϊκών κελιών με διαφορετικά υλικά. Τα φωτοβολταϊκά ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους ταξινομούνται σε πρώτης γενιάς, δεύτερης και τρίτης γενιάς φωτοβολταϊκά στοιχεία,

Τα φωτοβολταϊκά πρώτης γενιάς αποτελούνται από κρυσταλλικό πυρίτιο είτε πολυκρυσταλλικό είτε μονοκρυσταλλικό. Τα δεύτερης γενιάς φωτοβολταϊκά αποτελούνται από λεπτούς υμένες που μπορεί να είναι από άμορφο και μικρομορφικό πυρίτιο, κάδμιο –τελουρίδιο και χαλκό ίνδιο σελήνιο και χαλκό-

ίνδιο-γάλιο –δισελίνιο. Τα τρίτης γενιάς φωτοβολταϊκά στοιχεία που περιλαμβάνουν τα συγκεντρωμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τα οργανικά φωτοβολταϊκά που δεν είναι εμπορεύσιμα ακόμα και βρίσκονται υπό ανάπτυξη.

2.1 Φωτοβολταϊκά με κρυσταλλική δομή πυριτίου

Η πρώτη γενιά φωτοβολταϊκών κατασκευάζεται από υλικά με κρυσταλλική δομή πυριτίου (Si) για την παραγωγή των ηλιακών κελιών. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύσσεται σταθερά για τη βελτίωση της δυνατότητας και της απόδοσης. Στις κρυσταλλικές δομές περιλαμβάνονται τα μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά κελιά που παρουσιάζονται παρακάτω.

Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κυψέλες

Αυτός ο τύπος κυψελών είναι ο πιο συνηθισμένος που αποτελεί το 80% της αγοράς και θα συνεχίσει να ηγείται της συγκεκριμένης αγοράς μέχρι να αναπτυχθεί μια πιο αποτελεσματική και οικονομικότερη τεχνολογία. Το χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων κελιών είναι οι διασυνδέσεις πυριτίου p-n. Η κατασκευή των μονοκρυσταλλικών κρυστάλλων πυριτίου γίνεται με έναν μονό κρύσταλλο που διαμορφώνεται με τη μέθοδο Czochralski. Το πυριτικό υλικό ενισχύει την απόδοση η οποία περιορίζεται από την ενέργεια που παράγεται από τα φωτόνια ενώ μειώνεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Η ακτινοβολία με μεγαλύτερα μήκη κύματος οδηγεί σε θερμική διάχυση και προκαλεί τη θέρμανση του κελιού και την μείωση της απόδοσης του.

Για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο η μέγιστη απόδοση φτάνει στο 23% σε κανονικές συνθήκες. Εξαιτίας του συνδυασμού της αντίστασης του ηλιακού κελιού η ηλιακή αντανάκλαση της ακτινοβολίας και οι μεταλλικές επαφές που είναι διαθέσιμες στο πάνω μέρος παράγονται απώλειες. Στη συνέχεια το εσωτερικό του Si κατασκευάζεται σε μια διάμετρο ανάμεσα στα 10-15cm και στη συνέχεια κόβεται σε φύλλα με πάχος 0,3mm και αποδίδουν κατά προσέγγιση $35\text{mA}/\text{cm}^2$ με δυναμικό 0,55V. Μερικά άλλα ημιαγωγικά υλικά με διαφορετικά μήκη κύματος μπορούν να φτάσουν στο 30% σε Κ.Σ.[7]. Παρόλα αυτά οι αποδόσεις των στοιχείων είναι συνήθως μικρότερες από τις

αποδόσεις των συστοιχιών και σήμερα η απόδοση των εμπορικών κυψελών φτάνει στα 20,4%[8].



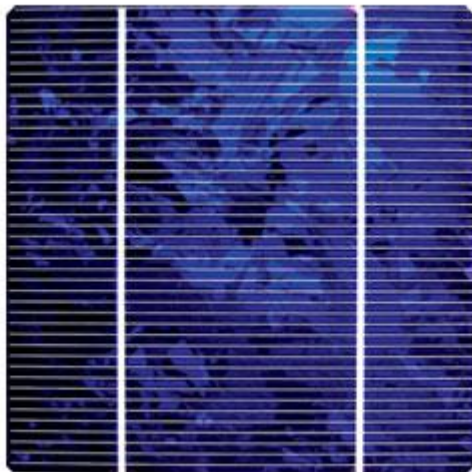
Σχήμα 2.1: Μονοκρυσταλλική κυψέλη πυριτίου[9]

Οι σημερινές εμπορικές φωτοβολταϊκές κυψέλες αναμένεται να έχουν καλύτερη διάρκεια ζωής και το κόστος τους είναι λιγότερο ανταγωνιστικό προς τις υπάρχουσες πηγές ενέργειας. Η τεχνολογία κατεργασίας ηλιακού πυριτίου έχει πολλά σημεία κοινά με τη μικροηλεκτρονική βιομηχανία και έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά η τεχνολογία κατεργασίας οδηγεί στην βελτίωση της απόδοσης των εργαστηριακών κυψελών και καθιστούν την τεχνολογία πιο προσιτή[8].

Πολυκρυσταλλικές φωτοβολταϊκές κυψέλες

Ο στόχος της βιομηχανίας των φωτοβολταϊκών τα τελευταία χρόνια είναι η μείωση του κόστους και παράλληλα η αύξηση της παραγωγής έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας νέων τεχνικών κρυσταλλοποίησης. Αρχικά το πολυκρυσταλλικό πάνελ κυριάρχησε στην ηλιακή βιομηχανία ενώ το κόστος του πυριτίου ήταν ιδιαίτερα υψηλή. Όμως ακόμα και όταν η τιμή του πυριτίου μειώθηκε περισσότερο από το μισό η συγκεκριμένη τεχνολογία γίνεται πιο ελκυστική επειδή το κόστος κατασκευής είναι μικρότερο ακόμα και αν αυτές οι κυψέλες είναι λιγότερο αποτελεσματικές από τις μονοκρυσταλλικές. Το πλεονέκτημα της μετατροπής της παραγωγής των κρυσταλλικών ηλιακών

κυψέλων από μονοκρυσταλλικά σε πολυπυριτικά μειώνει τις βαθμίδες στη μεταλλική συμπύκνωση και την κρυσταλλική δομή[10].



Σχήμα 2.2: Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου[9]

Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες κατασκευάζονται αρχικά με τήξη του πυριτίου και στερεοποίηση του σε κρυστάλλους με δεδομένη κατεύθυνση παράγοντας ορθογώνιες ράβδους ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο που μοιράζεται σε μπλοκ και τελικά σε λεπτά πλακίδια[11].

2.2 Τεχνολογία λεπτού υμένα

Συγκριτικά με τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου η τεχνολογία λεπτού υμένα προωθεί τη μείωση του κόστους του φωτοβολταϊκού με την κατασκευή λιγότερου υλικού και χωρίς εκπτώσεις στη διάρκεια ζωής των κελιών.

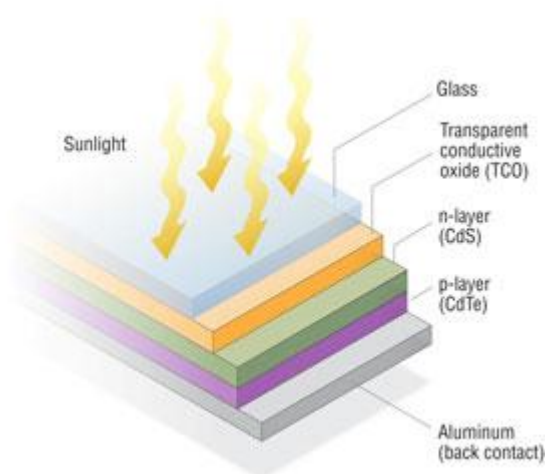
Αντίθετα από τις κρυσταλλικές δομές των ηλιακών κελιών όπου τα κομμάτια των ημιαγωγών συμπιέζονται ανάμεσα στα γυάλινα πάνελ έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα στοιχεία, τα πάνελ λεπτού υμένα δημιουργούνται με την εναπόθεση λεπτών στρωμάτων από συγκεκριμένα υλικά στο υπόστρωμα γυαλιού ή χάλυβα χρησιμοποιώντας εργαλεία εναπόθεσης. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας εντοπίζονται στο γεγονός ότι το πάχος των εναποτιθέμενων στρωμάτων είναι ελάχιστα μικρό συγκριτικά με τις

κρυσταλλικές ράβδους που τείνουν να είναι μερικές εκατοντάδες μικρά. Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα οδηγεί σε μικρότερο κατασκευαστικό κόστος εξαιτίας της υψηλής διαδικασίας εναπόθεσης όπως επίσης και σε μικρότερο κόστος υλικών. Από τεχνική άποψη τα πολύ λεπτά στρώματα οδηγούν σε μικρότερες απαιτήσεις φωτοβολταϊκού υλικού για την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Παρά το γεγονός όμως πως στα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά υπάρχει η δυνατότητα εναπόθεσης διαφορετικών στρωμάτων υλικών και κραμάτων τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν καλύτερες αποδόσεις. Επιπλέον, η ευελιξία και η ευρωστία των φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα τα οδηγεί στο να κατέχουν μεγάλο μερίδιο στην αγορά που φτάνει στο 20%[12].

Υπάρχουν τέσσερα είδη κυψέλων λεπτού υμένα που προωθούνται στην αγορά: οι άμορφες κυψέλες πυριτίου, οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου σε υπόστρωμα χαμηλού κόστους, το κελί χαλκού ινδίου δισεληνίου / θειϊκού καδμίου και το κελί καδμίου τελουριδίου/ θειϊκού καδμίου.

Το άμορφο πυρίτιο είναι μια από τις πρώτες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα[13]. Η συγκεκριμένη τεχνολογία διαφέρει από την τεχνολογία του κρυσταλλικού πυριτίου στο γεγονός ότι τα άτομα του πυριτίου τοποθετούνται τυχαία μεταξύ τους. Η τυχαία αυτή διάταξη επιδρά σημαντικά στις ηλεκτρονικές ιδιότητες του υλικού προκαλώντας ένα μεγαλύτερο δυναμικό ζώνης από το κρυσταλλικό πυρίτιο που επιτρέπει στα κελιά του άμορφου πυριτίου να απορροφούν το ορατό τμήμα του ηλιακού φάσματος πιο ισχυρά από το υπεριώδες. Το υπόστρωμα σε αυτές τις τεχνολογίες μπορεί να είναι γυαλί, χάλυβα, διπλά συνδεδεμένα στρώματα ή παράλληλα στρώματα.

Το τελουριούχο κάδμιο έχει βέλτιστο δυναμικό ζώνης με μεγάλο συντελεστή απορρόφησης για ένα υλικό ηλιακής απορρόφησης και αποτελεί ένα από τα πλέον υποσχόμενα υλικά για τα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα. Τα μικρής επιφάνειας κελιά τελουριούχου καδμίου μπορεί να δώσουν αποδόσεις μεγαλύτερες από 15% ενώ έχουν καταγραφεί και αποδόσεις στοιχείων μεγαλύτερες από 9%[14].



Σχήμα 2.3: Φωτοβολταϊκές κυψέλες τελουριούχου καδμίου[15]

Τα φωτοβολταϊκά που κατασκευάζονται από χαλκό ίνδιο σεληνίου είναι συσκευές που περιέχουν ημιαγώγιμα στοιχεία από τις ομάδες I,III και VI του περιοδικού πίνακα τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ καλούς συντελεστές οπτικής απορρόφησης και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν το συντονισμό της συσκευής. Επιπλέον επιτυγχάνεται στα συγκεκριμένα κελιά καλύτερη ομοιομορφία μέσω της χρήσης του σεληνίου οδηγώντας σε καλύτερες κβαντικές αποδόσεις των κελιών.

2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών κυψελών

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες έχουν πολλά χαρακτηριστικά που ενισχύουν την ελκυστικότητα της τεχνολογίας. Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων κελιών είναι[16]:

A) Η υψηλή αξιοπιστία: τα φωτοβολταϊκά αρχικά προορίζονταν για διαστημικές εφαρμογές όπου οι επισκευές τους ήταν αδύνατες ή εξαιρετικά ακριβές. Κατά συνέπεια η αξιοπιστία αποτελεί από την αρχή της ανακάλυψης τους το βασικό πλεονέκτημα αφού ακόμα και σήμερα η διάρκεια ζωής τους είναι ιδιαίτερα μεγάλη αφού φτάνει στα 20-30 χρόνια.

B) Το χαμηλό λειτουργικό τους κόστος: τα φωτοβολταϊκά κελιά χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος κατά συνέπεια δεν έχουν κόστος καυσίμου. Επιπλέον δεν έχουν κινητά μέρη και έχουν μικρό

κόστος συντήρησης για αυτό θεωρούνται ελκυστικά για οικιακές και όχι μόνο εφαρμογές.

Γ) Είναι φιλικά προς το περιβάλλον: επειδή δεν χρησιμοποιούν καύσιμο τα φωτοβολταϊκά είναι φιλικά προς το περιβάλλον και ήσυχα στη λειτουργία τους.

Δ) Εύκολα στην κατασκευή τους: ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να κατασκευαστεί σε οποιοδήποτε μέγεθος προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις. Επιπλέον το μέγεθος μπορεί να αλλάξει αν οι ενεργειακές ανάγκες αλλάξουν.

Ε) Φορητότητα: ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να μετακινηθεί εύκολα από τόπο σε τόπο αν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Παρόλα αυτά τα φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν και μειονεκτήματα όπως[16]:

Α) Είναι σχετικά ακριβή τεχνολογία: η διαδικασία κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ακόμα ακριβή παρά τις σημαντικές μειώσεις κόστους που έχουν επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον αν η εγκατάσταση πραγματοποιηθεί σε περιοχές που δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο το κόστος μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Β) Εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες: παρά το γεγονός πως τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι άκρως αξιόπιστα η ηλιακή ενέργεια δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Για αυτό τα φωτοβολταϊκά δεν παράγουν ενέργεια το βράδυ ενώ παρά το ότι παράγουν ενέργεια τις συνεφιασμένες μέρες αυτή δεν είναι η ίδια με την ενέργεια που παράγεται τις ηλιόλουστες ημέρες.

Γ) Απαιτήση για μεγάλο χώρο εγκατάστασης: για την ικανοποιητική παραγωγή ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιείται ο κατάλληλος χώρος εγκατάστασης και να μην υπάρχουν εμπόδια ως προς την πρόσληψη ηλιακής ενέργειας.

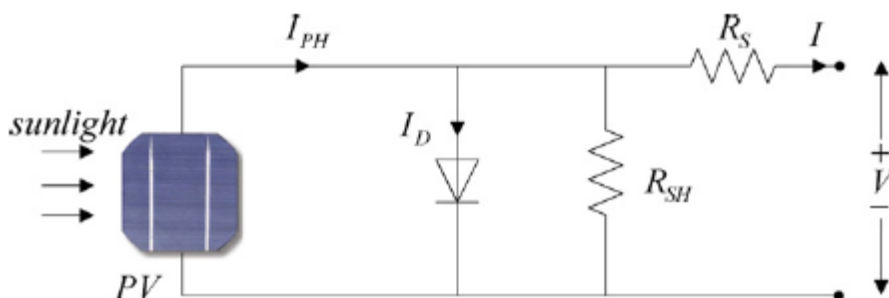
Δ) Χρήση επιπλέον εξοπλισμού: ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου συστήματος φωτοβολταϊκού και τη χρήση του μπορεί να χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ένας αντιστροφέας ή ένας συσσωρευτής ή και τα δύο γεγονός που αυξάνει το κόστος των φωτοβολταϊκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

3.1 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των κυψελίδων καυσίμων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως ήδη αναφέρθηκε κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά συνήθως από πυρίτιο και δημιουργούν ένα θετικό ηλεκτρικό δυναμικό στην μια πλευρά τους και ένα αρνητικό στην άλλη καθώς στρέφονται προς τον ήλιο. Όταν η ηλιακή ενέργεια με την μορφή φωτονίων προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά κελιά τα ηλεκτρόνια διεγείρονται και αποσπώνται από τα άτομα στο ημιαγώγιμο υλικό δημιουργώντας ζεύγη ηλεκτρονίων- οπών στο υλικό. Όταν οι ηλεκτρικοί αγωγοί εφάπτονται στις θετικές και αρνητικές πλευρές σχηματίζοντας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα τα ηλεκτρόνια κινούνται δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα που ονομάζεται ρεύμα φωτονίων I_{PH} . Όταν δεν υπάρχει ακτινοβολία στη διάρκεια της νύκτας όπου δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία το φωτοβολταϊκό δεν δουλεύει και λειτουργεί ως ηλεκτρική δίοδος που δεν παράγει ρεύμα ή δυναμικό. Παρόλα αυτά αν είναι συνδεδεμένο σε εξωτερική πηγή ισχύος παράγεται ένα ρεύμα που I_D που αποτελεί το ρεύμα διόδου[17].



Σχήμα 3.1: Το διάγραμμα κυκλώματος απλού φωτοβολταϊκού [17]

Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται ένα απλό κύκλωμα με φωτοβολταϊκό που αποτελείται από μια πηγή ρεύματος I_{PH} μια δίοδο και μία σε σειρά αντίσταση R_S που αποτελεί την εσωτερική αντίσταση του κελιού. Επιπλέον και η δίοδος παρουσιάζει εσωτερική αντίσταση. Το καθαρό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι η διαφορά ανάμεσα στο ρεύμα εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας και στο ρεύμα της κανονικής διόδου και δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_{PD} - I_D - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (3.1)$$

Με δεδομένο ότι η αντίσταση της διόδου είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση του φορτίου και πως η εσωτερική αντίσταση είναι πολύ μικρότερη της αντίστασης του φορτίου οι δύο αυτές αντιστάσεις μπορεί να αγνοηθούν και το καθαρό ρεύμα είναι η διαφορά ανάμεσα στο ρεύμα της ηλιακής πηγής και στο κανονικό ρεύμα της διόδου και δίνεται από τη σχέση:

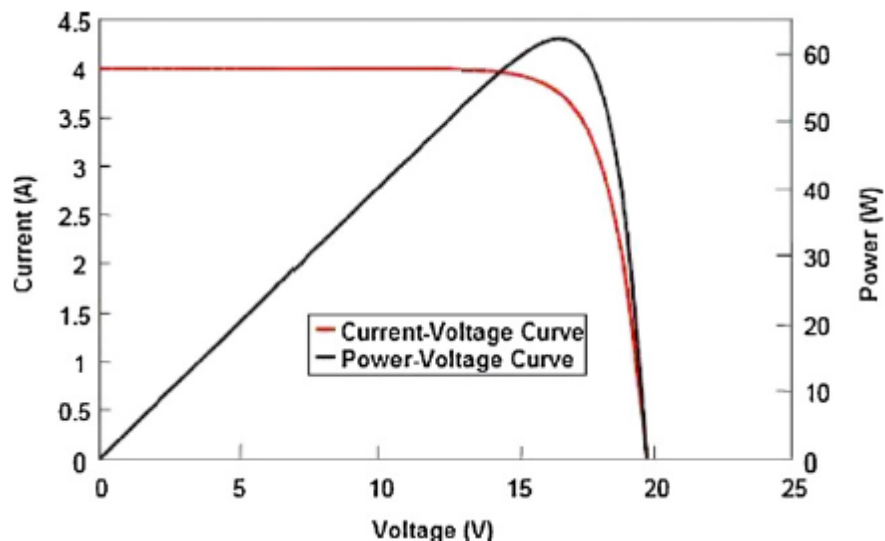
$$I = I_{PH} - I_D = I_{PH} - I_o [\exp(\frac{eV}{kT_c}) - 1] \quad (3.2)$$

Όπου $k = 1381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ είναι η σταθερά του Boltzman, T_c είναι η απόλυτη θερμοκρασία της κυψελίδας του κελιού (K), e είναι το ηλεκτρονικό φορτίο ίσο με $1602 \times 10^{-19} \text{ J/E}$, V είναι η τάση του κελιού και I_o το ρεύμα ανοικτού κυκλώματος που εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Η δεύτερη σημαντική παράμετρος της φωτοβολταϊκής κυψέλης είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC} που δίνεται από τη σχέση[18]:

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln(\frac{I_{PH}}{I_o} + 1) \approx \frac{kT}{q} \ln(\frac{I_{PH}}{I_o}) \quad (3.4)$$

Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος δυναμικού και ισχύος δίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος – δυναμικού και καμπύλη ισχύος για τυπικό φωτοβολταϊκό [18]

3.2 Απόδοση φωτοβολταϊκού και είδος πλαισίου

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο υπάρχουν διαθέσιμα πολλά διαφορετικά ήδη φωτοβολταϊκών που παρουσιάζουν διαφορετικές αποδόσεις.

Φωτοβολταϊκά μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Το πυρίτιο έχει ένα συνεχές κρυσταλλικό πλέγμα χωρίς σχεδόν καθόλου αταξίες ή ακαθαρσίες στο εσωτερικό του. Το κύριο πλεονέκτημα των μονοκρυσταλλικών κελιών είναι η υψηλή τους απόδοση η οποία φτάνει σχεδόν στο 15% ενώ το μειονέκτημα τους είναι η πολύπλοκη διαδικασία κατασκευής τους γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερο κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα ήδη φωτοβολταϊκών[17].

Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πυριτίου

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι πιο φθηνό υλικό από το μονοκρυσταλλικό και είναι πιο φθηνή και η μέθοδος κατασκευής του. Τα πολυκρυσταλλικά κελιά παράγονται με τη χρήση πολλών στοιχείων μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Στην διαδικασία παρασκευής το τηγμένο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο χυτεύεται σε

καλούπια που κόβονται σε πολύ λεπτά φύλλα και συνδέονται δημιουργώντας ένα φωτοβολταϊκό κελί. Τα πολυκρυσταλλικά κελιά έχουν μικρότερη απόδοση από τα μονοκρυσταλλικά η οποία φτάνει στο 12%[17].

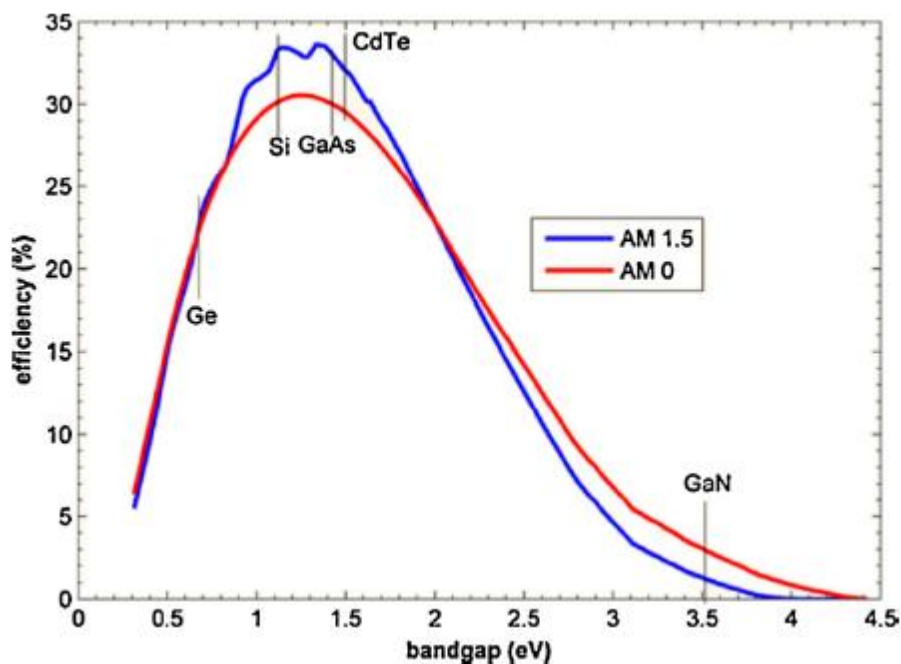
Άμορφα κελιά πυριτίου

Γενικά η διαφορά ανάμεσα στα άμορφα και στα κρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά είναι ότι στα άμορφα δεν υπάρχει κρυσταλλική δομή αλλά αποτελούνται από άτομα πυριτίου που είναι διασπαρμένα σε ένα ομογενές επίπεδο. Επιπλέον τα άμορφα κελιά πυριτίου προσροφούν πιο αποτελεσματικά την ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τα κρυσταλλικά ενώ είναι πιο μικρά στο μέγεθος και αποτελούν την λεγόμενη τεχνολογία λεπτού υμένα στα φωτοβολταϊκά. Το μειονέκτημα τους είναι πως έχουν πολύ χαμηλή απόδοση της τάξης του 6%[17].

Άλλοι τύποι φωτοβολταϊκών

Εκτός από τους προηγούμενους και πιο γνωστούς τύπους των φωτοβολταϊκών υπάρχουν και άλλα πολλά υποσχόμενα υλικά όπως το CdTe και το CuInSe_2 που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Την μεγαλύτερη ελκυστικότητα σήμερα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών παρουσιάζει η χρήση πολυμερών και οργανικών υλικών για την κατασκευή τους. Το πλεονέκτημα αυτών των τεχνολογιών είναι ότι εν δυνάμει παράγονται πιο γρήγορα και με μικρότερο κόστος αλλά παρουσιάζουν ακόμα μικρές αποδόσεις της τάξης του 4% ενώ παρουσιάζουν και προβλήματα σταθερότητας [19].

Κάθε ημιαγώγιμο υλικό που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά έχει τις δικές του ιδιότητες που τα καθιστούν λιγότερο ή περισσότερο ελκυστικά για τα φωτοβολταϊκά. Η πιο χαρακτηριστική ιδιότητα των ημιαγώγιμων υλικών είναι το ηλεκτρονικό κενό που ορίζεται ως το ενεργειακό κενό των ηλεκτρονίων που πρέπει αυτά να καλύψουν προκειμένου να μεταβούν από τη στοιβάδα σθένους στη στοιβάδα αγωγιμότητας[20]. Έχει αποδειχθεί ότι το ηλεκτρονικό κενό του πυριτίου είναι 1.12eV χωρίς να θεωρείται βέλτιστο αφού υλικά με ηλεκτρονικό κενό κοντά στο 1.5eV παρουσιάζουν καλύτερες αποδόσεις.



Σχήμα 3.3: Σχέση μεταξύ του ενεργειακού κενού και της απόδοσης των φωτοβολταϊκών[21]

Ένα απλό φωτοβολταϊκό στοιχείο μπορεί να μετατρέψει το 15% της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Για να βελτιωθεί η απόδοση πρέπει πολλαπλά κελιά με διαφορετικά ενεργειακά φάσματα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να δημιουργηθούν πολυσυνδέσεις (συστοιχία) φωτοβολταϊκών. Οι συστοιχίες δημιουργούν μια πιο αποδοτική διάταξη με απόδοση που φτάνει μέχρι και 40%[19].

Άλλος τρόπος για να αυξηθεί η απόδοση των φωτοβολταϊκών είναι η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μικρά υψηλής απόδοσης φωτοβολταϊκά με τη χρήση ανακλαστικών υλικών, φακών ή καθρεπτών. Τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά αποτελούν τα συγκεντρωμένα φωτοβολταϊκά αλλά ακόμα η τεχνολογία αυτή δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένη[19].

3.3 Επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην απόδοση των φωτοβολταϊκών

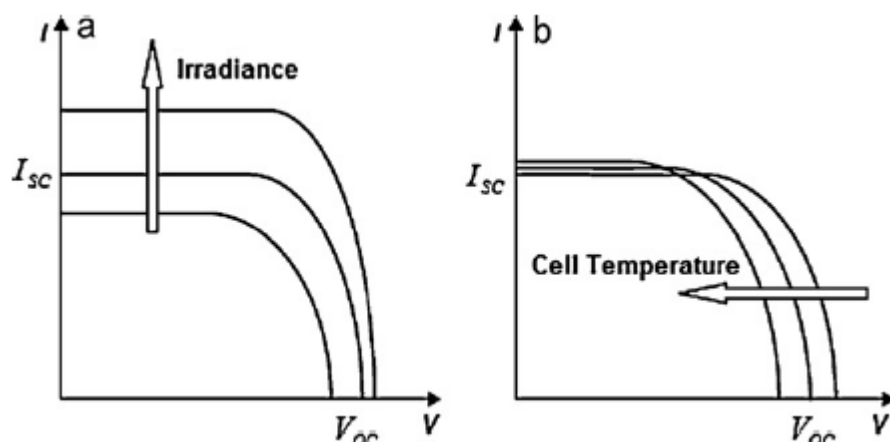
Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού επηρεάζεται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένο. Η θερμοκρασία του στοιχείου είναι μια παράμετρος με μεγάλη επίδραση στο σύστημα των φωτοβολταϊκών. Άλλες περιβαλλοντικές παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση είναι το επίπεδο της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία περιβάλλοντος η ταχύτητα του ανέμου, η σκόνη και οι συνθήκες εγκατάστασης[19].

Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι το αποτέλεσμα του κοινού χαρακτηριστικού των κυψελίδων πυριτίου. Τείνουν να παράγουν υψηλότερα δυναμικά καθώς μειώνεται η θερμοκρασία και αντίθετα η τάση μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο ή σύστημα στη φάση σχεδιασμού του λαμβάνει υπόψη τις μεταβολές της θερμοκρασίας[22].

Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία το ηλεκτρονικό κενό του ημιαγωγού μικραίνει και μειώνεται η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC} ακολουθώντας την εξάρτηση του δυναμικού της διόδου $p-n$ από τη θερμοκρασία σύμφωνα με τον παράγοντα q/kT . Τα φωτοβολταϊκά κελιά έχουν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας για το V_{OC} . Επιπλέον μια χαμηλότερη ισχύς εξόδου οδηγεί στο ίδιο I_{PH} επειδή οι φορείς του φορτίου ελευθερώνονται στα χαμηλά δυναμικά [22].

Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται το ηλεκτρονικό κενό του ημιαγωγού μειώνεται δηλαδή απορροφάται περισσότερη ενέργεια επειδή μεγαλύτερο μέρος της τυχαίας ηλιακής ακτινοβολίας έχει αρκετή ενέργεια για να φτάσει τους ενεργειακούς φορείς από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Αποτέλεσμα είναι η παραγωγή μεγαλύτερου ρεύματος I_{PH} . Κατά συνέπεια, το I_{SC} αυξάνεται για δεδομένη μόνωση και τα φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν θετικό συντελεστή θερμοκρασίας. Η επίδραση της θερμοκρασίας επηρεάζει τη θεωρητική μέγιστη ισχύ [19]:

$$P_{\max}=I_{sc} \times V_{oc} \quad (3.5)$$



Σχήμα 3.4: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού κελιού [19].

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.4 το δυναμικό ανοικτού κυκλώματος αυξάνει λογαριθμικά αυξάνοντας την ηλιακή ακτινοβολία ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνει γραμμικά. Η κύρια επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας του κελιού παρατηρείται στο δυναμικό ανοικτού κυκλώματος το οποίο μειώνεται γραμμικά με αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση. Σε αυτήν την περίπτωση το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού[19].

Η κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του κελιού (NOCT) ενός φωτοβολταϊκού υπολογίζεται από τη διαφορά της θερμοκρασίας του στοιχείου T_m και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_{amb} και θεωρείται ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά συνδέεται γραμμικά με την ακτινοβολία όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από $400W/m^2$. Όταν είναι διαθέσιμη η ηλιακή ακτινοβολία η NOCT μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση[9]:

$$T_m = T_{amb} + (NOCT - 20) \frac{E}{800} \quad (3.6)$$

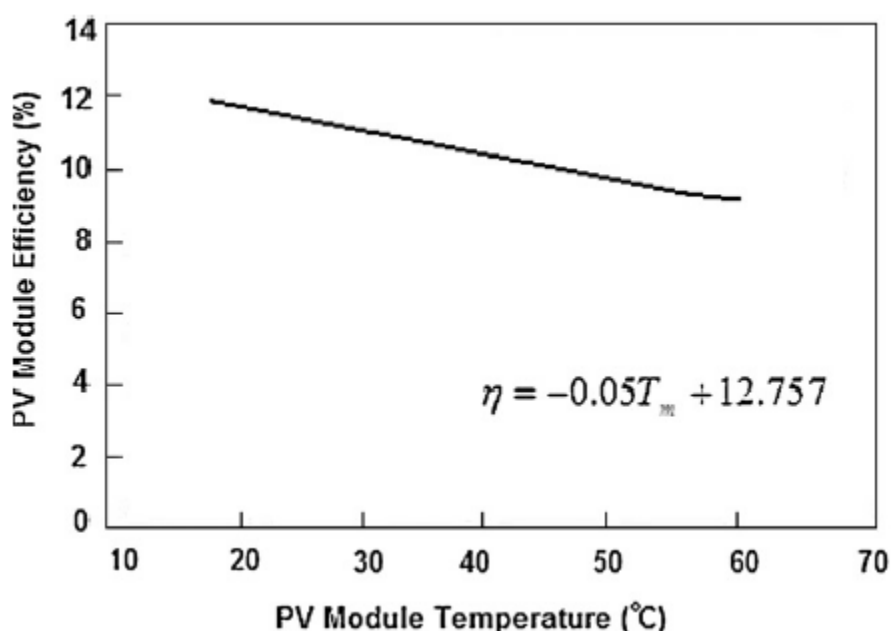
Όπου E η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε W/m^2 .

Η παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού η είναι το ποσοστό της ισχύος που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και λαμβάνεται όταν το φωτοβολταϊκό

συνδεθεί σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Ο όρος της απόδοσης υπολογίζεται από το λόγο της μέγιστης πυκνότητας ισχύος P_{max} προς την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (E σε W/m^2) στις πρότυπες συνθήκες λειτουργίας και την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού κελιού[19]:

$$\eta = \frac{P_{max}}{EA_c} \quad (3.7)$$

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου[23].



Σχήμα 3.5: Σχέση μεταξύ απόδοσης φωτοβολταϊκού και θερμοκρασίας [23]

Ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση της θερμικής υποβάθμισης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας στην επιφάνεια του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ψύξης του στοιχείου και τη μείωση της θερμότητας που συσσωρεύεται στο εσωτερικό του φωτοβολταϊκού κατά τη διάρκεια λειτουργίας του[24].

-Άλλος σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του φωτοβολταϊκού είναι η σκόνη/ βρωμιά που συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εμποδίζοντας μέρος της ακτινοβολίας να προσροφηθεί και μειώνοντας την απόδοση του. Παρά το γεγονός πως προβλέπεται τακτική συντήρηση των

φωτοβολταϊκών για την απομάκρυνση της σκόνης/ βρωμιάς από την επιφάνεια του είναι σύνηθες η απόδοση του να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση που προέρχεται από τη συσσώρευση σκόνης ιδιαίτερα τις ξηρές περιόδους. Κατά συνέπεια ένα φωτοβολταϊκό 100W εξαιτίας της σκόνης θα λειτουργεί στα 79W[24].

3.4 Συντελεστής γήρανσης των φωτοβολταϊκών

Ο συντελεστής γήρανσης αφορά στη μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων και εκφράζεται με το ποσοστό γήρανσης στο έτος χρήσης. Προκαλείται κυρίως από τις υπερθερμάνσεις των ΦΒ κυψελών που καταστρέφουν τη δομή του υλικού τους

3.5 Επίδραση στην απόδοση του φωτοβολταϊκού των στοιχείων του συστήματος

Όπως ήδη αναφέρθηκε τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι συστοιχίες εκτός από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται και από μπαταρίες και αντιστροφείς που συμβάλλουν στην συνολική απόδοση του συστήματος.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών που επιδρούν στην απόδοση του είναι η απόδοση των μπαταριών το είδος τους η χωρητικότητά τους , το μέγιστο ρεύμα φόρτισης η θερμοκρασία και οι κατασκευαστικές ανοχές [24].

Η επιλογή της μπαταρίας και το μέγεθος της εξαρτώνται κύρια από τις απαιτήσεις σε φορτίο και τη διαθεσιμότητα τους. Όταν οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να τοποθετούνται σε μια περιοχή που δεν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες και ο χώρος τοποθέτησης πρέπει να αερίζεται επαρκώς. Προκειμένου να ληφθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα οι μπαταρίες συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους[25].

-Οι μπαταρίες ταξινομούνται ανάλογα με τη χωρητικότητά τους που είναι ο αριθμός των αμπερωρών που μπορούν να ληφθούν από την μπαταρία κάτω

από προκαθορισμένες συνθήκες αποφόρτισης. Η απόδοση της μπαταρίας είναι ο λόγος του φορτίου αποφόρτισης προς το απαιτούμενο φορτίο ανάκτησης προκειμένου να επανέλθει η μπαταρία στην αρχική κατάσταση πλήρους φόρτισης. Κατά συνέπεια η απόδοση των μπαταριών είναι συνάρτηση της κατάστασης φόρτισης και του ρεύματος φόρτισης και αποφόρτισης[19].

Οι αντιστροφείς όπως αναφέρθηκε είναι ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Μπορεί να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί. Χαρακτηρίζονται από απόδοση μετατροπής ισχύος η_{inv} [19]. Εκτός από τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ο αντιστροφέας χρησιμοποιείται για τη διατήρηση ενός σταθερού δυναμικού στην πλευρά του εναλλασσόμενου και μετατρέπει την ισχύ εισόδου P_{in} σε ισχύ εξόδου. Η μέγιστη δυνατή απόδοση του αντιστροφέα δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{ac} I_{ac} \cos a}{V_{dc} I_{dc}} \quad (3.8)$$

Όπου $\cos a$ είναι ο συντελεστής ισχύος, I_{dc} το ρεύμα που απαιτείται από τον μετατροπέα στην πλευρά του συνεχούς και V_{dc} το δυναμικό εισόδου για τον μετατροπέα από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.1 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων για την παρούσα εργασία έγινε από τρία διαφορετικά φωτοβολταϊκά πάρκα ένα σταθερό, ένα μονοαξονικό και ένα διαξονικό. Το κοινό χαρακτηριστικό και των τριών ήταν πως είχαν την ίδια ισχύ 80kWp. Τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές μετρήσεις αποτελούσαν από πλαίσια BP Solar BP 32390N με επιφάνεια $A=348*1,667=580m^2$, αντιστροφείς της εταιρείας SMA και αισθητήρες της εταιρείας Sunny.

4.2 Απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου

Τα βασικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι:

- A) η ισχύς αιχμής (P_p) σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας
 - B) η τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{OC}) σε συνήθεις θερμοκρασία και ακτινοβολία
 - Γ) Η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{SC}) σε συνήθη θερμοκρασία και ακτινοβολία
 - Δ) Η ένταση του ρεύματος σε συνθήκες μέγιστης απόδοσης για συνήθη θερμοκρασία και ακτινοβολία
 - E) Το δυναμικό (V_m) σε συνθήκες μέγιστης απόδοσης για συνήθη θερμοκρασία και ακτινοβολία
- ΣΤ) Ο συντελεστής πλήρωσης που ορίζεται ως ο λόγος: $FF=V_m I_m / V_{OC} I_{SC}$

Ζ) Ο συντελεστής απόδοσης η , σε συμβατικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας

η) ο συντελεστής διόρθωσης της απόδοσης

Θ) η διηλεκτρική αντοχή του πλαισίου που ορίζεται ως το ελάχιστο δυναμικό που προκαλεί ηλεκτρική διάσπαση ανάμεσα στα ηλιακά στοιχεία και στο μεταλλικό περίβλημα του πλαισίου.

Τα χαρακτηριστικά αυτά συνήθως δίνονται από τον κατασκευαστή αλλά μπορεί να μην είναι όλα διαθέσιμα. Παρόλα αυτά θα δίνεται μια ενδεικτική τιμή μέγιστης ισχύος P_{α} που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δέχεται ακτινοβολία έντασης 1kW/m^2 .

Τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία ήταν τα BP3230N και είχαν διαστάσεις: μήκος 1667mm, πλάτος 1000mm, πάχος 50mm. Η ονομαστική ισχύς τους ήταν 165,6Wp. Το πλαίσιο αποτελούταν από 60 πολυκρυσταλλικού πυριτίου κελιά 156mmx156mm που είναι συνδεδεμένα σε σειρά με καλώδια χαμηλών απωλειών.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά απόδοσης του πλαισίου φαίνονται στο Σχήμα 4.1.

Maximum Power (P_{max}):	230 W	
Tolerance:	+/-3 %	
Module efficiency:	13.8 %	
Efficiency reduction @ 200 W/m²:	97 % +/-3 %	
	STC	800 W/m ² NOCT
Voltage at P_{max} (V_{mpp}):	29.2 V	26.0 V
Current at P_{max} (I_{mpp}):	7.9 A	6.3 A
Short circuit current (I_{sc}):	8.7 A	7.0 A
Open circuit voltage (V_{oc}):	36.4 V	33.1 V
Limiting reverse current:	8.7A	
Temperature coefficient of I_{sc}:	(0.065±0.015) %/K	
Temperature coefficient of V_{oc}:	-(0.36 ±0.05) %/K	
Temperature coefficient of P_{max}:	-(0.5±0.05) %/K	
NOCT:	47±2 °C	
Maximum series fuse rating:	15 A	
Maximum system voltage:	1000 V TÜV SC II	
	1000 V IEC 61215	
Maximum parallel strings w/o fuse:	1 string	

Σχήμα 4.1: Χαρακτηριστικά ηλεκτρικής απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου BP 3230N

4.3 Συλλογή και καταγραφή δεδομένων

Τα απαραίτητα δεδομένα όπως η ταχύτητα του ανέμου, η εξωτερική θερμοκρασία, η θερμοκρασία του πάνελ η συνολική ενεργειακή παραγωγή η ηλιακή ακτινοβολία και η τάση συνεχούς ρεύματος DC ελήφθησαν από τον ιστότοπο της sunnyportal (www.sunnyportal.com).

Η καταγραφή γινόταν ανά μία ώρα για κάθε είδος φωτοβολταϊκού για όλο το εικοσιτετράωρο για έναν ολόκληρο χρόνο. Η ταξινόμηση και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του Excel.

Το σταθερό φωτοβολταϊκό πάρκο βρίσκονταν στο κτήμα Βενιέρη στην Τοποθεσία Χερσονήσου, το μονοαξονικό στην τοποθεσία Κεφάλα και το Διαξονικό στην τοποθεσία Μοίρες στην Κρήτη. Και τα τρία φωτοβολταϊκά πάρκα είχαν την ίδια ισχύ εγκατάστασης 80kWp.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Σταθερό φωτοβολταϊκό

Όπως μπορεί κανείς να αντιληφθεί ο όγκος των δεδομένων που ελήφθησαν για κάθε φωτοβολταϊκό είναι πολύ μεγάλος για αυτό παρουσιάζονται τα δεδομένα για χαρακτηριστικούς μήνες κάθε εποχής και συγκεκριμένα για τον Ιανουάριο, τον Μάιο, τον Αύγουστο και το Δεκέμβριο.

Πίνακας 5.1.1: Δεδομένα για σταθερό φωτοβολταϊκό τον Ιανουάριο (1/1/2013)

Ημ/νια-ωρα	Παραγωγή	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτερική θερμ.	Ταχύτ. ανέμου	Ταση DC
h	[KWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]	V
1/1/2013						
1:00 πμ	0	2	38.13	11.946	4.69	0
2:00 πμ	0	2	38.063	11.897	4.67	0
3:00 πμ	0	1.722	38.455	11.982	3.44	0
4:00 πμ	0	1.852	38.44	11.92	3.95	0
5:00 πμ	0	1.31	38.925	12.29	2.75	0
6:00 πμ	0	1.889	39.072	12.293	3.64	0
7:00 πμ	0	2.088	38.709	12	4.81	0
8:00 πμ	0	2.455	38.437	11.88	5.15	0
9:00 πμ	1.02	31.693	39.751	12.444	5.85	617.562
10:00 πμ	8.5	95.083	42.339	13.802	6.48	623.552
11:00 πμ	10.06	140.947	43.864	14.791	4.68	624.532
12:00 πμ	13.48	211.45	48.054	15.927	4.26	722.76
1:00 μμ	11.82	134.91	47.101	15.864	4.74	752.595
2:00 μμ	20.24	152.128	44.328	15.515	5.08	672.097
3:00 μμ	48.91	48.705	42.998	14.71	6.06	657.097
4:00 μμ	34.47	132.559	43.353	14.866	7.15	643.886
5:00 μμ	9.82	47.85	42.875	14.837	6.29	629.304
6:00 μμ	0.48	3.858	41.168	14.272	6.38	623.543
7:00 μμ	0	1.107	39.527	13.28	6.61	0
8:00 μμ	0	1.432	40.268	13.595	6.98	0
9:00 μμ	0	1.197	40.384	13.578	7.33	0
10:00 μμ	0	1	39.63	12.93	6.36	0
11:00 μμ	0	1.282	40.258	13.594	3.6	0
12:00 μμ	0	1.028	40.833	13.991	4.92	0

Πίνακας 5.1.2: Δεδομένα για σταθερό φωτοβολταϊκό τον Μάιο (1/5/2013)

Ημ/νια-ωρα	Παραγωγή	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτερική θερμ.	Ταχύτ. ανέμου	Ταση DC
h	[KWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]	V
1/5/2013						
1:00 πμ	0	1.043	43.285	18.54	2.15	
2:00 πμ	0	1.165	42.952	17.83	1.897	
3:00 πμ	0	1.191	42.549	17.237	1.935	
4:00 πμ	0	1.116	41.822	17.097	0.762	
5:00 πμ	0	1.027	41.904	17.023	0.906	
6:00 πμ	0	0.9	42.164	17.072	1.052	
7:00 πμ	0.147	3.579	41.523	16.66	1.39	546.714
8:00 πμ	3	35.581	45.125	19.194	1.688	594.319
9:00 πμ	16.186	77.469	54.491	25.344	1.246	612.083
10:00 πμ	34.57	244.108	62.601	32.011	0.758	625.492
11:00 πμ	49.753	495.734	69.24	30.687	1.355	637.71
12:00 πμ	60.743	735.52	72.82	29.187	1.35	646.812
1:00 μμ	67.111	917.373	75.322	28.019	1.965	652.107
2:00 μμ	69.154	1029.29	78.171	28.372	1.536	651.029
3:00 μμ	67.017	1054.86	78.114	28.304	1.786	651.341
4:00 μμ	60.386	995.021	76.551	28.405	1.694	645.14
5:00 μμ	50.196	786.189	71.923	27.411	1.773	644.727
6:00 μμ	35.294	187.015	68.132	26.981	1.134	642.012
7:00 μμ	17.096	80.253	60.6	24.949	1.038	636.128
8:00 μμ	3.363	40.568	51.886	22.827	0.999	632.274
9:00 μμ	0.232	4.465	46.367	20.223	0.482	630.911
10:00 μμ	0	0.934	45.371	19.872	1.245	
11:00 μμ	0	0.825	45.3	19.503	1.52	
12:00 μμ	0	0.17	44.846	19.614	1.783	

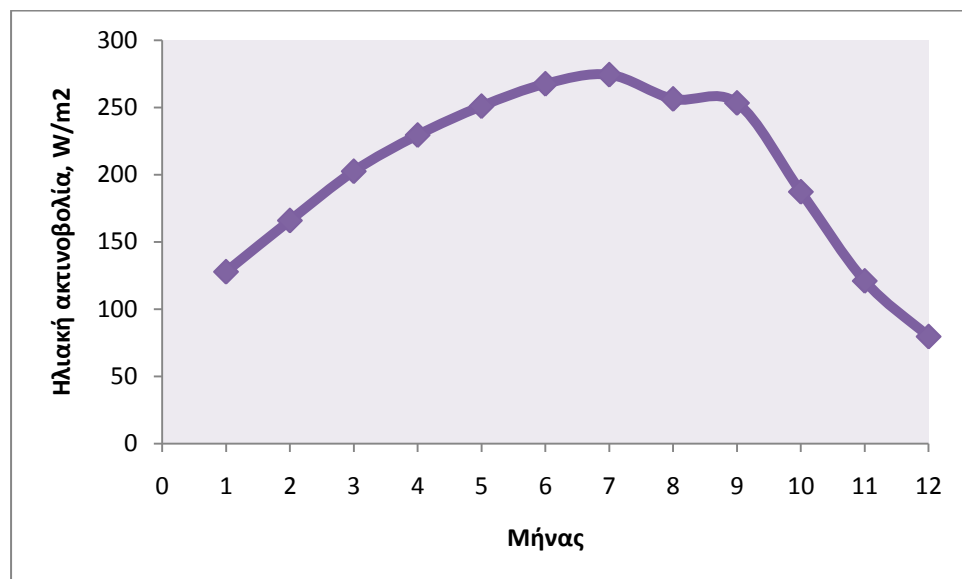
Πίνακας 5.1.3: Δεδομένα για σταθερό φωτοβολταϊκό τον Αύγουστο (1/8/2013)

Ημ/νια-ωρα	Παραγωγή	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτερική θερμ.	Ταχύτ. ανέμου	Ταση DC
h	[kWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]	[V]
1/8/2013						
1:00 πμ	0	0.413	51.053	24.143	0.262	
2:00 πμ	0	0.514	50.844	24.059	0.091	
3:00 πμ	0	0.707	50.449	23.678	0.061	
4:00 πμ	0	0.795	50.214	23.243	0.277	
5:00 πμ	0	0.363	51.207	23.501	1.099	
6:00 πμ	0	0.574	50.536	23.205	0.205	
7:00 πμ	0.109	3.045	51.003	23.502	1.328	550.349
8:00 πμ	2.853	37.061	53.851	24.888	1.934	594.174
9:00 πμ	12.116	86.531	60.36	32.777	1.395	604.889
10:00 πμ	27.243	208.799	66.436	34.049	0.852	611.179
11:00 πμ	41.668	407.422	69.402	32.261	1.984	619.063
12:00 πμ	53.789	634.598	72.541	31.769	2.215	630.147
1:00 μμ	60.184	821.541	76.21	31.93	2.508	638.706
2:00 μμ	62.296	936.815	79.018	32.146	1.88	645.844
3:00 μμ	61.151	979.437	79.133	31.76	1.838	652.998
4:00 μμ	55.745	932.492	78.585	31.099	1.387	654.07
5:00 μμ	46.359	777.465	75.163	30.795	1.301	653.192
6:00 μμ	33.162	296.031	69.963	29.784	1.262	655.438
7:00 μμ	18.57	162.842	64.669	28.465	1.143	654.312
8:00 μμ	6.863	85.765	59.401	26.849	0.901	648.968
9:00 μμ	0.629	10.847	54.291	25.422	0.969	646.24
10:00 μμ	0	0.584	52.448	24.78	0.288	
11:00 μμ	0	0.887	51.608	24.23	0.434	
12:00 μμ	0	0.922	51.055	23.874	0.343	

Πίνακας 5.1.4: Δεδομένα για σταθερό φωτοβολταϊκό τον Δεκέμβριο (1/12/2013)

Ημ/νια-ωρα	Παραγωγή	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτερική θερμ.	Ταχύτ. ανέμου	Ταση DC
h	[KWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]	[V]
1/12/2013						
1:00 πμ	0	1.379	42.332	15.927	0.403	
2:00 πμ	0	1.546	41.835	15.598	0.204	
3:00 πμ	0	1.221	42.078	15.943	0.944	
4:00 πμ	0	1.118	42.833	16.902	0.978	
5:00 πμ	0	1.296	42.632	15.933	0.11	
6:00 πμ	0	1.111	42.612	15.778	0.374	
7:00 πμ	0	1.19	41.838	16.314	0.278	
8:00 πμ	0.749	10.017	44.627	18.924	2.217	662.955
9:00 πμ	7.49	80.507	48.978	20.474	4.067	668.155
10:00 πμ	14.55	166.061	53.281	22.081	3.468	661.79
11:00 πμ	15.604	205.446	53.947	22.077	3.862	673.604
12:00 πμ	35.65	441.473	62.877	23.269	1.977	641.877
1:00 μμ	36.931	442.227	67.398	24.309	0.951	626.263
2:00 μμ	23.337	305.335	60.154	24.922	0.565	592.54
3:00 μμ	14.427	198.913	56.735	22.797	0.217	620.001
4:00 μμ	6.74	95.453	53.758	22.571	0.168	595.941
5:00 μμ	2.536	39.936	50.341	21.605	0.773	559.223
6:00 μμ	0.079	2.707	47.581	20.111	0.067	506.572
7:00 μμ	0	1	46.676	20.114	3.025	
8:00 μμ	0	0.968	46.986	20.127	1.996	
9:00 μμ	0	0.984	46.841	20.075	1.472	
10:00 μμ	0	0.992	46.092	19.13	0.446	
11:00 μμ	0	1.087	45.705	19.085	1.671	
12:00 μμ	0	1.081	44.795	18.362	0.771	

Στο Σχήμα 5.1. παρουσιάζεται γραφικά η μέση τιμή ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα.

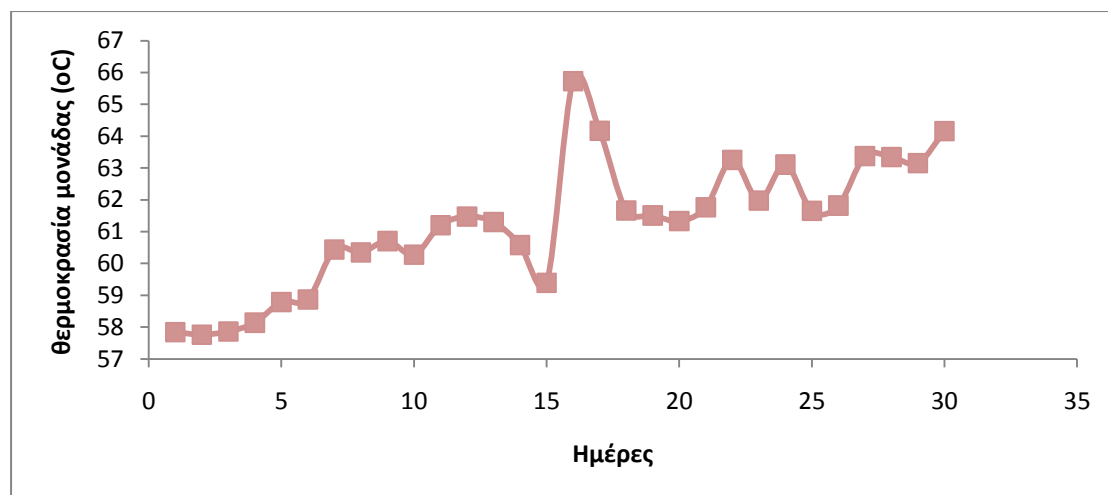


Σχήμα 5.1: Μέση ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα στην περιοχή της χερσονήσου

Από το Σχήμα φαίνεται πως η υψηλότερη ακτινοβολία παρατηρείται το μήνα Ιούλιο και η χαμηλότερη το Δεκέμβριο. Με δεδομένο ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι η βασική παράμετρος λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος επιλέγεται να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των δύο ακραίων περιπτώσεων δηλαδή του μήνα Ιουλίου και του μήνα Δεκεμβρίου.

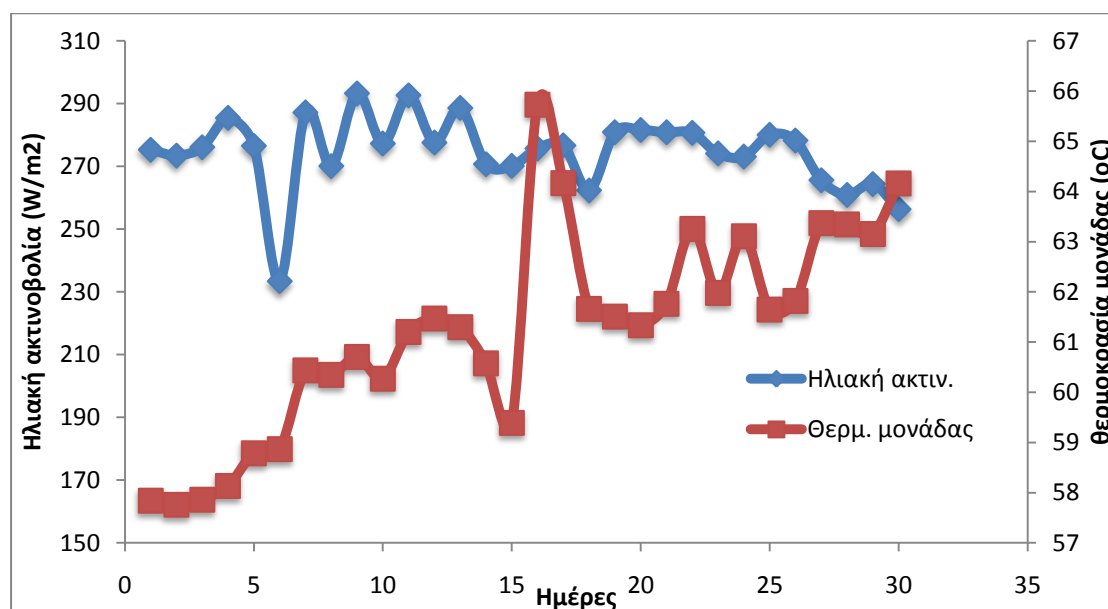
5.1.1 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα χαρακτηριστικά της κυψελίδας

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του πάνελου. Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας του πάνελου για τις μέσες τιμές ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας τον μήνα Ιούλιο.



Σχήμα 5.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας για τον μήνα Ιούλιο ανά ημέρα λειτουργίας.

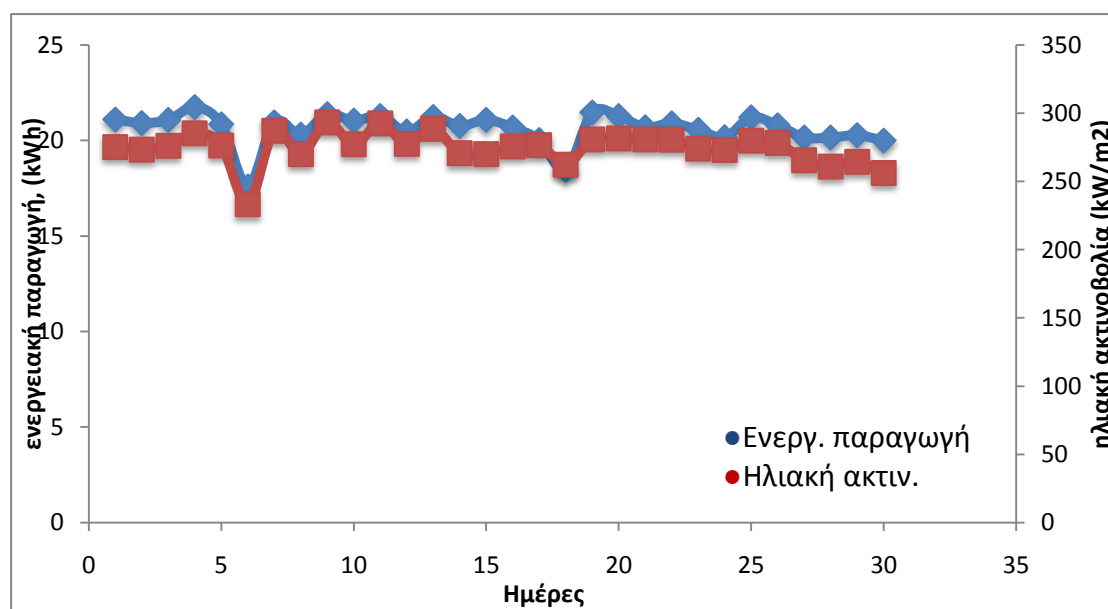
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.2 η θερμοκρασία λειτουργίας παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις με τη μέγιστη να εμφανίζεται τη 16^η ημέρα του μήνα. Αυτή η απότομη μεταβολή πιθανόν να οφείλεται σε αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας τη συγκεκριμένη ημέρα. Η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανά ημέρα φαίνεται στο Σχήμα 5.3



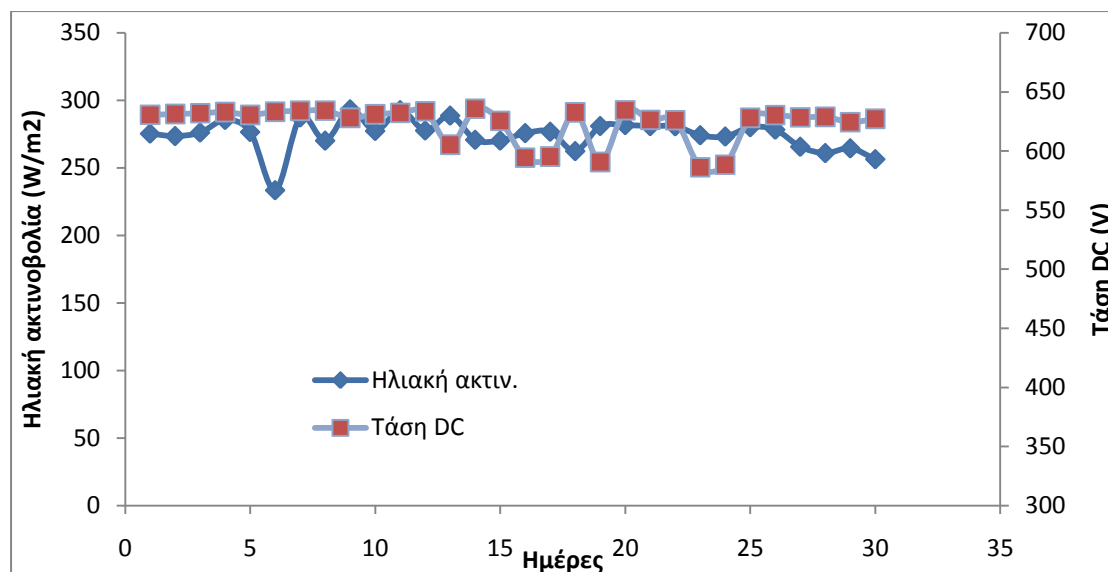
Σχήμα 5.3: Μεταβολή θερμοκρασίας της μονάδας και της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Ιούλιο

Όπως φαίνεται από το σχήμα η μεταβολή της θερμοκρασίας συμβαδίζει με τη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας γεγονός που είναι λογικό με δεδομένο την αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών.

Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην απόδοση του συστήματος. Όπως φαίνεται από το Σχήμα το μήνα Ιούλιο η απόδοση του συστήματος είναι ταυτόσημη με την ηλιακή ακτινοβολία αφού ταυτίζεται η διακύμανση τους.

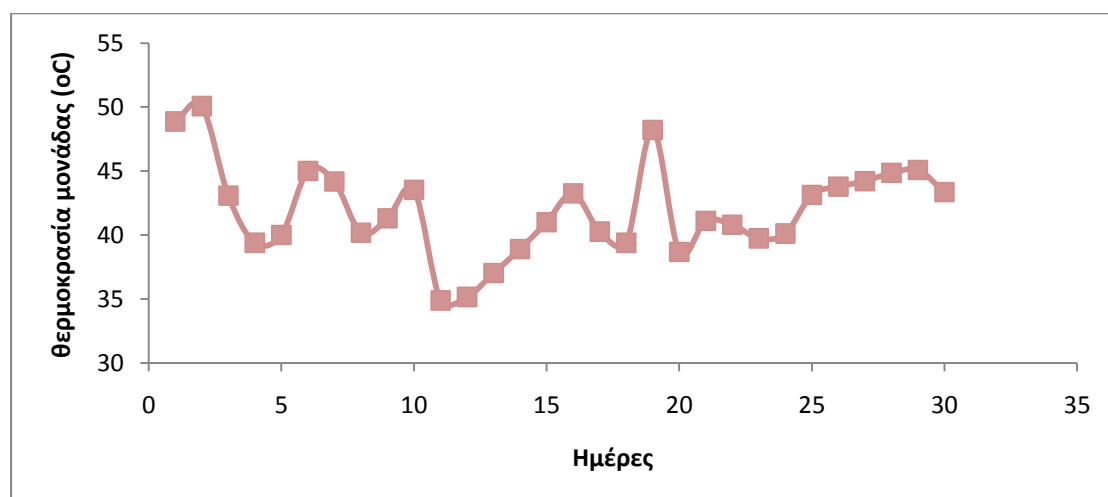


Σχήμα 5.4: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής απόδοσης(Παραγωγής) ανά ημέρα το μήνα Ιούλιο.



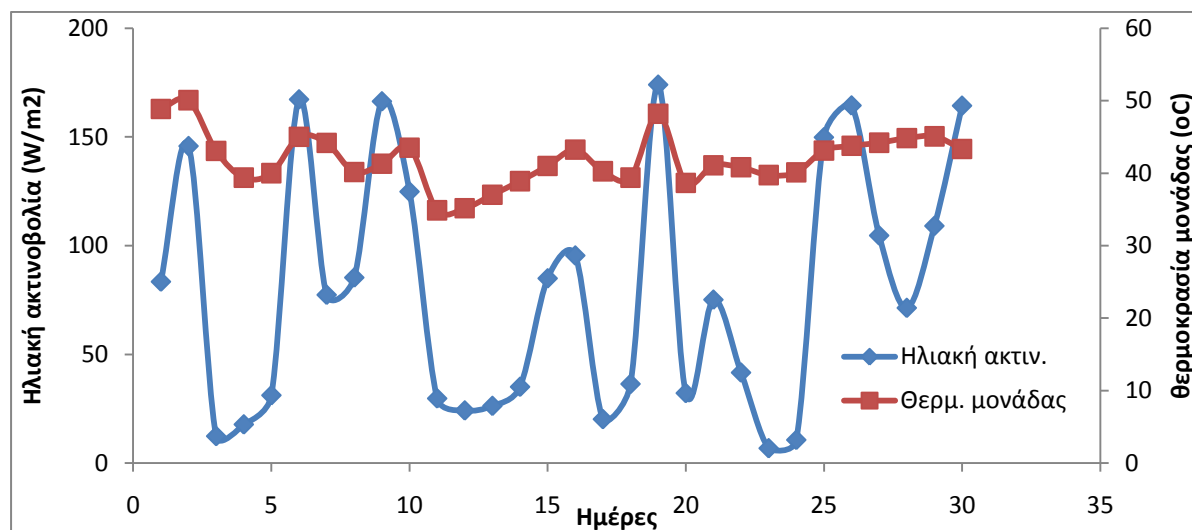
Σχήμα 5.5: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας τον Ιούλιο στο δυναμικό του φωτοβολταϊκού συστήματος

Η μεταβολή του παραγόμενου δυναμικού όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5 μεταβάλλεται με την ηλιακή ακτινοβολία κατά ταυτόσημο τρόπο. Στη συνέχεια φαίνονται τα αποτελέσματα της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο. Στο Σχήμα 5.6 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας της μονάδας για τις ημέρες του μήνα.



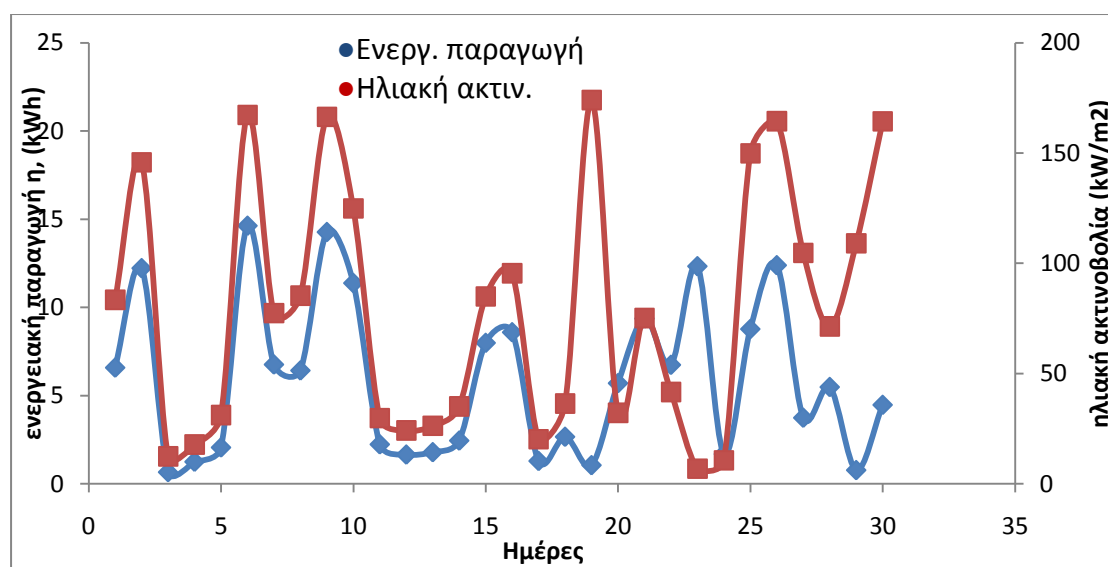
Σχήμα 5.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας για τον μήνα Δεκέμβριο ανά ημέρα λειτουργίας.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.6 η θερμοκρασία για το Δεκέμβριο παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τη θερμοκρασία της μονάδας για τον Ιούλιο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην χαμηλότερη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας το συγκεκριμένο μήνα.



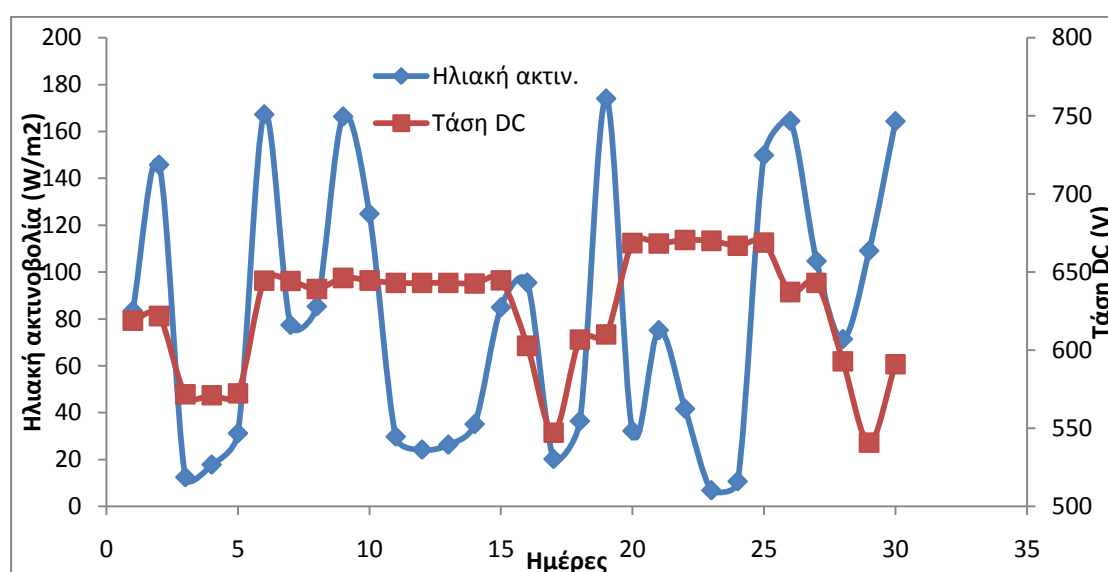
Σχήμα 5.7: Μεταβολή θερμοκρασίας της μονάδας και της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.7 η θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας είναι σχεδόν σταθερή σε σχέση με τις μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι σαφώς εντονότερες. Η μεγάλη διακύμανση στην ηλιακή ακτινοβολία σχετίζεται με τις καιρικές συνθήκες..



Σχήμα 5.8: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής απόδοσης ανά ημέρα το μήνα Δεκέμβριο

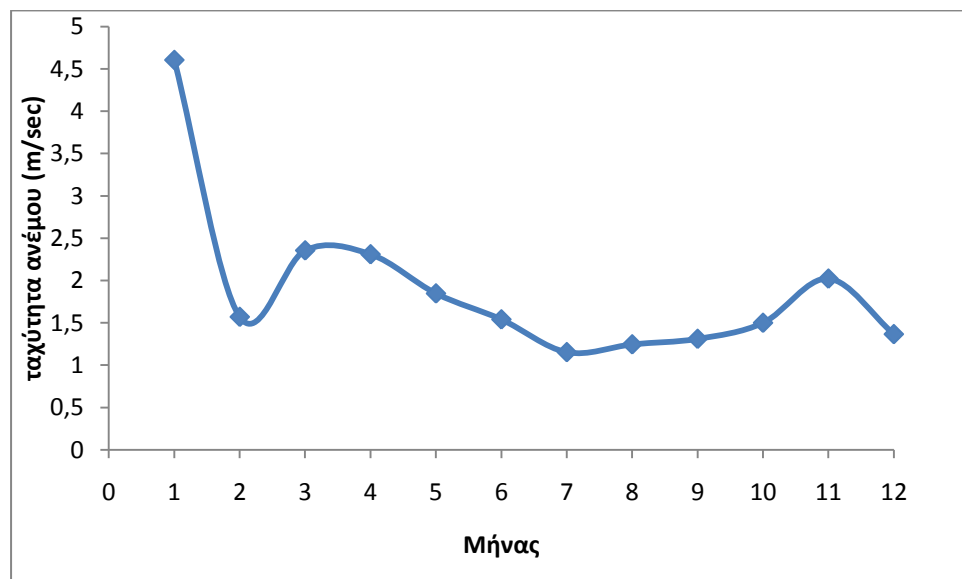
Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της ενεργειακής απόδοσης και του παραγόμενου δυναμικού DC. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.8 η μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης παρουσιάζει πιο έντονες διακυμάνσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες το μήνα Ιούλιο γεγονός που οφείλεται στη χαμηλότερη ένταση της ακτινοβολίας.



Σχήμα 5.9: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας τον Δεκέμβριο στο δυναμικό του φωτοβολταϊκού συστήματος

Από το Σχήμα 5.9 φαίνεται πως το παραγόμενο δυναμικό παρουσιάζει παλμική συμπεριφορά που διαταράσσεται όταν η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται.

5.1.2 Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα χαρακτηριστικά του σταθερού φωτοβολταϊκού.



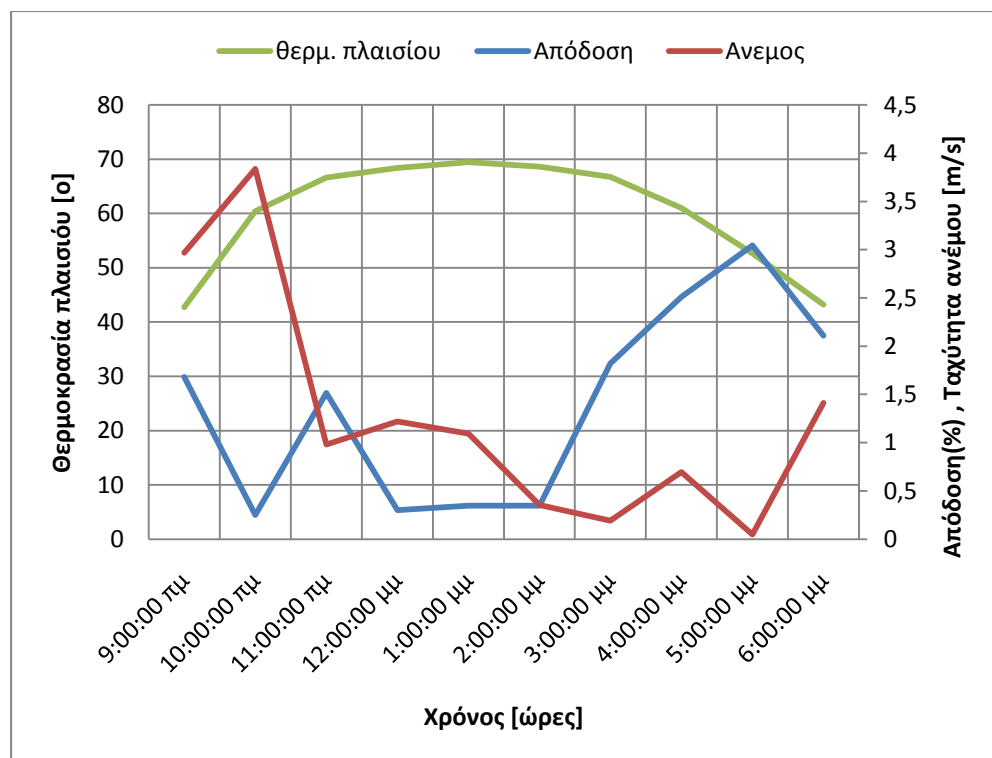
Σχήμα 5.10: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και του παραγόμενου δυναμικού τον Δεκέμβριο

Η τιμή του παραγόμενου δυναμικού φαίνεται ότι επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου καθώς και η θερμοκρασία του πλαισίου

Στα σχήματα 5.10 φαίνονται τα αποτελέσματα που ελήφθησαν για τον Δεκέμβριο (σε μέρα χαμηλής ταχύτητας του ανέμου) για την επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα χαρακτηριστικά του συστήματος.

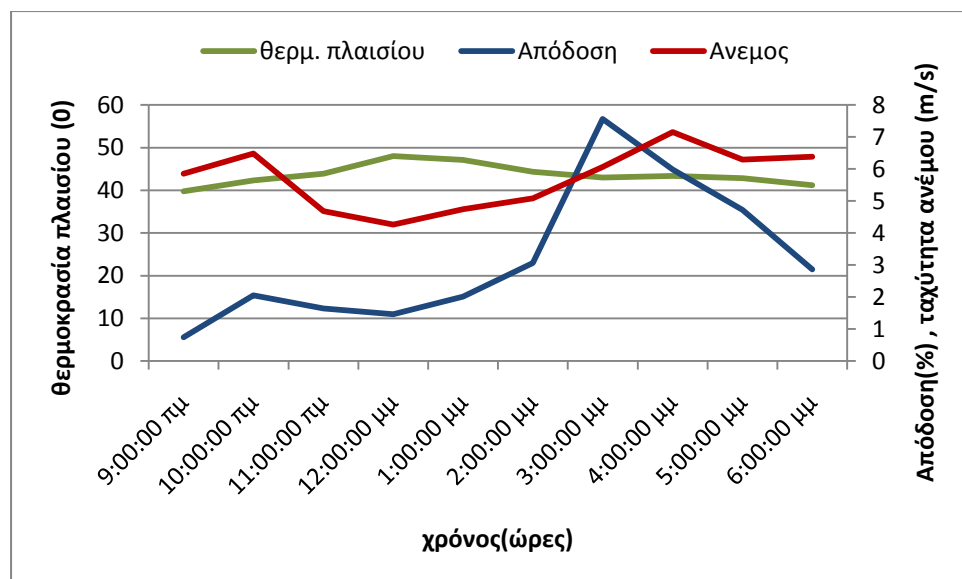
Για να γίνει δυνατή η σύγκριση των φωτοβολταϊκών που έχουν εγκατασταθεί σε διαφορετικές περιοχές, όπου επικρατούν διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες, χρησιμοποιήθηκε η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η απόδοση του φωτοβολταϊκού έχει υπολογιστεί σύμφωνα με τον τύπο 3.7 του κεφαλαίου 3.3 δηλαδή $\eta = \text{Παραγωγή} / (\text{Ηλιακή ακτινοβολία} * \text{Επιφάνεια του φωτοβολταϊκού})$ και είναι %

Ημ/νια-ωρα	Παραγωγή	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτερική θερμ.	Ταχύτ. ανέμου	Ταση DC	Απόδοση
h	[KWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]	V	%
19/12/2013							#ΔΙΑΙΡ./0!
1:00:00 πμ	0	1,867	37,51	12,5	2,066	0	0
2:00:00 πμ	0	1,866	37,784	12,595	2,668	0	0
3:00:00 πμ	0	1,653	38,297	12,802	2,006	0	0
4:00:00 πμ	0	1,839	38,92	12,858	1,449	0	0
5:00:00 πμ	0	1,89	39,471	13,161	1,563	0	0
6:00:00 πμ	0	1,631	38,261	12,783	0,745	0	0
7:00:00 πμ	0	1,278	39,411	13,391	1,469	0	0
8:00:00 πμ	0	13,216	39,986	13,597	1,979	0	0
9:00:00 πμ	0,719	73,702	42,732	13,197	2,967	605,453	1,68198308
10:00:00 πμ	0,518	356,445	60,444	13,03	3,836	642,673	0,25055856
11:00:00 πμ	4,357	496,11	66,642	16,73	0,982	679,305	1,51419422
12:00:00 μμ	1,154	663,89	68,409	18,577	1,218	696,205	0,29969651
1:00:00 μμ	1,332	663,438	69,483	14,73	1,092	692,999	0,34615921
2:00:00 μμ	1,325	658,205	68,653	12,636	0,352	691,425	0,3470777
3:00:00 μμ	6,675	632,792	66,744	12,147	0,192	690,38	1,81870515
4:00:00 μμ	6,356	436,622	61,043	12,568	0,697	690,213	2,50986453
5:00:00 μμ	2,768	156,745	52,675	11,609	0,05	667,333	3,04469922
6:00:00 μμ	0,262	21,417	43,183	11,05	1,413	654,853	2,10918494
7:00:00 μμ	0	1,2	40,603	10,339	1,09	0	0
8:00:00 μμ	0	1,032	41,878	10,23	2,055	0	0
9:00:00 μμ	0	1,024	41,145	10,03	1,549	0	0
10:00:00 μμ	0	1	41,55	10,43	1,068	0	0
11:00:00 μμ	0	1,161	41,02	10,63	0,398	0	0
12:00:00 πμ	0	1,071	40,982	10,23	0,665	0	0



Σχήμα 5.11: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με θερμοκρασία πλαισίου και ταχύτητα ανέμου στις 19 του μήνα μήνα Δεκέμβριο

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.11 η απόδοση λειτουργίας της μονάδας είναι σχεδόν χαμηλή, καθώς οι ταχύτητες ανέμου είναι αρκετά χαμηλές και διατηρούν υψηλή την θερμοκρασία πλαισίου. Σε σχέση με το παρακάτω διάγραμμα τον Ιανουάριο μήνα που βλέπουμε το αντίθετο.



Σχήμα 5.12: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με ενεργειακή παραγωγή της μονάδας τον Ιανουάριο

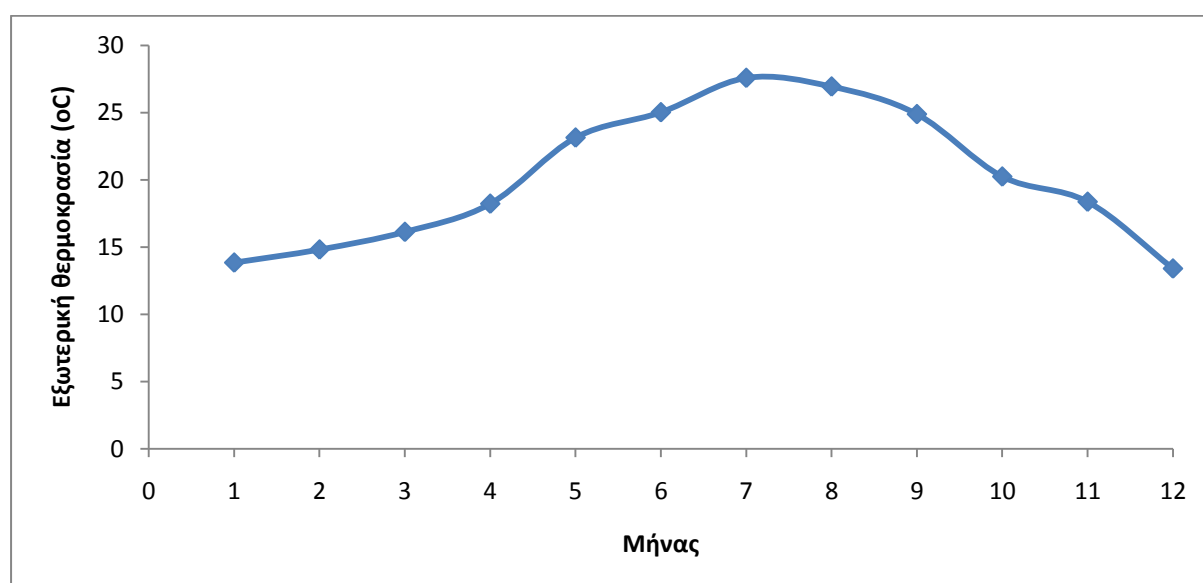
Στο Σχήμα 5.12 φαίνεται ότι ο άνεμος είναι σε υψηλές τιμές και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ψύχει το πλαίσιο και και σε συνάρτηση της υψηλής ακτινοβολίας σχ 5.13 οι αποδόσεις είναι σε υψηλές τιμές

9:00:00 πμ	1,02	31,693	39,751	12,444	5,85	617,562	5,54892465
10:00:00 πμ	8,5	95,083	42,339	13,802	6,48	623,552	15,4130312
11:00:00 πμ	10,06	140,947	43,864	14,791	4,68	624,532	12,3059218
12:00:00 μμ	13,48	211,45	48,054	15,927	4,26	722,76	10,9914303
1:00:00 μμ	11,82	134,91	47,101	15,864	4,74	752,595	15,105856
2:00:00 μμ	20,24	152,128	44,328	15,515	5,08	672,097	22,9389407
3:00:00 μμ	48,91	148,705	42,998	14,71	6,06	657,097	56,7079696
4:00:00 μμ	34,47	132,559	43,353	14,866	7,15	643,886	44,8336473
5:00:00 μμ	9,82	47,85	42,875	14,837	6,29	629,304	35,3835621
6:00:00 μμ	0,48	3,858	41,168	14,272	6,38	623,543	21,4511718

5.3 Επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του συστήματος.

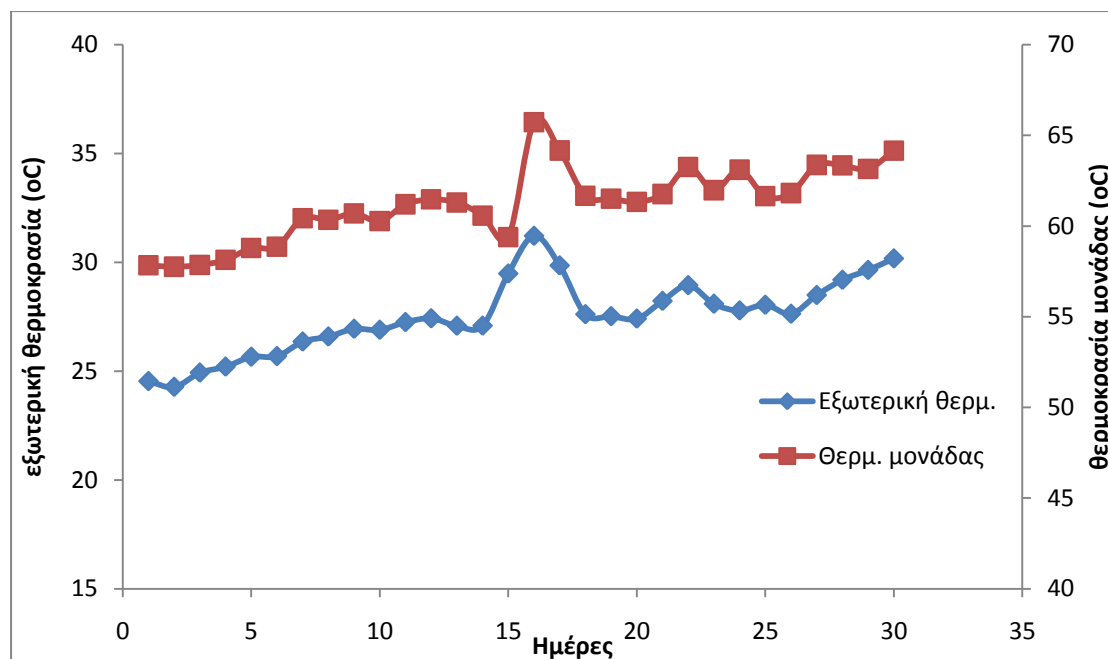
Ένας άλλος εξωτερικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση του συστήματος φωτοβολταϊκών είναι η εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής στην οποία λειτουργεί η μονάδα.

Η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας ανά μήνα λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαίνεται στο σχήμα 5.17.



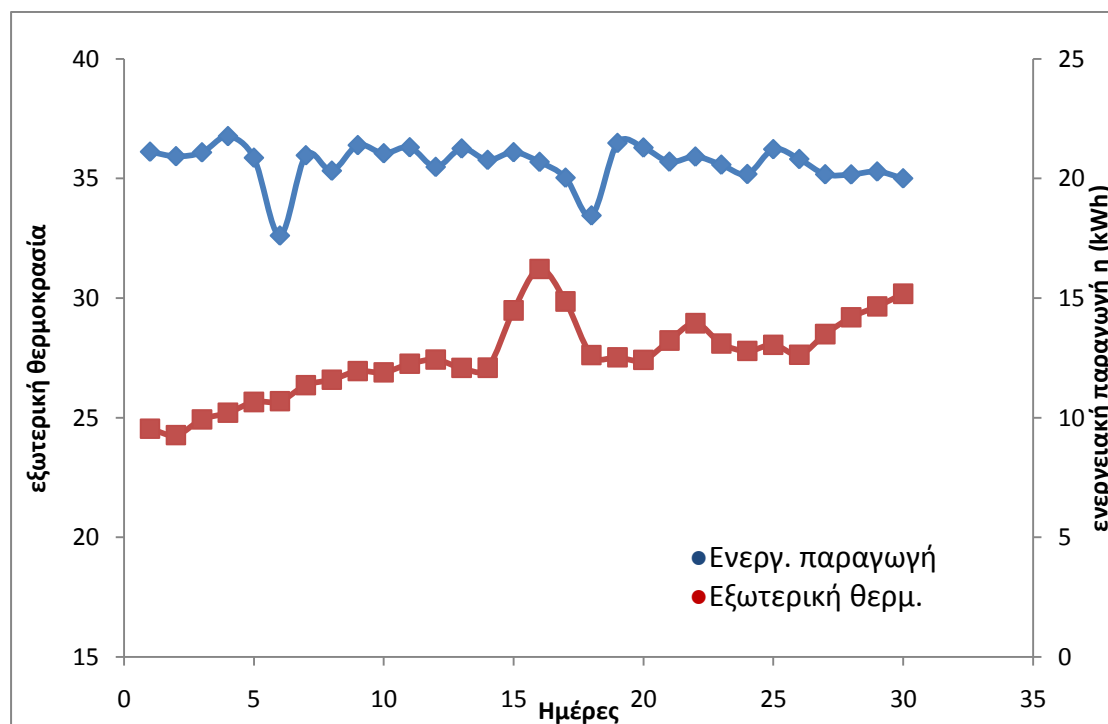
Σχήμα 5.14: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας ανά μήνα λειτουργίας του σταθερού φωτοβολταϊκού συστήματος.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.14 η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία παρουσιάζεται το μήνα Ιούλιο. Για αυτό επιλέγεται να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από το συγκεκριμένο μήνα.



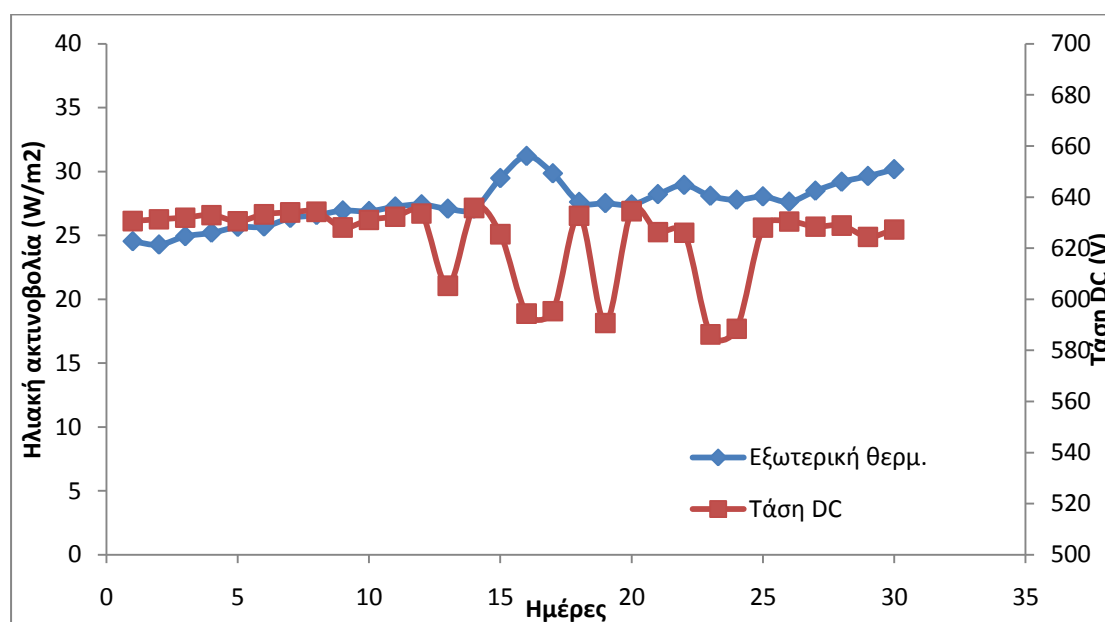
Σχήμα 5.15: Μεταβολή εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασία μονάδας

Όπως φαίνεται από το σχήμα 5.15 η θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας είναι άμεση συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας δεδομένου ότι παρουσιάζουν ταυτόσημες μεταβολές.



Σχήμα 5.16: Μεταβολή εξωτερικής θερμοκρασίας και ενεργειακής παραγωγής για τον Ιούλιο

Η ενεργειακή παραγωγή επίσης δεν φαίνεται να εξαρτάται από την εξωτερική θερμοκρασία για το σταθερό φωτοβολταϊκό δεδομένου ότι οι διακυμάνσεις της δεν αντιστοιχούν στις διακυμάνσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας.



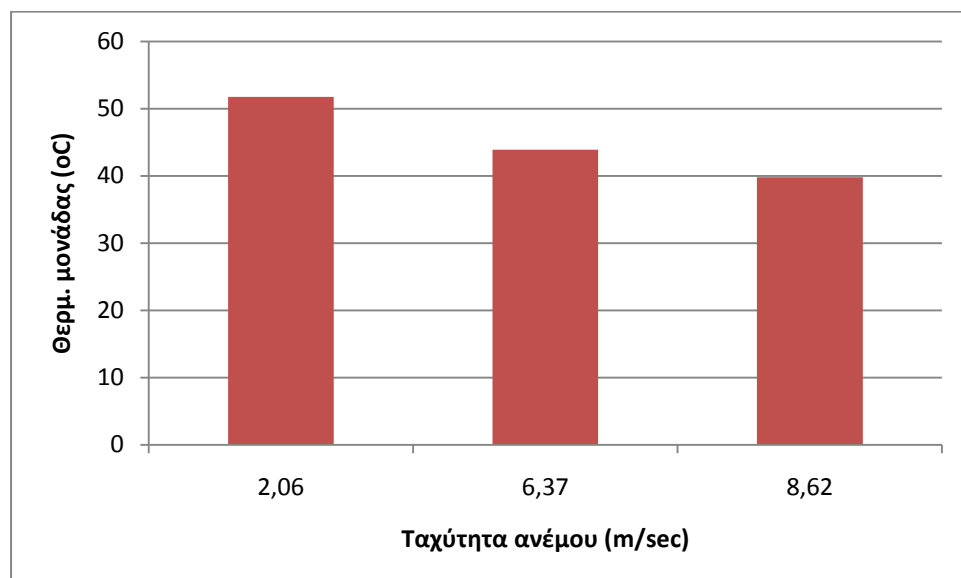
Σχήμα 5.17: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και του παραγόμενου δυναμικού για τον Ιούλιο

Στον πίνακα 5.1.5 φαίνονται τα αποτελέσματα της επίδρασης του ανέμου στη θερμοκρασία της μονάδας. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου τόσο πέφτει και η θερμοκρασία της μονάδας.

Πίνακας 5.1.5 Αποτελέσματα της επίδρασης του ανέμου στη θερμοκρασία της μονάδας

ωρα 14:00	Παραγωγή	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτερική θερμ.	Ταχύτ. ανέμου
h	[KWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]
27/8/2013	66.54	921.26	43.88	28.45	6.37
29/8/2013	67.02	917.92	39.79	27.11	8.62
29/8/2013	67.02	917.92	39.79	27.11	8.62
25/8/2013	62.42	906.01	51.75	32.57	2.06

Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου είναι:



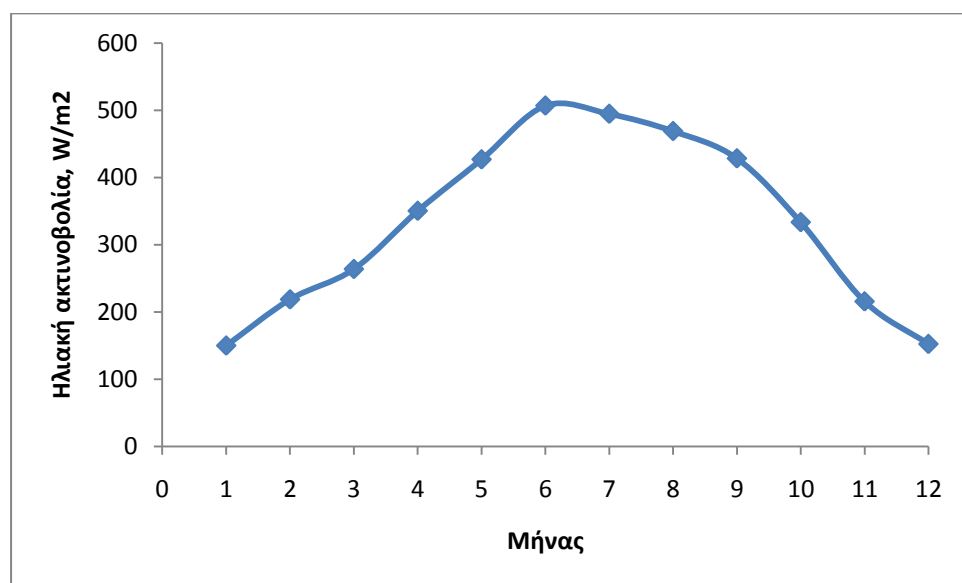
Σχήμα 5.18: Επίδραση ταχύτητας ανέμου στη θερμοκρασία της μονάδας.

Όπως φαίνεται από το σχήμα όσο η ταχύτητα αυξάνεται ψύχεται η μονάδα και ο συντελεστής θερμοκρασίας και ο λόγος επίδοσης αυξάνονται.

5.2 Επίδραση εξωτερικών παραμέτρων στο μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα

5.2.1 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα

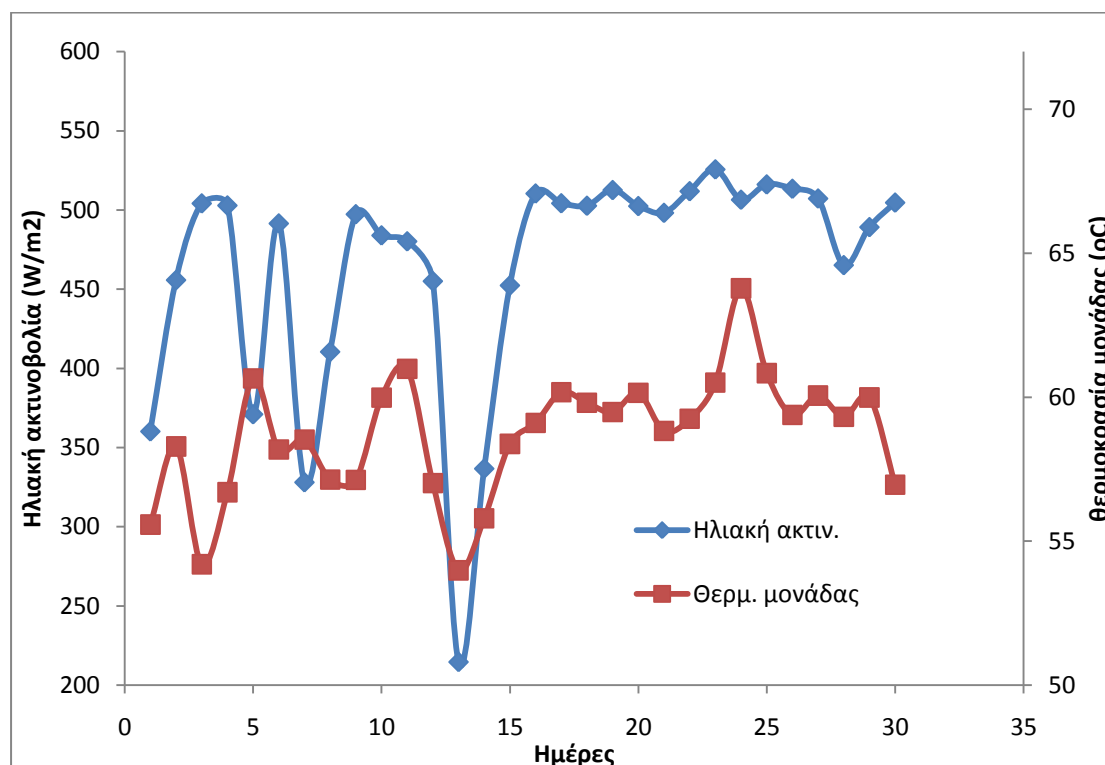
Το μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί ένα κινητό σύστημα που «παρακολουθεί» την κατεύθυνση του ήλιου μετακινούμενο σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Η μεταβολή της μέσης τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας για το συγκεκριμένο σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 5.19.



Σχήμα 5.19: Μεταβολή της ηλιακής ενέργειας ανά μήνα για το μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα.

Η μέγιστη ηλιακή ενέργεια στην περιοχή Κεφάλα που είναι εγκατεστημένο το φωτοβολταϊκό πάρκο είναι μεγαλύτερη και φτάνει στα 500W/m^2 ενώ παρατηρείται τον Ιούνιο. Η ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία παρατηρείται τον Ιανουάριο.

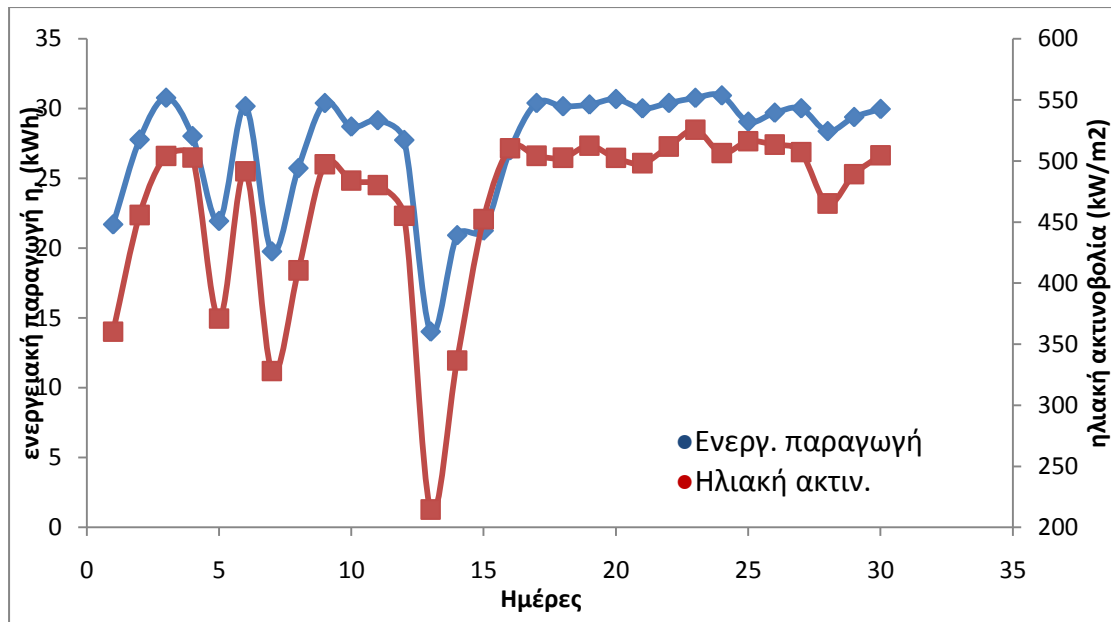
Η μεταβολή της Ηλιακής ενέργειας και της θερμοκρασίας λειτουργίας της μονάδας φαίνεται στο Σχήμα 5.20.



Σχήμα 5.20: Μεταβολή της ηλιακής ενέργειας ανά μήνα για το μονοαξονικό φωτοβολταϊκό σύστημα τον Ιούνιο

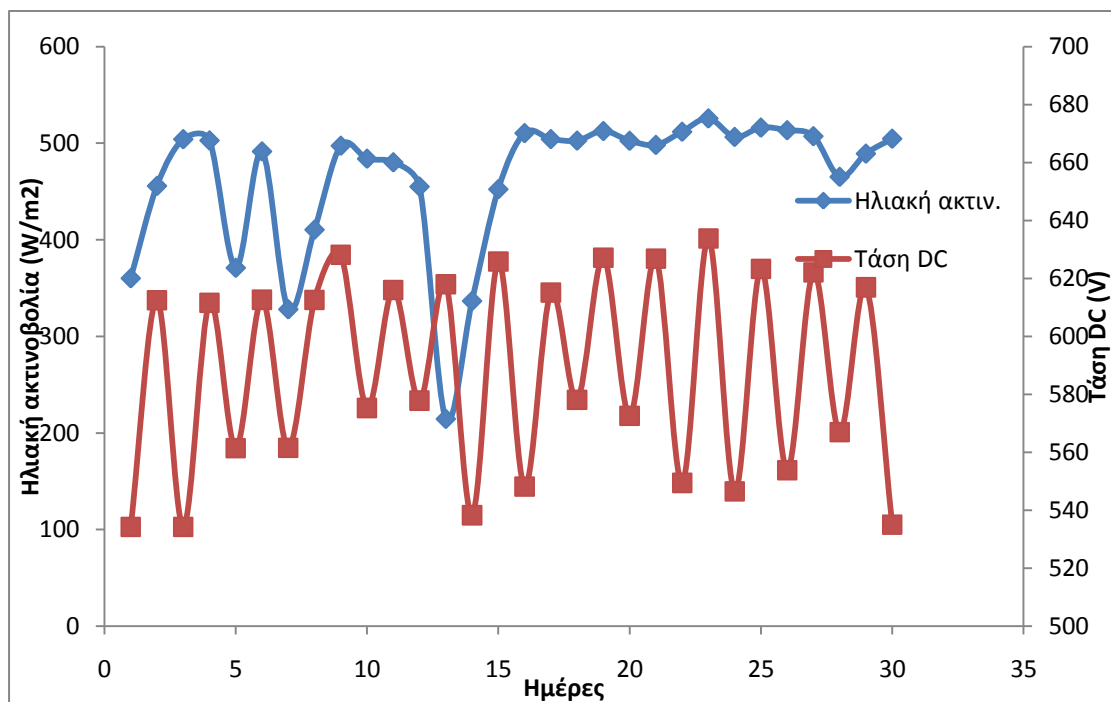
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.20 η θερμοκρασία της μονάδας ακολουθεί τις μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας. Στα μέγιστα της ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν τα μέγιστα της θερμοκρασίας της μονάδας η οποία κυμαίνεται σε ελάχιστο 53°C την 13^η ημέρα λειτουργίας και φτάνει σε μέγιστο στους 65°C την 25^η ημέρα λειτουργίας.

Στο Σχήμα 5.21 φαίνεται η μεταβολή της ηλιακής ενέργειας και της ενεργειακής απόδοσης ανά ημέρα λειτουργίας



Σχήμα 5.21: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής παραγωγής ανά ημέρα το μήνα Ιούνιο για το μονοαξονικό σύστημα.

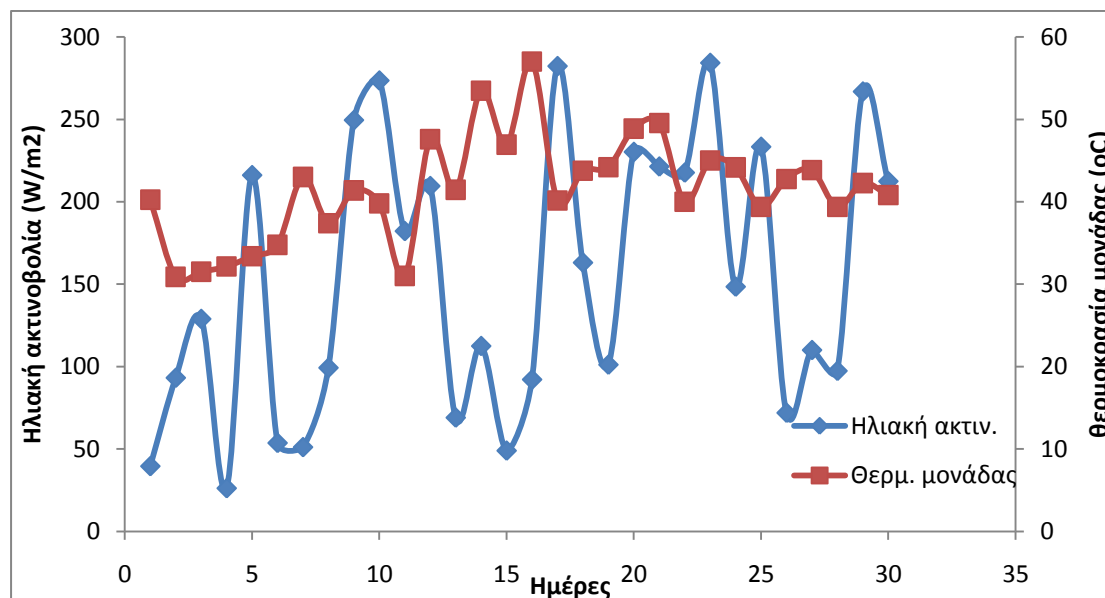
Η ενεργειακή παραγωγή συμβαδίζει απόλυτα με την ηλιακή ακτινοβολία γεγονός που είναι λογικό δεδομένου της άμεσης συνάρτησης της ηλιακής ακτινοβολίας με τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών.



Σχήμα 5.22: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και παραγόμενης συνεχούς τάσης ανά ημέρα για το μονοαξονικό σύστημα τον Ιούνιο

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.22 η μεταβολή της παραγόμενης τάσης είναι πριονωτή χαρακτηριστική μορφή της συνεχούς τάσης.

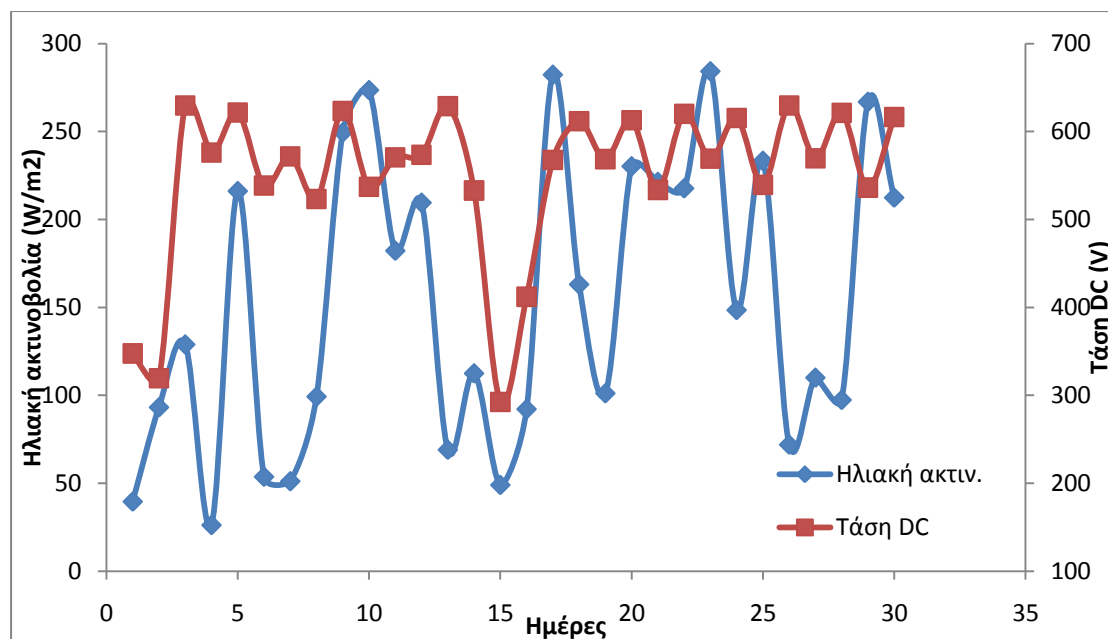
Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας όταν αυτή είναι ελάχιστη δηλαδή για τον Ιανουάριο φαίνεται στο Σχήμα 5.23.



Σχήμα 5.23: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασία της μονάδας για το μονοαξονικό σύστημα τον Ιανουάριο

Όπως είναι εμφανές από το σχήμα 5.23 η θερμοκρασία της μονάδας είναι μικρότερη τον Ιανουάριο σε σχέση με τον Ιούνιο όπως μικρότερη είναι και η ηλιακή ακτινοβολία.

Η επίδραση στην ενεργειακή παραγωγή και στο δυναμικό εξόδου για τον Ιανουάριο φαίνεται στο Σχήμα 5.24.

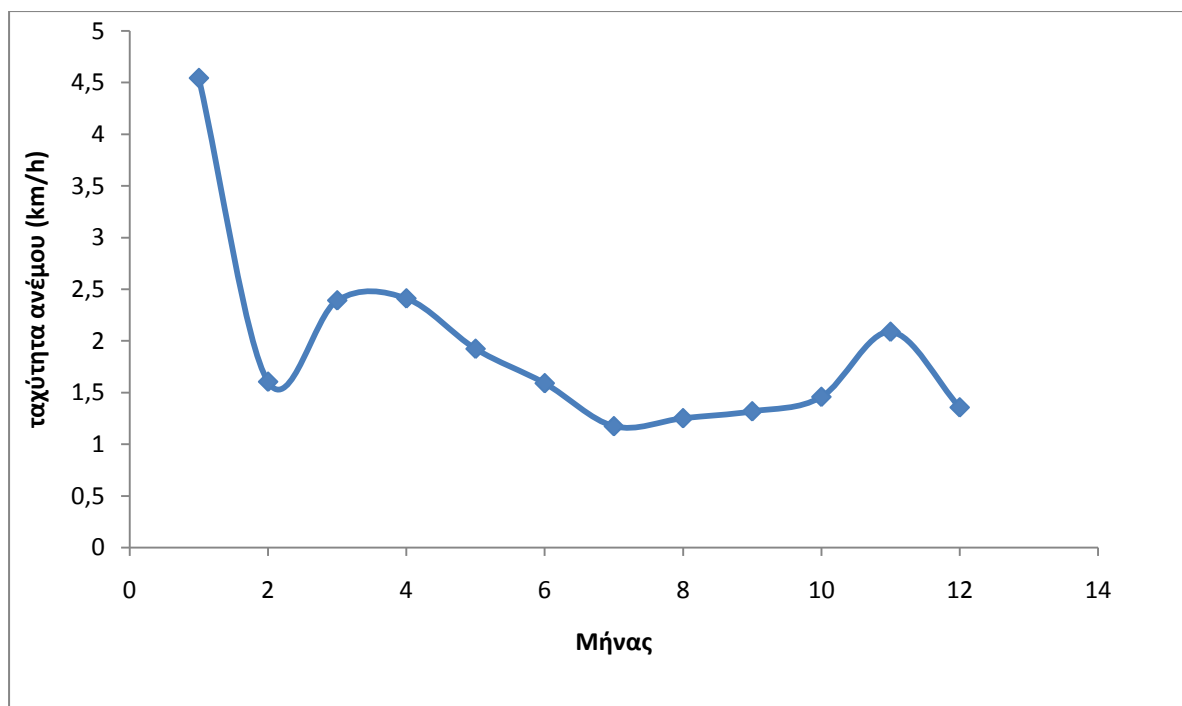


Σχήμα 5.24: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και παραγόμενης συνεχούς τάσης ανα ημέρα για το μονοαξονικό σύστημα τον Ιανουάριο

Η μεταβολή της παραγόμενης συνεχούς τάσης ακολουθεί και στην ελάχιστη ηλιοφάνεια τη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά παρόλα αυτά συνεχίζει να διατηρεί την προιωνωτή της μορφή.

5.2.2 Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα χαρακτηριστικά του μονοαξονικού συστήματος.

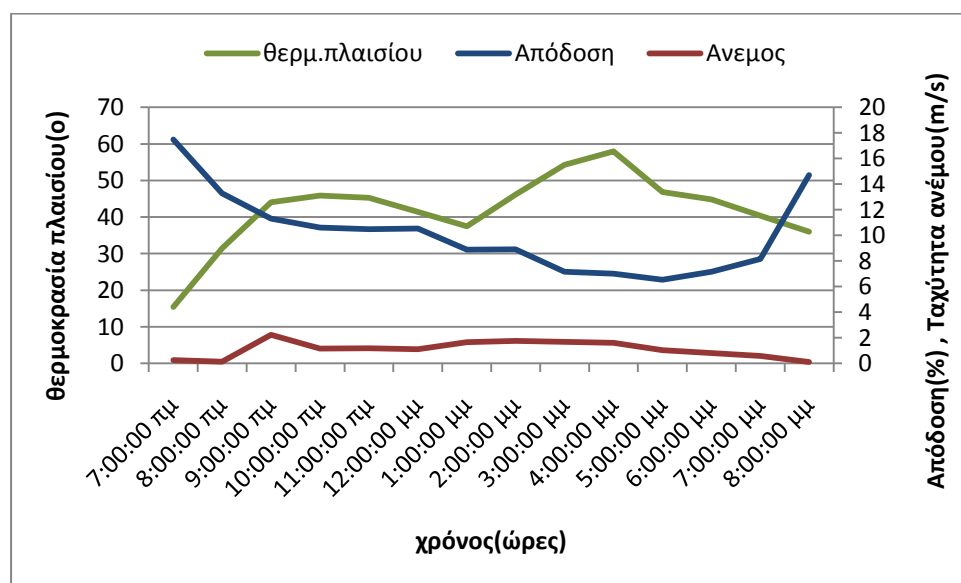
Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου για το μονοαξονικό σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 5.25.



Σχήμα 5.25: Μεταβολή της ταχύτητας του Ανέμου ανά μήνα για το μονοαξονικό σύστημα.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.25 η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση του Ιανουαρίου και ελάχιστη για τον μήνα Ιούλιο.

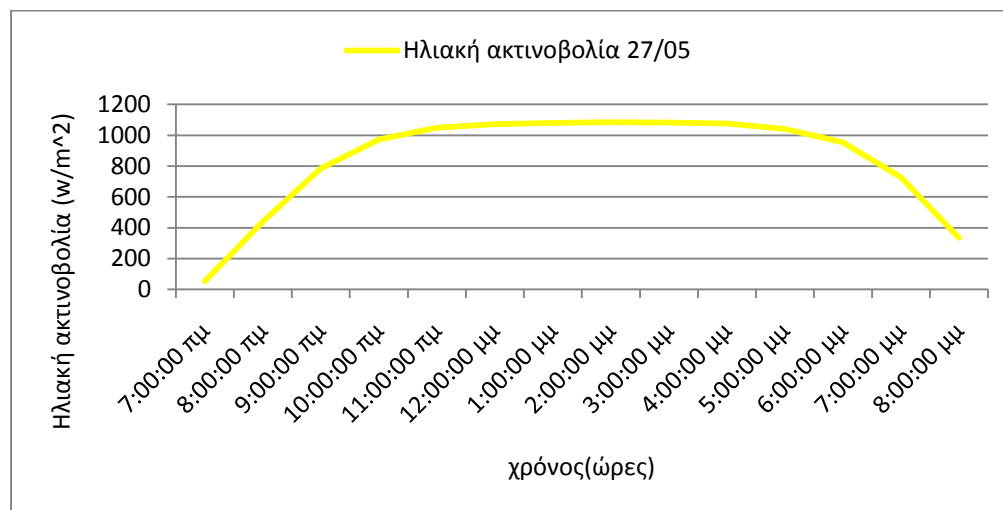
ΜΑΙΟΣ	27/5/2013						
Ημ/νια-ωρα	Εν. απόδοση	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτ/Κή θερμ.	Ταχύτ. ανέμου	Ταση DC	Παραγωγή
h	[KWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]	[V]	[%]
7:00:00 πμ	5,36	52,872	15,393	17,169	0,263	615,242	17,47877763
8:00:00 πμ	33,962	440,664	31,419	19,208	0,131	605,378	13,28794102
9:00:00 πμ	51,457	785,376	44,073	23,024	2,241	594,165	11,2963683
10:00:00 πμ	59,792	972,711	45,874	24,22	1,159	595,126	10,59817923
11:00:00 πμ	63,651	1047,955	45,253	25,145	1,179	612,247	10,47211984
12:00:00 μμ	65,463	1070,905	41,453	25,672	1,115	610,713	10,53942613
1:00:00 μμ	55,746	1080,875	37,513	26,485	1,658	596,891	8,892220942
2:00:00 μμ	55,973	1083,7	46,102	27,788	1,76	593,878	8,905155709
3:00:00 μμ	45,002	1082,413	54,233	27,788	1,694	597,626	7,168211687
4:00:00 μμ	43,689	1075,737	57,928	28,417	1,619	595,718	7,00225632
5:00:00 μμ	39,448	1041,686	46,821	28,207	1,037	595,071	6,529202956
6:00:00 μμ	39,634	953,556	44,795	27,686	0,806	603,999	7,166278935
7:00:00 μμ	34,41	728,308	40,378	26,078	0,59	623,169	8,145947347
8:00:00 μμ	28,574	334,721	36,001	24,914	0,109	611,314	14,71838255
9:00:00 μμ	3,205	17,728	21,501	21,905	0,075	608,42	31,17025084



Σχήμα 5.26: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας της μονάδας τον Μάιο

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.26 η συμπεριφορά της θερμοκρασίας πλαισίου της μονάδας δεν ακολουθεί τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου γεγονός που δείχνει ότι για χαμηλές ταχύτητες η θερμοκρασία της μονάδας είναι ασύνδετη με την ταχύτητα του ανέμου.

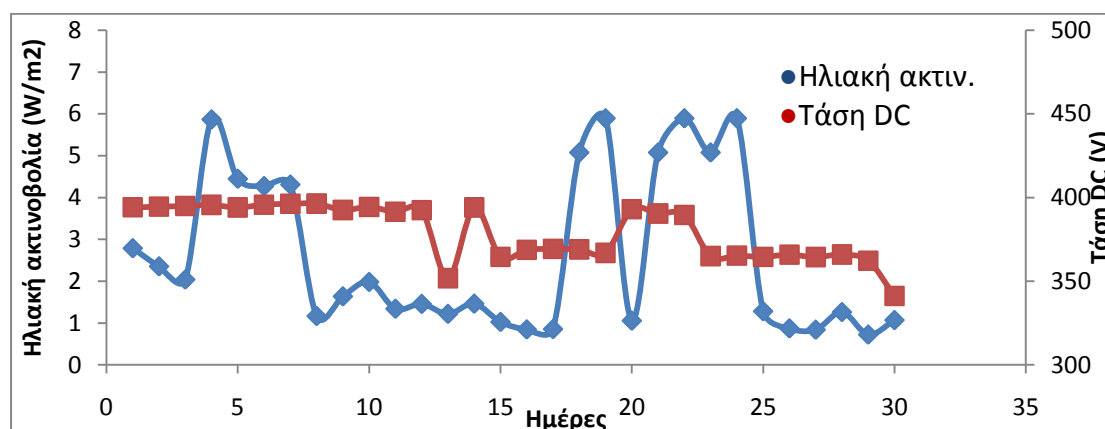
Στο Σχήμα 5.27 φαίνεται η συμπεριφορά της ηλιακής ακτινοβολίας την ίδια ημέρα



Σχήμα 5.27: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας στις 27 του μήνα Μάϊου

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ψηλή για εκείνη την ημέρα και γι'αυτο η θερμοκρασία πλαισίου στο σχ5.26 είναι σε μεγάλες θερμοκρασίες και σε συνάρτηση με τον χαμηλό άνεμο η παράγωγη είναι μικρή

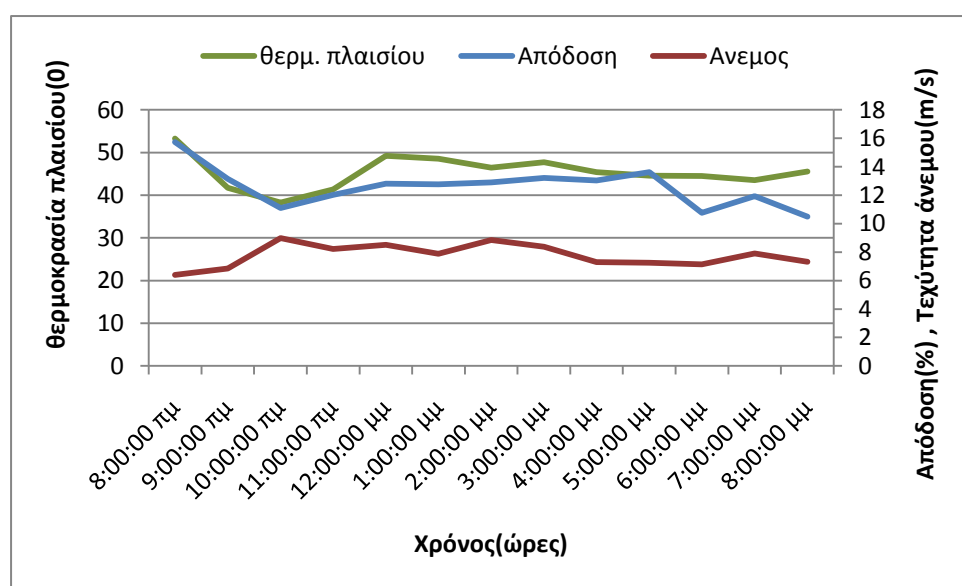
Η μεταβολή της παραγόμενης τάσης DC από το σύστημα και η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται στο Σχήμα 5.31.



Σχήμα 5.28: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της παραγόμενης τάσης του συστήματος μονοαξονικού φωτοβολταϊκού τον Αύγουστο

Στο Σχήμα 5.28 φαίνεται ότι η παραγόμενη τάση δεν ακολουθεί τη συμπεριφορά της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου σε όλο το φάσμα αλλά παρουσιάζει σταθερότητα για τις πρώτες 10 ημέρες λειτουργίας του συστήματος και από εκεί και πέρα ακολουθεί αυξομειωτική τάση. Η αστάθεια αυτή στο δυναμικό DC οφείλεται κατά ένα μέρος στην ταχύτητα του ανέμου και κατά το υπόλοιπο στις υπόλοιπες αστάθειες λειτουργίας του συστήματος.

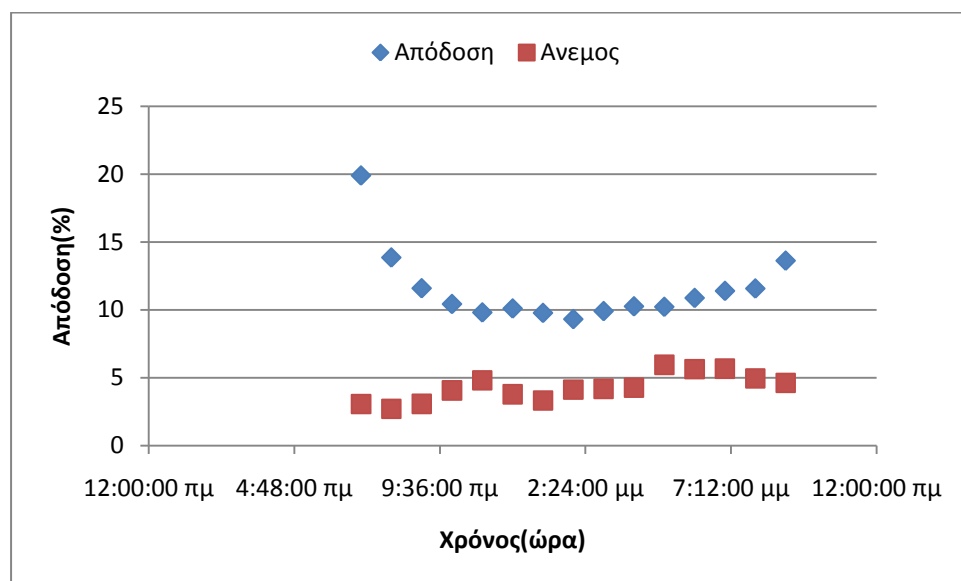
Η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζεται τον Αύγουστο και η θερμοκρασία πλαισίου και η παράγωγή μεταβάλλεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.29.



Σχήμα 5.29: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας της μονάδας τον Αύγουστο.

Για μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου η θερμοκρασία πλαισίου είναι σε χαμηλά επίπεδα με αποτέλεσμα να έχουμε υψηλές τιμές στην παράγωγή της μονάδας στο μονό αξονικό σύστημα.

Στο Σχήμα 5.31 φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και η παραγόμενη τάση του συστήματος.

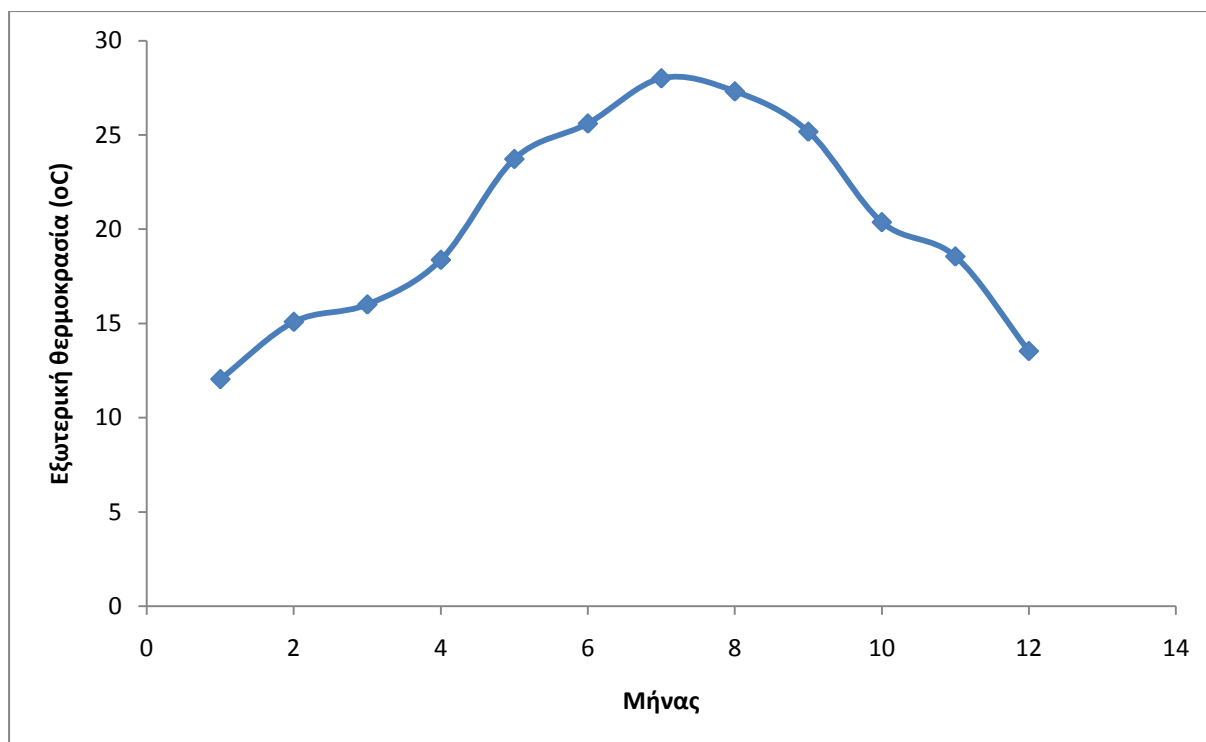


Σχήμα 5.30: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της παραγόμενης τάσης του συστήματος μονοαξονικού φωτοβολταϊκού τον Ιούνιο

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.33 η παραγόμενη τάση εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου .. Κατά συνέπεια η ταχύτητα του ανέμου έχει επίδραση στο δυναμικό του συστήματος όταν αυτή είναι υψηλή. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το μονοαξονικό σύστημα είναι περιστρεφόμενο οπότε όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει στο σύστημα και στην παραγόμενη τάση.

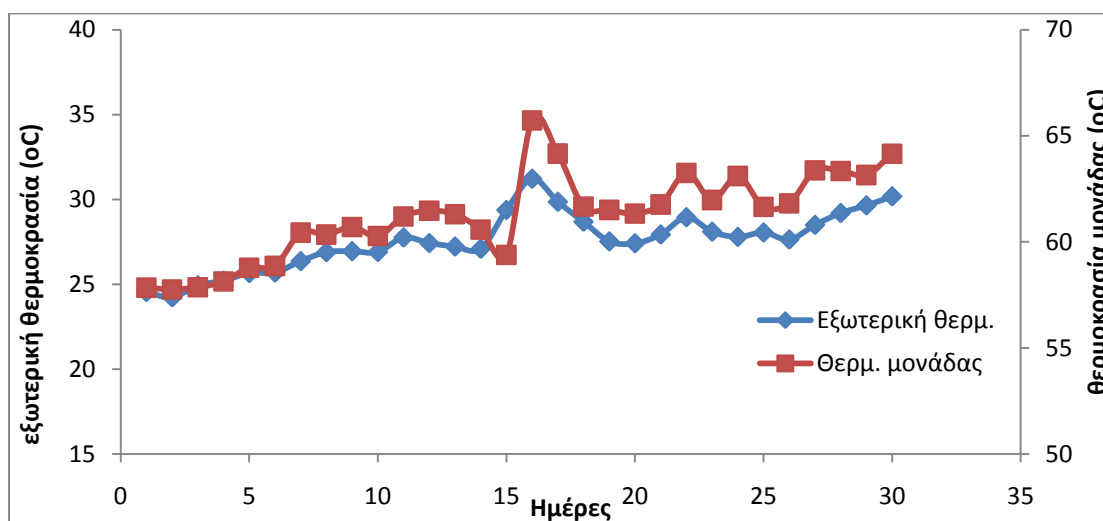
5.2.3 Επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του μονοαξονικού συστήματος.

Η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας στον τόπο λειτουργίας του μονοαξονικού συστήματος ανάλογα με το μήνα λειτουργίας φαίνεται στο Σχήμα 5.34.



Σχήμα 5.31: Η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας ανά μήνα λειτουργίας για το μονοαξονικό σύστημα φωτοβολταϊκού.

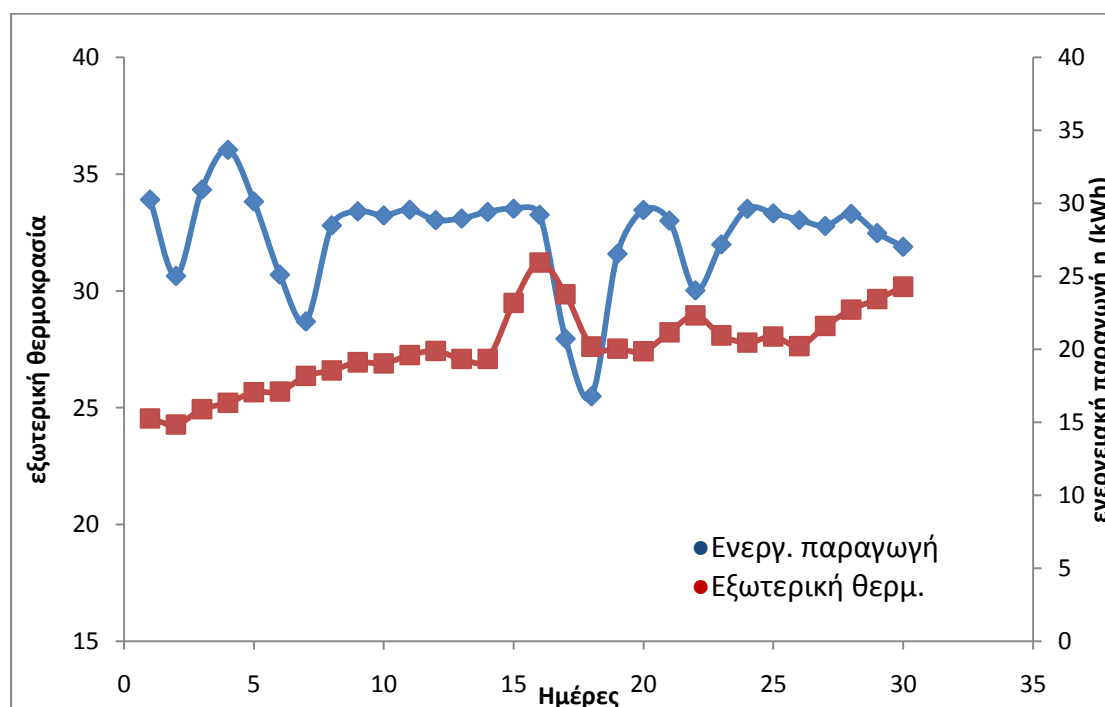
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.32 η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία που σχετίζεται άμεσα με την ηλιακή ακτινοβολία του συστήματος παρουσιάζει μέγιστη τιμή για το μήνα Ιούλιο. Η μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας της μονάδας και της μεταβολής της εξωτερικής θερμοκρασίας φαίνεται στο Σχήμα 5.33 για κάθε ημέρα του Ιουλίου.



Σχήμα 5.32: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας της μονάδας το μήνα Ιούλιο.

Από το Σχήμα 5.33 φαίνεται πως η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας της μονάδας είναι άμεσα συνειφασμένες δεδομένου ότι παρουσιάζουν ταυτόσιμες μεταβολές.

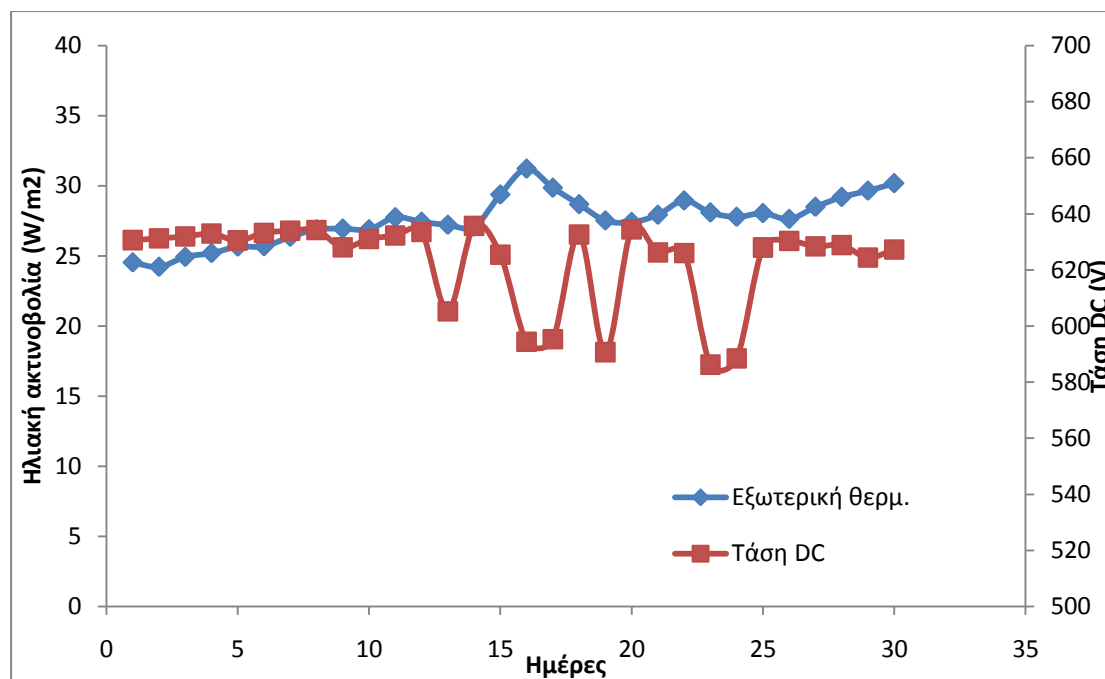
Στο Σχήμα 5.34 φαίνεται η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της ενεργειακής απόδοσης.



Σχήμα 5.33: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της ενεργειακής απόδοσης για το μονοαξονικό σύστημα το μήνα Ιούλιο.

Από το σχήμα φαίνεται πως η παραγωγή ενέργειας είναι ανεξάρτητη της εξωτερικής θερμοκρασίας αφού η παραγωγή ενέργειας μεταβάλλεται σημαντικά αλλά η εξωτερική θερμοκρασία παραμένει σταθερή σε όλο σχεδόν το μήνα.

Στο Σχήμα 5.35 φαίνεται η μεταβολή της παραγόμενης τάσης για το μονοαξονικό σύστημα το μήνα Ιούλιο.



Σχήμα 5.34: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της παραγόμενης τάσης για το μονοαξονικό σύστημα το μήνα Ιούλιο.

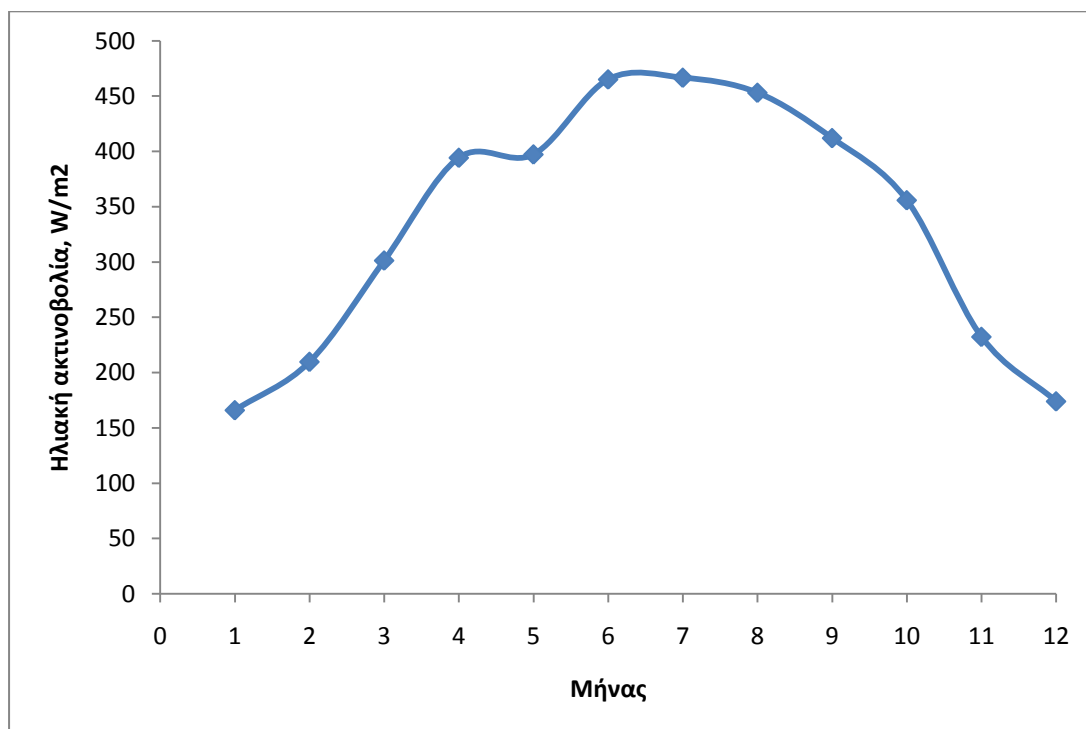
Όπως φαίνεται από το σχήμα και η παραγόμενη τάση είναι ανεξάρτητη της εξωτερικής θερμοκρασίας αφού η δεύτερη παραμένει σταθερή και δεν μεταβάλλεται ανάλογα με την παραγόμενη τάση..

5.4 Διαξονικό Σύστημα φωτοβολταϊκού

Το διαξονικό σύστημα αποτελεί μια νέα γενιά φωτοβολταϊκού συστήματος που θεωρητικά παράγει μεγαλύτερες αποδόσεις σε σχέση με τα σταθερά και τα μονοαξονικά συστήματα. Το συγκεκριμένο σύστημα εξετάστηκε στην περιοχή Μοίρες της Κρήτης.

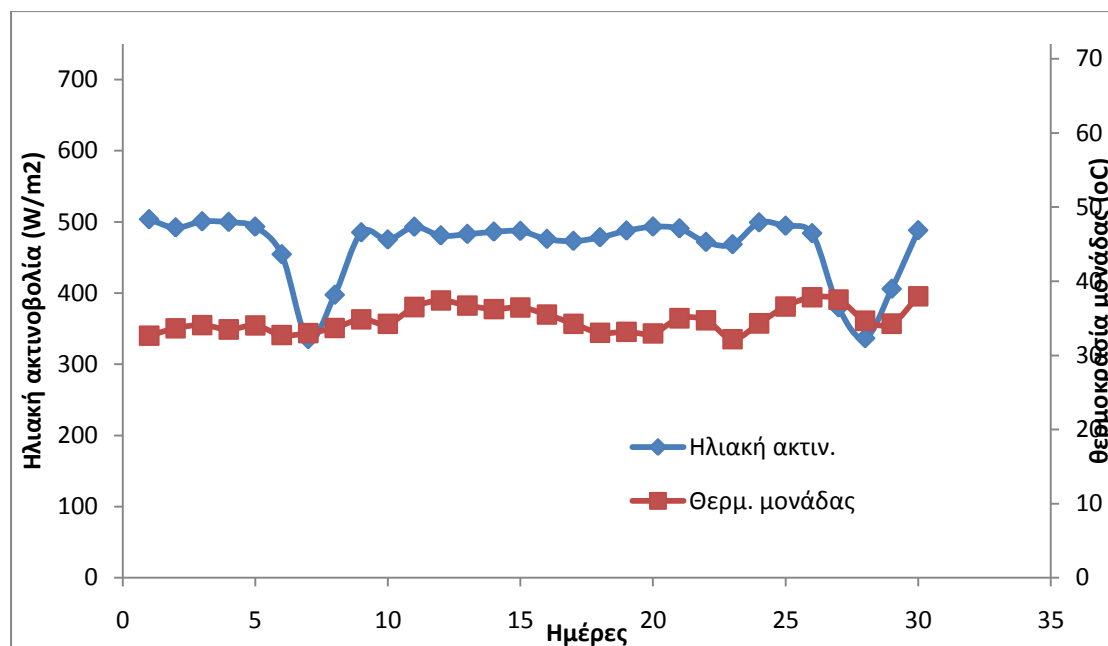
5.4.1 Επίδραση της έντασης ηλιακής ισχύος στα χαρακτηριστικά του διαξονικού συστήματος

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με το μήνα λειτουργίας του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 5.37.



Σχήμα 5.35:Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για το διαξονικό σύστημα ανά μήνα λειτουργίας.

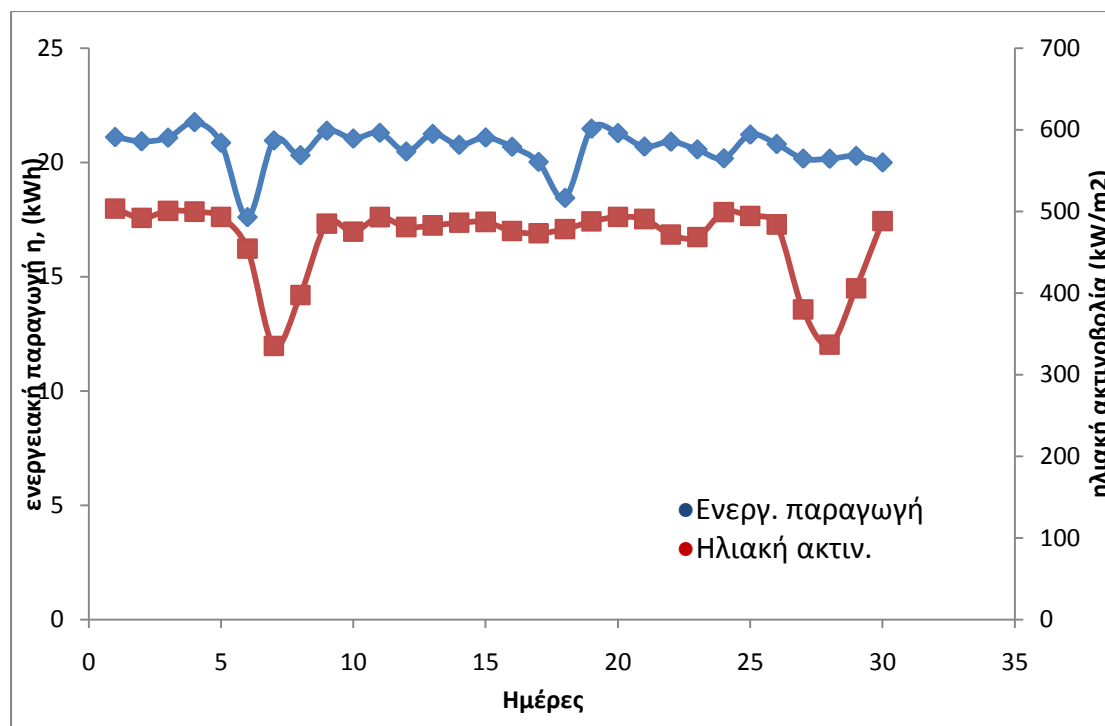
Όπως φαίνεται από το σχήμα η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μέγιστη ένταση το μήνα Ιούλιο και ελάχιστη τον Ιανουάριο. Η θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας παρουσιάζεται στο σχήμα 5.35 για το μήνα Ιούλιο.



Σχήμα 5.36: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας λειτουργίας της μονάδας διαξονικού συστήματος τον μήνα Ιούλιο.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα στο διαξονικό σύστημα η θερμοκρασία της μονάδας παρουσιάζει ελάχιστες διακυμάνσεις κατά την περίοδο που η ηλιακή ακτινοβολία είναι σταθερή. Σε γενικές γραμμές μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Αυτό σημαίνει πως στο διαξονικό σύστημα η θερμοκρασία της μονάδας θεωρείται σταθερή.

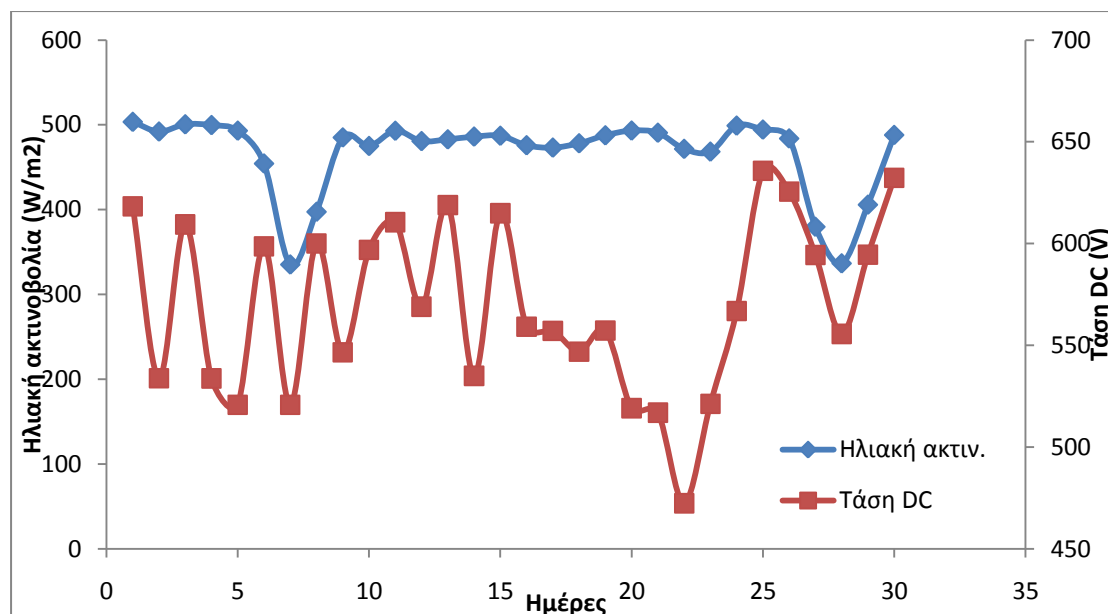
Στο σχήμα 5.37 φαίνεται η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της ενεργειακής απόδοσης για το διαξονικό σύστημα



Σχήμα 5.37:Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής παραγωγής για το διαξονικό σύστημα και την ηλιακή ακτινοβολία.

Όπως φαίνεται από το σχήμα η παραγωγή σαφώς επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία και ακολουθεί ταυτόσημες μεταβολές για το πρώτο διάστημα της λειτουργίας του συστήματος ενώ μετά τις πρώτες δεκαπέντε μέρες η παραγωγή παρουσιάζει ένα ελάχιστο και στη συνέχεια μένει σταθερή.

Στο Σχήμα 5.38 φαίνεται η μεταβολή της ηλιακής ενέργειας και του παραγόμενου συνεχούς δυναμικού του συστήματος.

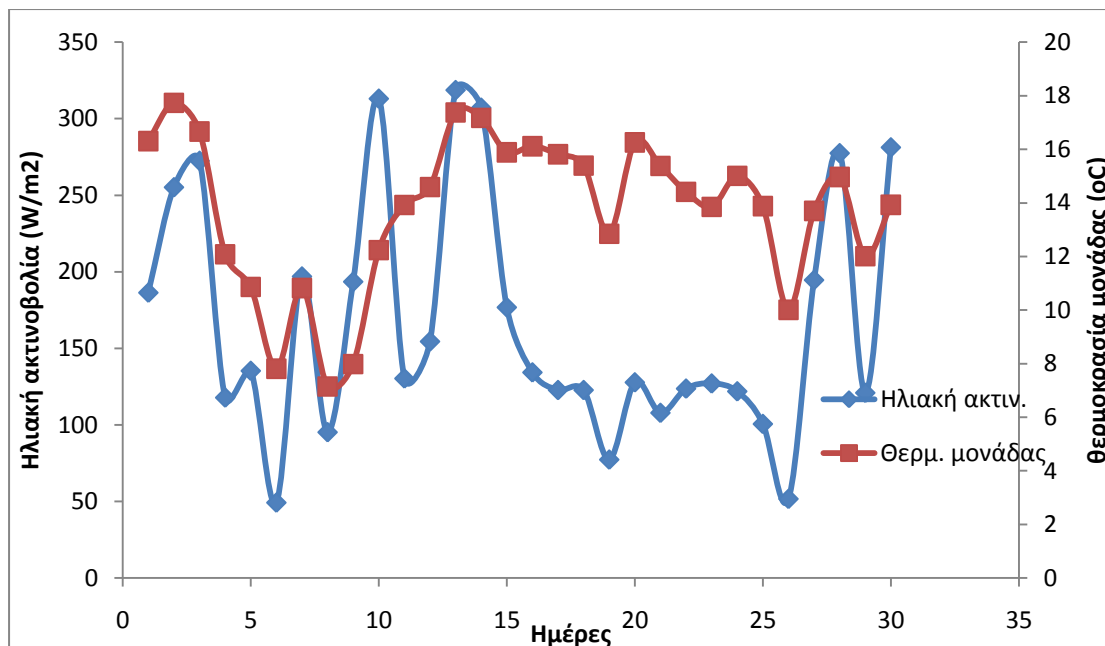


Σχήμα 5.38: Μεταβολή του παραγόμενου συνεχούς δυναμικού και της ηλιακής ακτινοβολίας για το διαξονικό σύστημα τον Ιούλιο.

Το συνεχές δυναμικό είναι σταθερό όπως φαίνεται από το σχήμα για τις πρώτες ημέρες λειτουργίας και από εκεί και πέρα παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις.

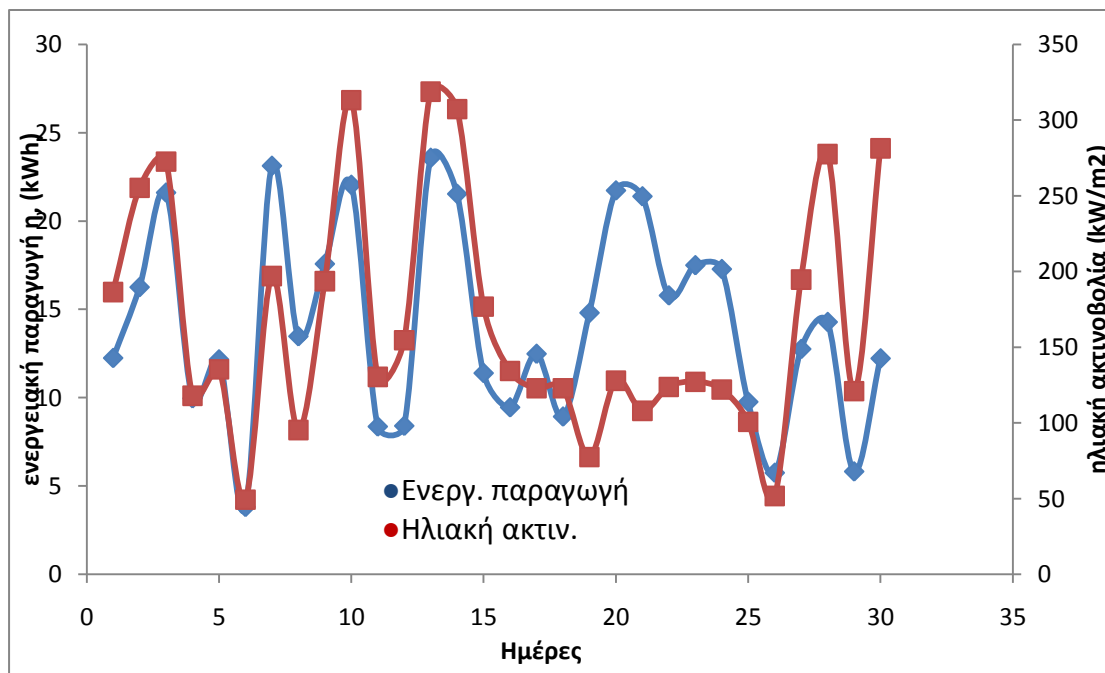
Η ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζεται το μήνα Ιανουάριο.

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Ιανουάριο φαίνεται στο Σχήμα 5.39



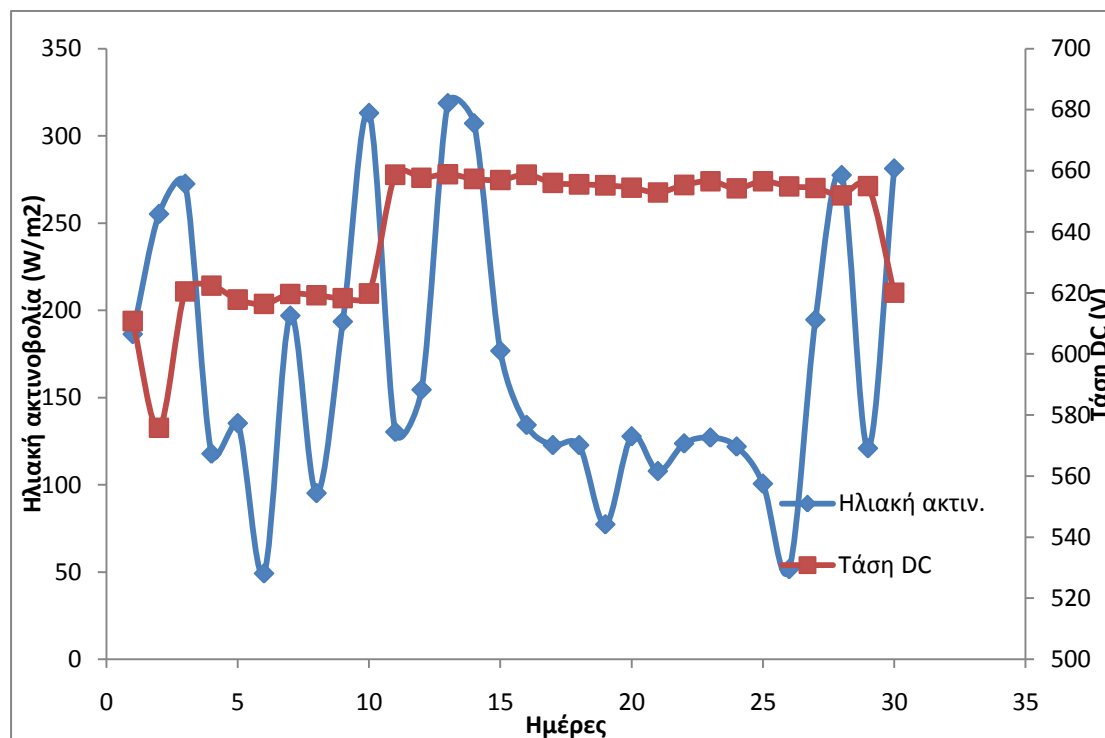
Σχήμα 5.39: Μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας μονάδας για το διαζονικό σύστημα φωτοβολταϊκών τον Ιανουάριο.

Η θερμοκρασία της μονάδας για το πρώτο δεκαήμερο λειτουργίας συμβαδίζει με τη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και από τη δωδέκατη μέρα και μετά αποκτάει σταθερή τιμή.



Σχήμα 5.40 Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της ενεργειακής απόδοσης για το διαζονικό σύστημα τον Ιανουάριο

Η ενεργειακή παραγωγή συμβαδίζει στο μεγαλύτερο μέρος με την ηλιακή ακτινοβολία επιβεβαιώνοντας επίσης την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

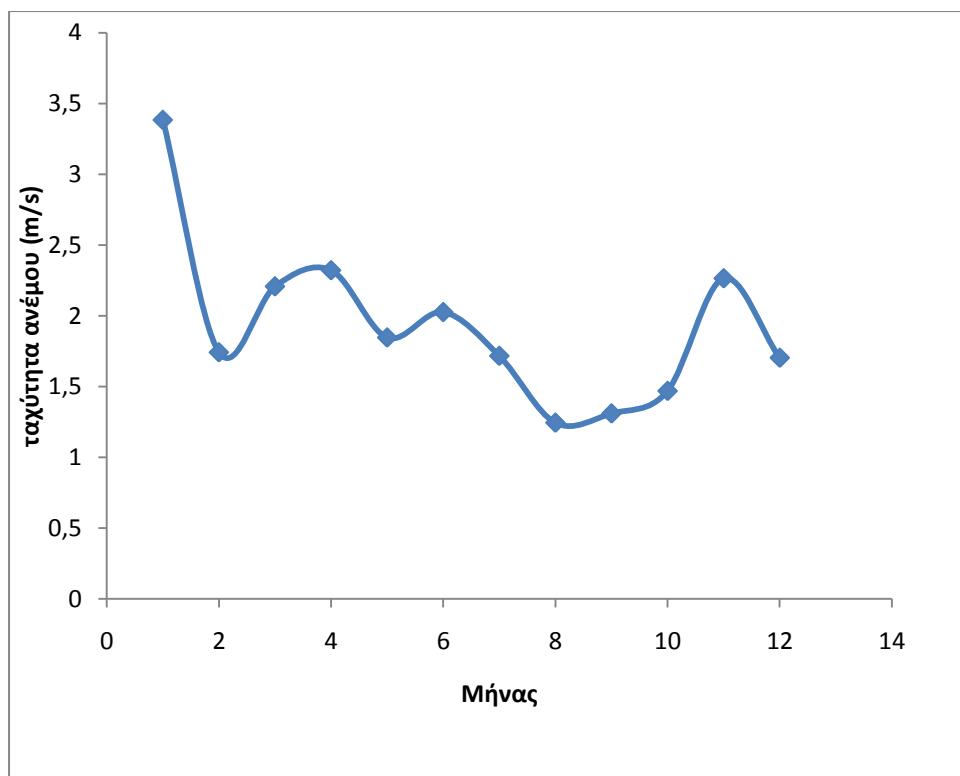


Σχήμα 5.41: Μεταβολή της τάσης συνεχούς ρεύματος και της ηλιακής ακτινοβολίας για το διαζονικό σύστημα το μήνα Ιανουάριο.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.41 φαίνεται ότι είναι συνεχής και σταθερή η παραγόμενη τάση και είναι ανεξάρτητη από την ηλιακή ακτινοβολία.

5.4.2 Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα χαρακτηριστικά του διαζονικού συστήματος.

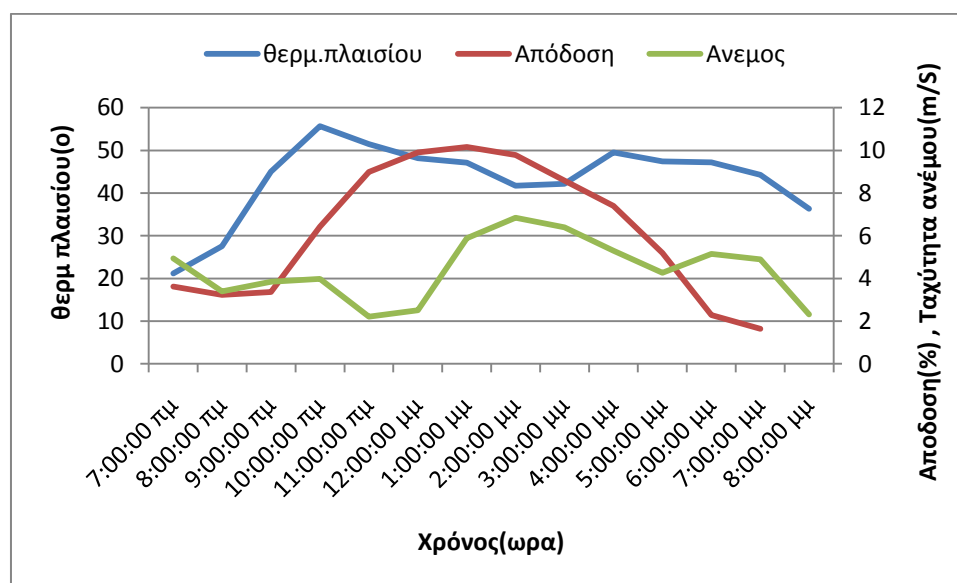
Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα για το διαζονικό σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 5.42.



Σχήμα 5.42: Η μεταβολή του ανέμου ανά μήνα για το διαξονικό σύστημα.

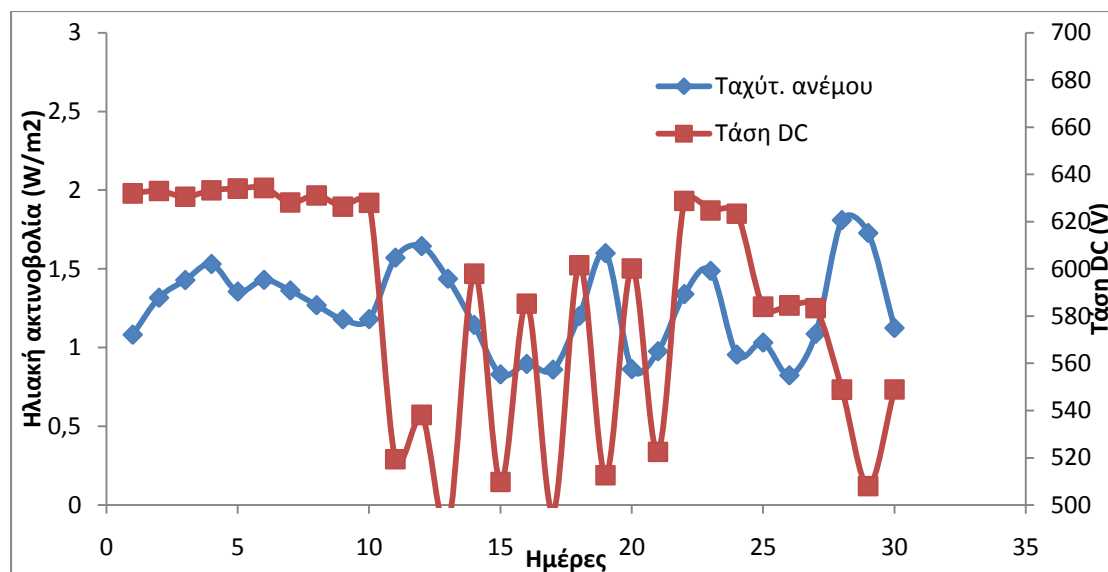
Η μεταβολή της ταχύτητας παρουσιάζεται με τη μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης στο Σχήμα 5.43.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	28/8/2013						
Ημ/νια-ωρα	Εν. απόδοση	Ηλιακή ακτιν.	Θερμ. μονάδας	Εξωτ/Κή θερμ.	Ταχύτ. ανέμου	Ταση DC	Παραγωγή
h	[KWh]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[m/s]	[V]	[%]
8:00:00 πμ	3,34	159,056	27,554	23,963	3,395	581,427	3,620498874
9:00:00 πμ	11,06	591,121	44,982	27,667	3,852	602,041	3,225898846
10:00:00 πμ	16,91	866,742	55,703	31,444	3,984	607,754	3,363765967
11:00:00 πμ	37,41	1003,681	51,486	32,924	2,215	622,845	6,426344625
12:00:00 μμ	54,79	1051,581	48,169	33,274	2,508	630,551	8,983189811
1:00:00 μμ	61,43	1069,33	47,117	35,046	5,88	639,343	9,904687337
2:00:00 μμ	63,24	1073,105	41,735	36,109	6,838	646,456	10,16065369
3:00:00 μμ	60,18	1060,193	42,153	37,714	6,387	651,001	9,786767191
4:00:00 μμ	52,08	1045,646	49,555	38,14	5,301	652,309	8,587332945
5:00:00 μμ	41,19	959,99	47,446	37,579	4,262	651,15	7,39770637
6:00:00 μμ	25,16	836,086	47,165	34,821	5,143	651,15	5,188378988
7:00:00 μμ	7,06	533,11	44,259	35,529	4,901	645,854	2,283283711
8:00:00 μμ	0,96	100,623	36,31	34,058	2,314	643,316	1,644924534



Σχήμα 5.43: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου και της ενεργειακής παραγωγής της μονάδας για το διαξονικό σύστημα τον Αύγουστο.

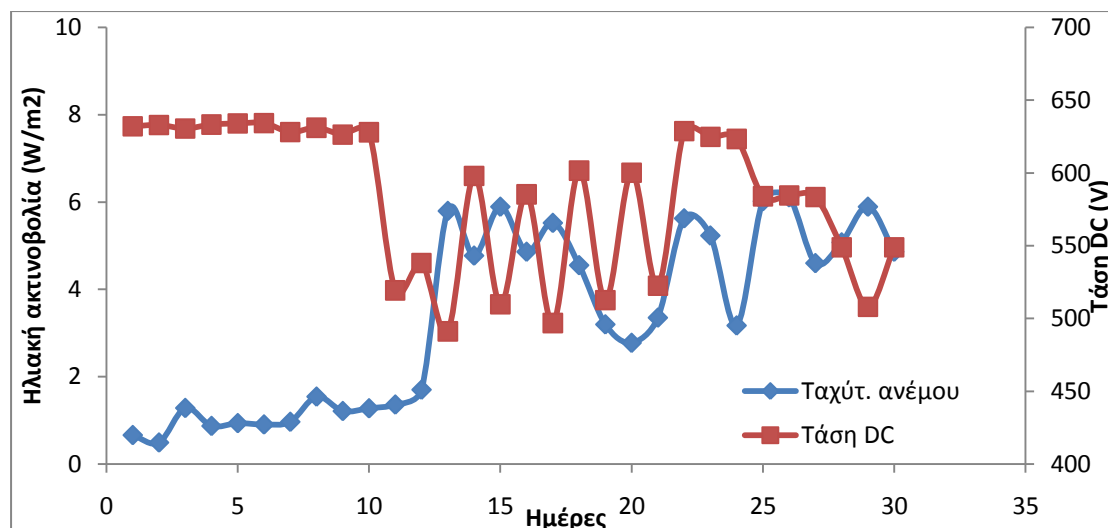
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.42 η παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζοντας μεγάλες διακυμάνσεις γεγονός που οφείλεται στον αέρα που ψήχει τις κυψέλες .



Σχήμα 5.44: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου και της παραγόμενης συνεχούς τάσης της μονάδας για το διαξονικό σύστημα τον Αύγουστο.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.44 η ταχύτητα του ανέμου δημιουργεί κυμαινόμενη συνεχή τάση και για τις πρώτες 10 ημέρες λειτουργίας του συστήματος η τάση είναι σταθερή αλλά από εκεί και έπειτα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς την ταχύτητα του ανέμου.

Η μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου για την περιοχή εγκατάστασης του διαξονικού συστήματος παρατηρείται τον Ιανουάριο.

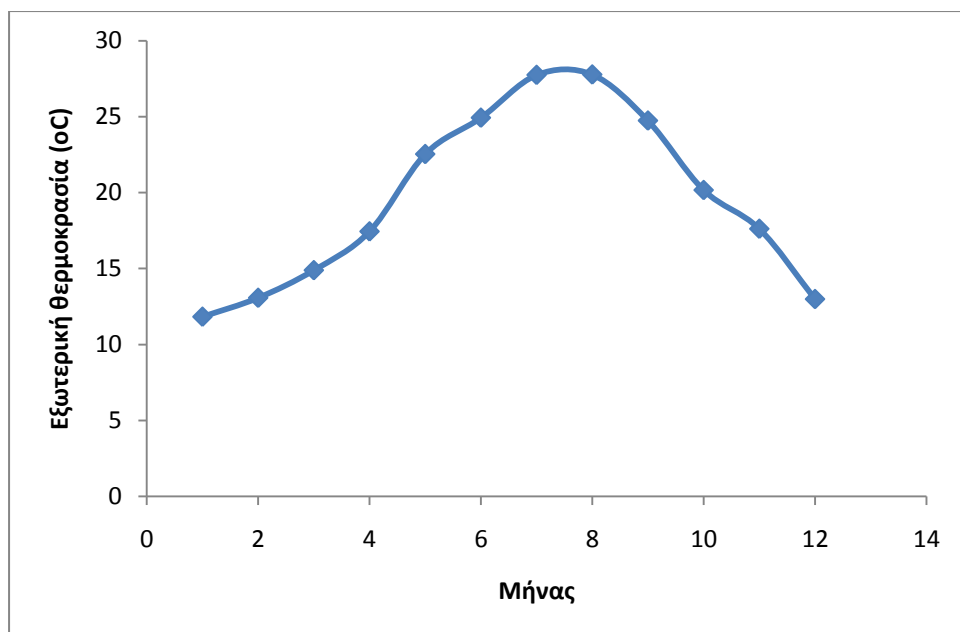


Σχήμα 5.45: Μεταβολή ταχύτητας ανέμου και της παραγόμενης συνεχούς τάσης της μονάδας για το διαξονικό σύστημα τον Ιανουάριο.

Από το σχήμα 5.45 φαίνεται ότι η παραγόμενη συνεχής τάση επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου αφού παρουσιάζει μεταβολές ανάλογες με αυτές της ταχύτητας.

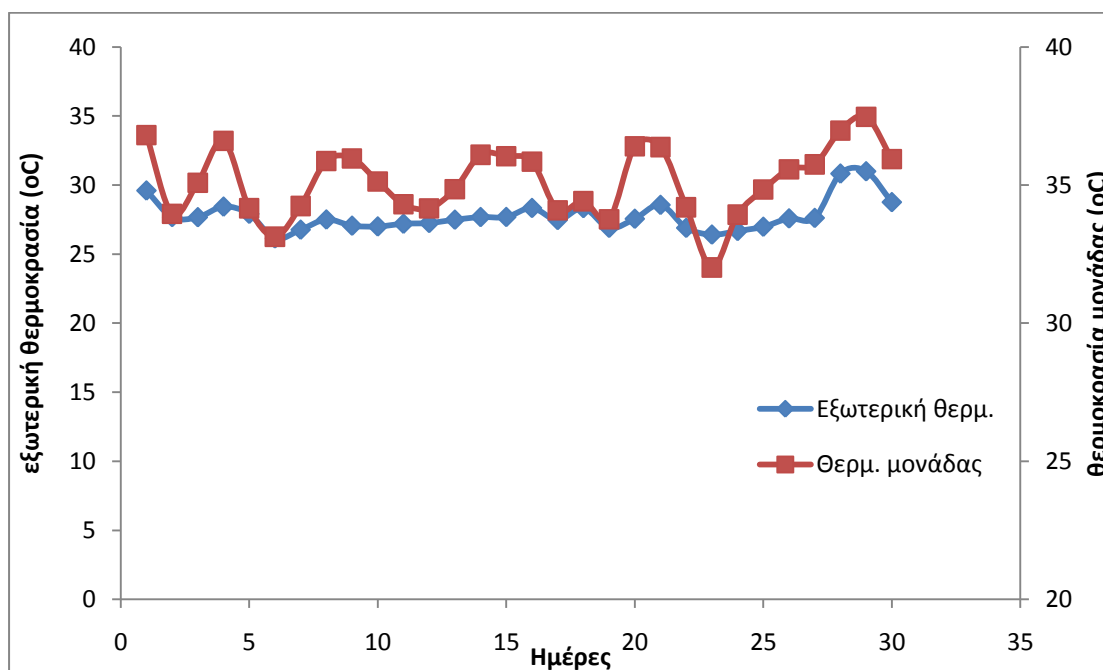
5.4.3 Επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά του διαξονικού συστήματος.

Η εξωτερική θερμοκρασία ανά μήνα λειτουργίας του διαξονικού συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 5.46.



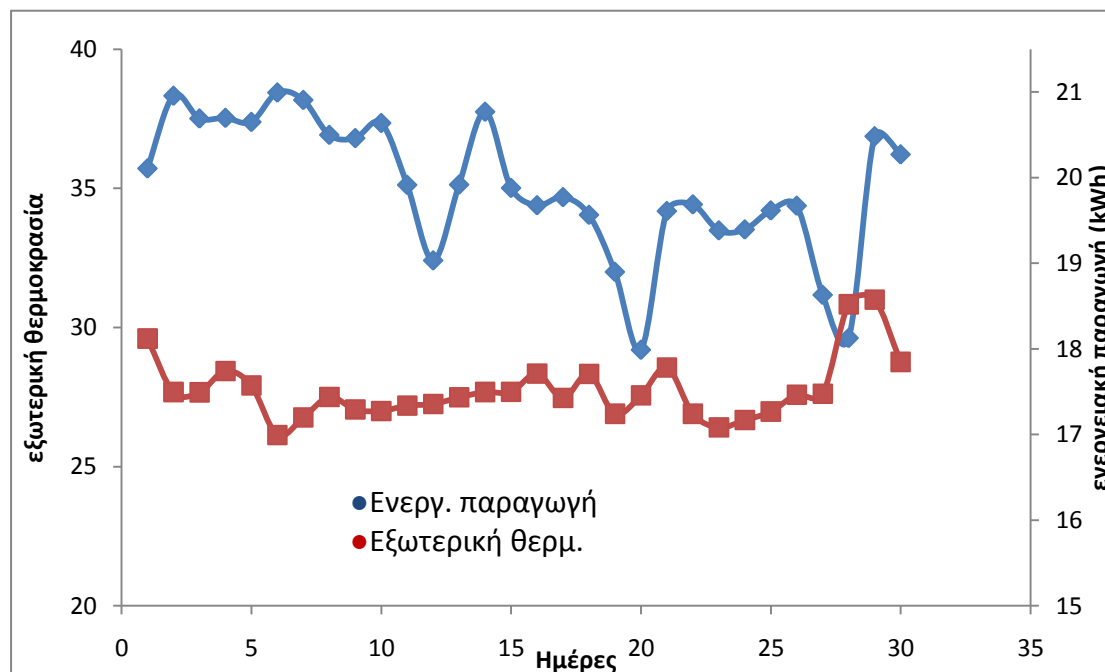
Σχήμα 5.47: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας στην περιοχή εγκατάστασης του διαξονικού συστήματος.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.49 η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία στην περιοχή παρατηρείται το μήνα Αύγουστο.



Σχήμα 5.48: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας της μονάδας τον μήνα Αύγουστο για το διαξονικό σύστημα.

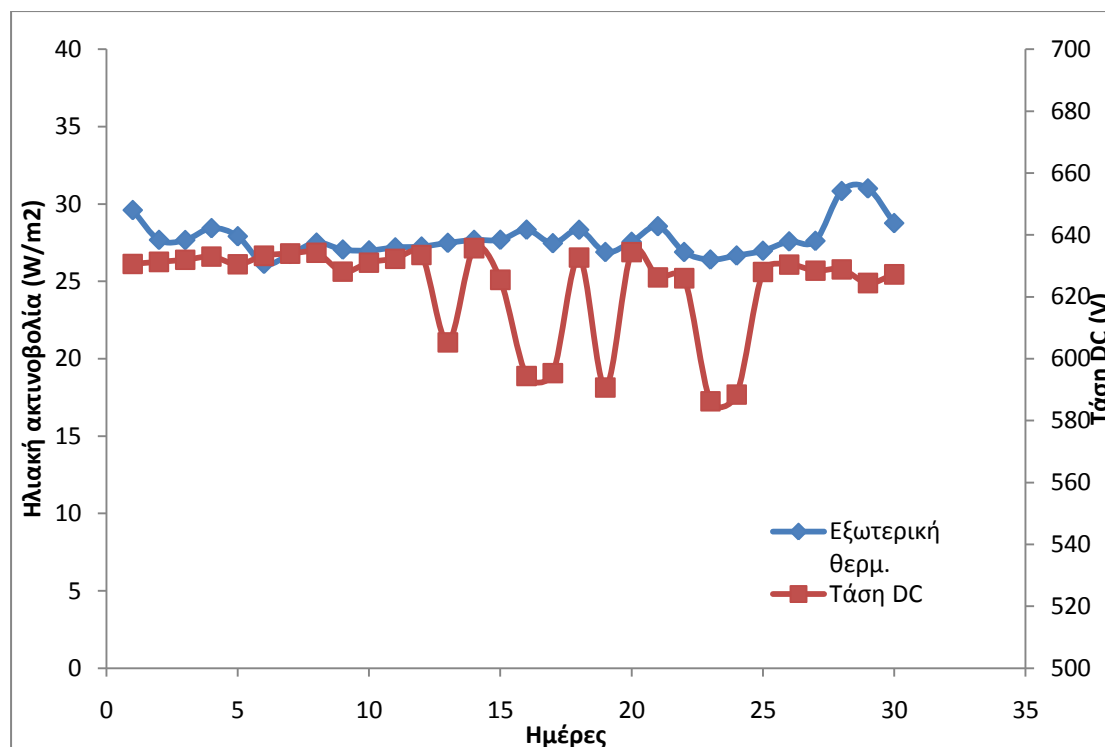
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.48 η θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας είναι ανεξάρτητη της εξωτερικής θερμοκρασίας αφού παρά το γεγονός πως αυτή παραμένει σταθερή η θερμοκρασία της μονάδας μεταβάλλεται.



Σχήμα 5.49: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της ενεργειακής απόδοσης της μονάδας τον μήνα Αύγουστο για το διαξονικό σύστημα

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.49 και η παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με την θερμοκρασία της μονάδας και είναι ανεπηρέαστη από την εξωτερική θερμοκρασία.

Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της συνεχούς τάσης η οποία όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.50 παρουσιάζει μια μεταβαλλόμενη συμπεριφορά παρά το γεγονός πως είναι σταθερή σχεδόν η εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής.

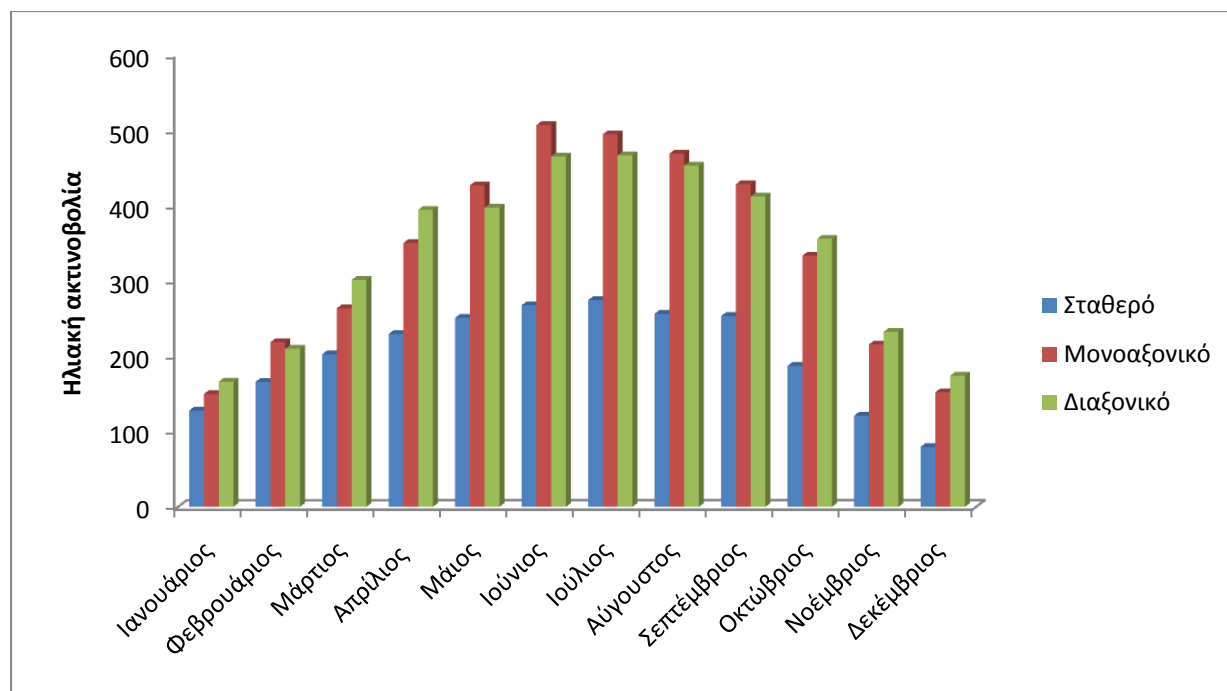


Σχήμα 5.50: Μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας και της παραγόμενης συνεχούς τάσης της μονάδας τον μήνα Αύγουστο για το διαξονικό σύστημα

5.5 Σύγκριση των τριών συστημάτων

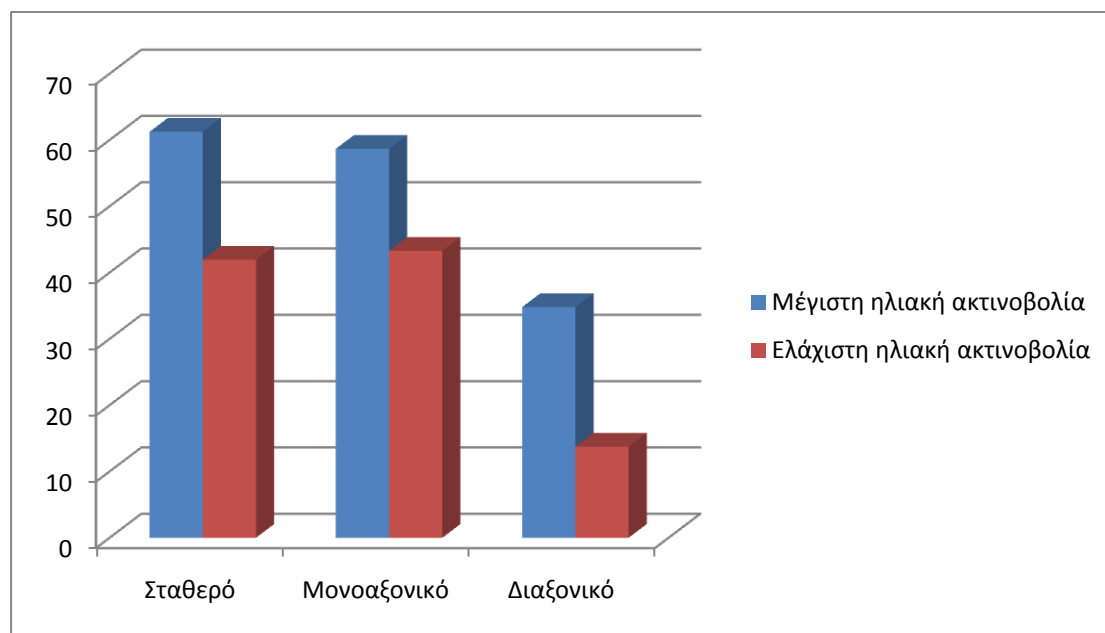
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος εξαρτώνται από τις εξωτερικές συνθήκες και ιδιαίτερα από την ηλιακή ακτινοβολία την ένταση της ταχύτητας του ανέμου και την εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.51 παρά το γεγονός πως και τα τρία συστήματα βρίσκονται στην Κρήτη η ένταση της Ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαφορετική ανά μήνα λειτουργίας τους. Την μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας παρουσιάζει η περιοχή εγκατάστασης του μονοαξονικού συστήματος εξαιτίας των γεωγραφικών της συντεταγμένων που είναι πιο νότια από τις άλλες περιοχές.



Σχήμα 5.51: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε εξεταζόμενο σύστημα. Σταθερο-περιοχή χερσονήσου, διαξονικό- Περιοχή Μοίρες, μονοαξονικό – Περιοχή Κεφαλά.

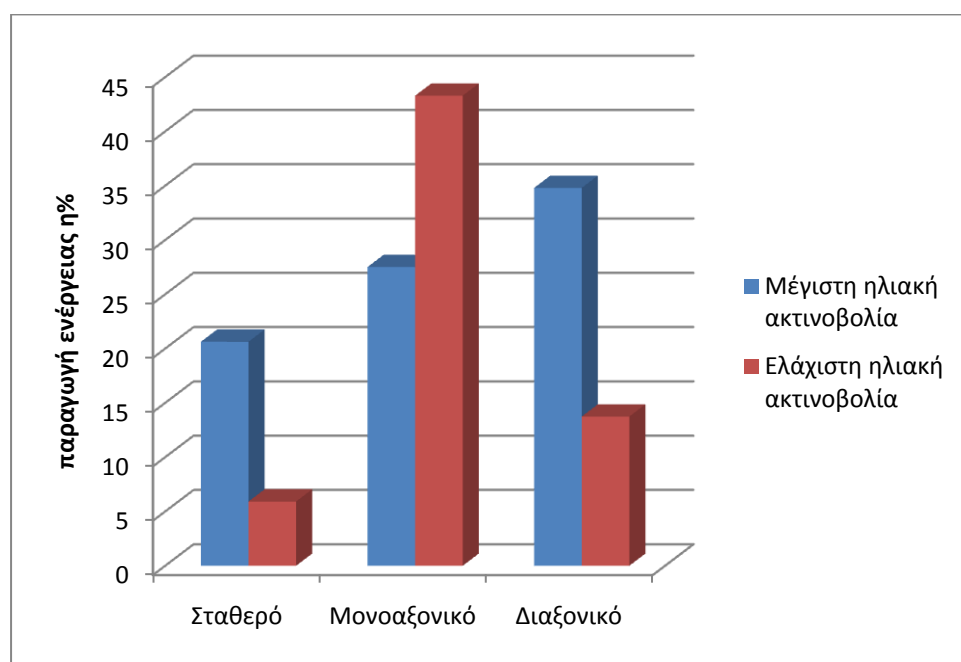
Η θερμοκρασία λειτουργίας για κάθε σύστημα στις μέγιστες και ελάχιστες συνθήκες ηλιοφάνειας φαίνεται στο Σχήμα 5.53.



Σχήμα 5.52: Θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας για τα τρία συστήματα για μέγιστες και ελάχιστες συνθήκες ηλιοφάνειας

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.55 τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας την παρουσιάζει το μονοαξονικό σύστημα.

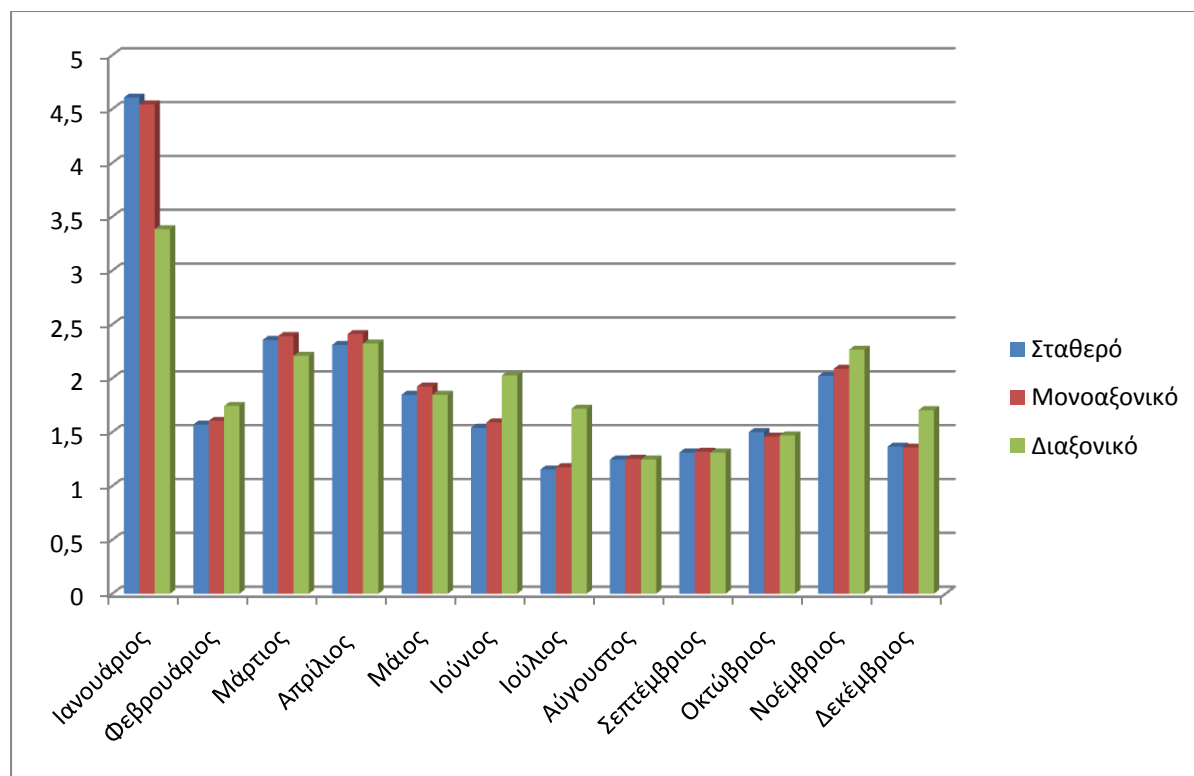
Όσον αφορά στη μέση παραγωγή ενέργειας των τριών συστημάτων για μέγιστη και ελάχιστη ηλιοφάνεια τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 5.53.



Σχήμα 5.53: Μέση παραγωγή ενέργειας για τα τρία συστήματα

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.53 για τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία το διαξονικό σύστημα έχει καλύτερη παραγωγή ενέργειας ενώ για συνθήκες ελάχιστης ακτινοβολίας το μονοαξονικό υπερτερεί ως προς την απόδοση.

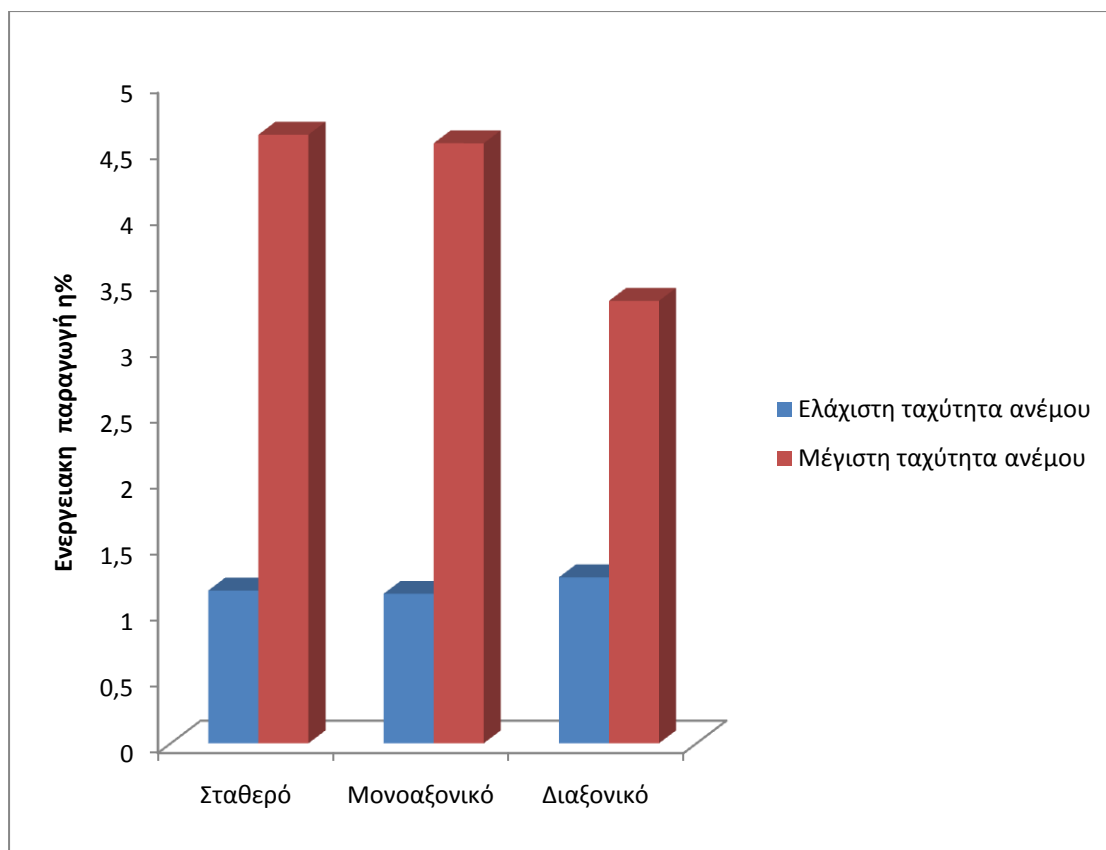
Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου για τα τρία συστήματα φαίνεται στο Σχήμα 5.54



Σχήμα 5.54: Ταχύτητα ανέμου για τα τρία συστήματα Σταθερο-περιοχή χερσονήσου, διαξονικό- Περιοχή Μοίρες, μονοαξονικό – Περιοχή Κεφαλά

Η ταχύτητα ανέμου παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά και για τις τρεις περιοχές με μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου να παρουσιάζονται και στις τρεις περιοχές το Γενάρη και ελάχιστες τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

Η ενεργειακή απόδοση φαίνεται στο σχήμα 5.55.



Σχήμα 5.55: Παραγωγή ενέργειας για συνθήκες μέγιστης απόδοσης και ελάχιστης απόδοσης

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.55 στις συνθήκες ελάχιστης ταχύτητας ανέμου το διαξονικό σύστημα έχει μέγιστη ενεργειακή απόδοση ενώ στις μέγιστες ταχύτητες το μονοαξονικό και σταθερό σύστημα πλεονεκτούν με ισοδύναμες αποδόσεις.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάστηκαν τρία συστήματα εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος σε τρεις διαφορετικές περιοχές του νησιού Κρήτης. Στις περιοχές αυτές επικρατούν διαφορετικές καιρικές συνθήκες ηλιοφάνειας και ταχύτητας ανέμου αλλά και εξωτερικής θερμοκρασίας.

Όπως αποδείχθηκε από τη μελέτη της θερμοκρασίας λειτουργίας της μονάδας και της ενεργειακής απόδοσης τα τρία συστήματα επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες ως προς την απόδοση λειτουργίας τους.

Η εξωτερική θερμοκρασία στον τόπο εγκατάστασης του συστήματος φαίνεται πως δεν επηρεάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του διαξονικού και του σταθερού συστήματος ενώ έχει μικρή επίδραση στα χαρακτηριστικά του μονοαξονικού.

Η διαφορά στις αποδόσεις των συστημάτων οφείλεται εκτός από τις καιρικές συνθήκες και στον τρόπο λειτουργίας τους και στην τεχνολογία τους. Το μονοαξονικό και διαξονικό σύστημα είναι κινούμενα συστήματα και για αυτό έχουν καλύτερες αποδόσεις από το σταθερό σύστημα.

Σε μεγάλο μέρος των πειραματικών μετρήσεων παρατηρήθηκε ότι οι αυξομειώσεις του αέρα επηρεάζει τις παραγωγές και στα τρία φ/β πάρκα. Αυτό σχετίζεται με τις υψηλές θερμοκρασίες σε καλοκαιρινούς μήνες γιατί ο άνεμος ψύχει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και μειώνει την θερμοκρασία πλαισίου. Κατά την περίοδο που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με άπνοια υπήρξαν και χαμηλές παραγωγές.

Κατά συνέπεια και στις τρεις περιοχές που εξετάστηκαν ο άνεμος η ηλιοφάνεια και η εξωτερική θερμοκρασία αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση του φωτοβολταϊκού. Κατά συνέπεια όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μεγαλύτερη η

ταχύτητα ανέμου τόσο μεγαλύτερη η απόδοση του πλαισίου γεγονός που είναι αναμενόμενο από την αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών.

Αυτό το συμπέρασμα που υπήρχε στη βιβλιογραφία αλλά επιβεβαιώθηκε με την εργασία αυτή μπορεί να οδηγήσει στην αναθεώρηση των συμβολαίων συντήρησης που περιλαμβάνουν ρήτρες εγγυημένης παραγωγής, λαμβάνοντας υπόψιν και την επίδραση του ανέμου.

Σαν συνέχεια αυτής της εργασίας θα μπορούσε να συνεχιστεί η ανάλυση με μεγαλύτερο δείγμα φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ώστε να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση του ανέμου, στην απόδοση των εγκαταστάσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. IEA, *Tracking New energy progress 2014*.
http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Tracking_clean_energy_progress_2014.pdf, 2014.
2. Worldwatch Institute, *State of the World – Into a Warming World 2009*.
http://www.worldwatch.org/files/pdf/SOW09_chap3.pdf, 2009.
3. *The Nature of Electromagnetic Radiation*.
http://www.earthonlinemedia.com/ebooks/tpe_3e/energy/nature_of_electromagnetic_radiation.html.
4. PV education, *The photovoltaic effect*.
<http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/photovoltaic-effect>.
5. Wenham, S., Green, MA, Watt, ME, Corkish, R., *Applied photovoltaics*. Earthscan;, 2007.
6. IRENA, *Solar Photovoltaics*. RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, Vol.1, available from
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-SOLAR_PV.pdf, 2012.
7. SunPower, www.sunpower.com.
8. Sunpower, <http://www.sunpower.com>.
9. Garcia, M., Balenzategui, JL, *Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on nominal operation cell temperature calculations*. Renewable Energy, 2004. **29**: p. 1997-2010.
10. Manna, T., Mahajan, SM, *Nanotechnology in the development of photovoltaic cells*. In: Proceedings of the international conference on clean electrical power, 2007: p. 379-386.
11. Evergreen Solar, <http://www.evergreensolar.com/>.
12. von Roedern B, U.H., *The role of polycrystalline thin film PV technologies in competitive PV modules markets*. 31st IEEE photovoltaic specialists conference., 2005.
13. Carlson, D.E., Wronski, C.R., *Amorphous silicon solar cell*. Applied Physics Letters, 1976. **28**: p. 671.

14. Britt, J., Ferekides, C, *Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency*. Applied Physics Letters, 1993. **62**: p. 2851.
15. <http://nice.asu.edu/nano/cadmium-telluride-cdte-thin-film-solar-cells>.
16. NREL, *Photovoltaics in the classroom workshop*. http://www.nrel.gov/education/pdfs/educational_resources/high_school/teachers_guide_pv.pdf, 1999.
17. Reisi, A.R., Moradi, M.H, Jamasb, S., *Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **19**: p. 433-443.
18. Pearsall NM, H.R., *Clean electricity from photovoltaics*. http://www.worldscientific.com/doi/suppl/10.1142/p139/suppl_file/p139_chap15.pdf, 2001. **1-42**.
19. Kalogirou, S., *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press;, 2009(469-517).
20. <http://www.solarpower2day.net/solar-cells>.
21. Hamakawa, Y., *Physics and technologies of efficiency improvements for amorphous silicon solar cells*. Solar and Wind Technology, 1989. **6**: p. 241-246.
22. Krauter, S., *Increased electrical yield via waterflowover the front of photovoltaic panels*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2004. **82**: p. 13-37.
23. Yamaguchi, T., Kawakami, M, Kitano, K, Nakagawa, S, Tokoro, T, Nakano.T, , *Data analysis on performance of PV system installed in south and north directions*. 3rd world conference on photovoltaic energy conversion, 2003: p. 2239-2242.
24. California, Energy Commission,, *A guide to photovoltaic system design and installation*. http://www.energy.ca.gov/reports/2001-09-04_500-01-020.PDF, 2001.
25. García, J., Gago, EJ, Bayo, JA, Montes, GM, *The use of solar energy in the buildings construction sector in Spain*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007. **11**: p. 2166-2178.

