

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΝΟΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ**



ΜΠΑΜΠΟΥΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α.Μ: 6167

ΤΣΟΥΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α.Μ: 6288

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΑΠΛΑΝΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών υπό την επίβλεψη του καθηγητή Καπλάνη Σωκράτη.

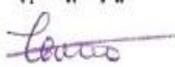
Σκοπός της εργασίας είναι να διερευνηθεί, θεωρητικά και πειραματικά, ο τρόπος που επιδρά η σκίαση στην ενεργειακή συμπεριφορά φωτοβολταϊκών στοιχείων και πλαισίου.

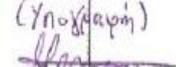
Αυτό επιτεύχθηκε μέσα από ένα σύνολο πειραματικών μετρήσεων υπό πραγματικές συνθήκες και τα αποτελέσματα των αναλύσεων του φ/β πλαισίου και στοιχείων ομαδοποιήθηκαν για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε βαθύτατα τον επιβλέποντα καθηγητή μας, κύριο Σωκράτη Καπλάνη για την ανάθεση αυτής της πτυχιακής εργασίας και προπάντων για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μας παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τεχνολογικών Εφαρμογών για την παροχή του απαραίτητου εργαστηριακού εξοπλισμού. Στη συνέχεια, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Δρ. Ελίνα Καπλάνη για την βοήθεια που μας παρείχε, τόσο για τη διεκπεραίωση των πειραματικών μετρήσεων, όσο και για τη γενικότερη υποστήριξη που μας έδωσε, οποιαδήποτε στιγμή τη χρειαστήκαμε. Τέλος, οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μας, για την συνεχή υποστήριξή τους καθώς και στις οικογένειες μας, στις οποίες οφείλουμε την πορεία που έχουμε διαγράψει ως τώρα. Για το λόγο αυτό, αφιερώνουμε την πτυχιακή μας εργασία σε αυτούς και στη μνήμη του παππού μου Γεώργιου Τσούκα.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Όνοματεπώνυμο)
...Τσαλίκας... Γεωργιάδης
(Υπογραφή)


(Όνοματεπώνυμο)
Μπαμπινιώτης Γεωργιάδης
(Υπογραφή)


ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει την μελέτη της επίδρασης της σκίασης στην ενεργειακή συμπεριφορά Φ/Β στοιχείων και πλαισίων που έχουν τοποθετηθεί στην οροφή του εργαστηρίου των ΑΠΕ, στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, αυτή που δημιουργείται είτε από ξένα αντικείμενα πάνω στο πλαίσιο, είναι από αντικείμενα γύρω από το πλαίσιο, επηρεάζει την απόδοση του φ/β. Η πειραματική ανάλυση έγινε με την βοήθεια του προγράμματος MatLab καθώς όλες οι μετρήσεις έπρεπε να παραστούν γραφικά, ενώ η πειραματική λήψη της ηλιακής ενέργειας σε ένα φ/β σύστημα, με την χαρακτηριστική καμπύλη.

Αρχικά προσεγγίζεται μέσω βιβλιογραφίας η θεωρία γύρω από τα φ/β στοιχεία αλλά και η ανάγκη βελτιστοποίησης των συστημάτων εκμετάλλευσης των πόρων στο εισαγωγικό κομμάτι. Μιλάμε γενικά για τις ΑΠΕ αλλά εστιάζουμε στην βασικότερη όλων που είναι η ηλιακή ακτινοβολία καθώς αυτή είναι η απαρχή για όλες τις υπόλοιπες και αποτελεί σημαντικό κομμάτι της παρούσας εργασίας. Γι αυτό το λόγο, γίνεται μια εκτενέστερη αναφορά στα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας και της τροχιάς του ηλίου. Γενικά σε ότι αφορά ηλιακή ακτινοβολία και ηλιακή γεωμετρία. Έπειτα αναφερόμαστε εκτενώς στο φ/β φαινόμενο και τις συνθήκες που επηρεάζουν την χαρακτηριστική καμπύλη. Αφού μιλήσουμε για τους δύο πιο σημαντικούς παράγοντες μείωσης απόδοσης σε ένα φ/β πλαίσιο, προχωράμε στην πειραματική διαδικασία και την ανάλυσή της.

Συγκεκριμένα παρατηρούμε πως μεταβάλλεται η χαρακτηριστική ρεύματος - τάσης (I-V) του φωτοβολταϊκού πλαισίου υπό διαφορετικές τιμές έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, υπό ποσοστιαία σκίαση, υπό μερική σκίαση και με ολόκληρη σκίαση, με ένα σκιασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε μία ή περισσότερες στήλες και με ένα ή περισσότερα σκιασμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία στην ίδια στήλη. Ειδικότερα στο:

Στο 1ο κεφάλαιο, περιγράφεται η χρήση της ηλιακής ενέργειας και πως αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και αναλύεται η δομή του φωτοβολταϊκού πλαισίου, οι συνδέσεις και τα είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Στο 2ο κεφάλαιο, γίνεται ανάλυση των ισοδύναμων κυκλωμάτων των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των παραγόντων που επηρεάζουν την χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

Στο 3ο κεφάλαιο, αναλύεται το φαινόμενο της μερικής ή ολόκληρης σκίασης και η συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού πλαισίου υπό της συνθήκες αυτής καθώς και το φαινόμενο της Γήρανσης.

Στο 4ο κεφάλαιο, περιγράφεται το πειραματικό μέρος και συγκεκριμένα τα όργανα μέτρησης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, οι συνθήκες μετρήσεων, παρουσιάζονται οι πίνακες τιμών, οι χαρακτηριστικές καμπύλες και τα συμπεράσματα για κάθε μέτρηση.

Στο 5ο κεφάλαιο, γίνεται η εξαγωγή συμπερασμάτων και η προτροπή για μετέπειτα μελέτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	8
1.1.	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	8
1.1.1.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ.....	8
1.1.2.	ΦΑΣΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	10
1.1.3.	ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΦΤΑΝΕΙ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ.....	11
1.1.3.4.	ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ Η ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	13
1.1.3.5.	ΤΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ Ι ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ....	13
1.1.3.6.	ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ R.....	14
1.1.4.	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΟΥ-ΓΗΣ.....	14
1.1.4.1.	ΑΛΗΘΗΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (Α.Η.Χ.).....	14
1.1.5.	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ:.....	16
1.1.6.	ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ.....	19
1.1.7.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	20
1.2.	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.....	21
1.2.1.	ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ Φ/Β.....	21
1.2.2.	ΤΑ ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΤΑ ΚΑΤΑ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ.....	22
1.2.3.	ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΜΙΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΔΟΣ ΕΠΑΦΗΣ.....	23
1.2.3.1.	ΔΟΜΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ.....	24
1.2.3.2.	ΔΙΟΔΟΣ ΕΠΑΦΗΣ.....	25
1.2.4.	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ Φ/Β ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.....	25
1.2.5.	ΤΟ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟ.....	27
1.2.5.1.	ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ.....	27
1.2.5.2.	ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ.....	28
1.2.5.3.	ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....	29
1.2.5.4.	ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ.....	30
1.2.5.5.	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ.....	30

1.2.6.	Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	33
1.2.7.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ.....	34
1.2.7.1.	ΑΥΤΟΝΟΜΑ.....	34
1.2.7.2.	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ.....	35
1.2.7.3.	ΥΒΡΙΔΙΚΑ	36
1.2.8.	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	37
1.2.9.	ΔΙΑΤΑΞΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΥΤΩΝ.....	39
1.2.9.1.	ΣΤΗΡΙΞΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΜΕ TRACKER (ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ) ΕΝΟΣ Ή ΔΥΟ ΑΞΟΝΩΝ.....	40
1.2.10.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ.....	41
2.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	44
2.1.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	44
2.1.1.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	44
2.1.2.	ΦΩΤΟΡΕΥΜΑ	44
2.1.3.	ΕΜΒΑΘΥΝΣΗ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	45
2.2.	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	46
2.3.	ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.4.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ I-V	50
2.4.1.	ΤΑΣΗ , ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΤΗΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ.....	50
2.4.2.	ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	51
2.4.3.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	52
2.4.4.	ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	52
2.5.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΙΣΧΥ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟ	53
3.	ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	56
3.1.	ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΚΙΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	56
3.2.	Η ΣΚΙΑΣΗ ΩΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ	57
3.2.1.	ΣΚΙΑΣΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	57
3.2.2.	ΑΙΤΙΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΚΙΑΣΗΣ	57
3.3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	57

3.3.1.	ΠΟΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΗΛΙΟΥ	57
3.3.2.	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΛΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ	60
3.4.	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	61
3.4.1.	ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟ	61
3.4.2.	ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΛΟΓΩ ΣΚΙΑΣΗΣ	62
3.4.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΑ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΑ	63
3.4.3.1.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ	63
3.4.3.2.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΥΧΡΟΝΙΑ (ΓΥΡΑΝΣΗ)	64
3.5.	ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΔΡΟΥΝ ΑΡΝΗΤΙΚΑ	69
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	72
4.1	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (P-V PANEL)	72
4.2.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (P-V CELLS).....	106
5.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	114
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	124

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκίαση και Γήρανση, δύο μεγάλοι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στην απόδοση των φ/β στοιχείων

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα διερευνηθεί κάτω από διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, η επίδραση της σκίαση στην ισχύ και στην ενέργεια και κατά συνέπεια στην απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου από μονοκρυσταλλικού πυριτίου, (καθώς και σε μεμονωμένα φ/β στοιχείου σε εργαστηριακό περιβάλλον).

Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης είναι το σημαντικότερο στοιχείο και μας δίνει μια σειρά από πληροφορίες που χαρακτηρίζουν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Θέλοντας να καταλήξουμε σε ουσιαστικά συμπεράσματα για την ισχύ αιχμής του συγκεκριμένου πλαισίου σε πραγματικές συνθήκες σκίασης, πραγματοποιούμε μια εκτεταμένη διερεύνηση των προαναφερθέντων παραγόντων. Οι συνθήκες σκίασης που χρησιμοποιήσαμε στην πειραματική διαδικασία ποικίλουν και έγινε προσπάθεια να καλύψουμε ολόκληρη την επιφάνεια του πλαισίου για να έχουμε όσα περισσότερα αποτελέσματα γίνεται.

Η διάρθρωση των κεφαλαίων που ακολουθούν περιγράφεται παρακάτω:

- Στο 1ο κεφάλαιο της παρούσης εργασίας, θα δοθούν ορισμοί και θα εμβαθύνουμε στην ηλιακή γεωμετρία, την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και άλλες σημαντικές έννοιες, απαραίτητες για να προχωρήσουμε στην πειραματική διαδικασία μας, θα ασχοληθούμε με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο καθώς και με τα διάφορα είδη πάνελ που υπάρχουν. παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του πυριτίου, και αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες από τις πιο σημαντικές διαθέσιμες τεχνολογίες Φ/Β πλαισίων.
- Στο 2ο κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου και οι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στο βαθμό απόδοσης. Επίσης θα αναφερθεί κάθε τι νέο υπάρχει σε αυτόν τον τομέα και τι βελτιώσεις έχουν γίνει πάνω στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Θα αναφερθούμε στις ηλεκτρονικές

διατάξεις μιας εγκατάστασης και θα εμβαθύνουμε στον τρόπο με τον οποίο το ρεύμα από το πάνελ, φτάνει στον καταναλωτή.

- Στο 3ο κεφάλαιο περιγράφονται η σκίαση και η γήρανση σαν δύο μεγάλες αιτίες καταστροφής και δυσλειτουργίας ενός φ/β πλαισίου. Αναλύονται οι επιπτώσεις της σκίασης είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα, αναλύεται το φαινόμενο θερμής κηλίδας που από μόνο του προκαλείται από την ίδια την σκίαση και μελετούμε τρόπους πρόληψης της σκίασης μιας φ/β εγκατάστασης.
- Στο 4ο κεφάλαιο ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην επίδραση της φυσικής σκίασης σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου και παρουσιάζονται οι μορφές των χαρακτηριστικών καμπυλών ρεύματος τάσης. Γίνεται αρχικά μια σύντομη αναφορά στην πειραματική διάταξη και για το φ/β πλαίσιο αλλά και για το φ/β στοιχείο όπου χρησιμοποιήθηκαν και στα όργανα που εργάστηκαν στα πλαίσια των μετρήσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Από ειδικό καταγραφικό σύστημα υπολογίζεται η ισχύς η τάση και το ρεύμα την στιγμή του πειράματος και παραθέτουμε και τα αποτελέσματα.
- Στο 5ο κεφάλαιο συνοψίζονται βασικά συμπεράσματα. Σ' αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι η επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων έγινε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MatLab.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1.1.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Η ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και φθάνει στην εξωτερική ατμόσφαιρα της γης ισοδυναμεί με $5.4 \cdot 10^{24}$ J/έτος.

Εμπειρικά διαπιστώνουμε ότι υφίσταται ένα ενεργειακό ισοζύγιο καθώς δεν μεταβάλλεται ουσιαστικά η θερμοκρασία περιβάλλοντος με τον χρόνο, γεγονός που υποδουλώνει ενεργειακό ισοζύγιο. Στην ουσία η Γη επιστρέφει στο διάστημα όση ενέργεια λαμβάνει, με αποτέλεσμα την διατήρηση της ζώης σ' αυτήν. Το 1/3 περίπου αυτής της ακτινοβολίας ανακλάται απευθείας στο διάστημα καθώς διαβαίνει από τα αραιότερα στα πυκνότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το υπόλοιπο διαπερνά την ατμόσφαιρα και σκεδαζόμενο, και μερικώς απορροφημένο από την ατμόσφαιρα, από σκόνες και υδρατμούς φθάνει μειωμένη στην γη με ένταση κατά το ηλιακό μεσημέρι σε μια καθαρή μέρα στην επιφάνεια της θάλασσας ίση με 10^3 W/m².

Επειδή οι συμβατικές πηγές ενέργειας είναι πεπερασμένες και λόγω της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας από τα αέρια του θερμοκηπίου, παγκόσμια συνέδρια κορυφής ασχολήθηκαν εκτενώς με αυτό το ζήτημα με κορύφωση το πρωτόκολλο του ΚΙΟΤΟ¹. Στην συνέχεια κατατέθηκε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή η Έκθεση του Εθνικού Σχεδίου Δράσης, για την επίτευξη της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020, στόχος που έχει θεσμοθετηθεί με το Νόμο 3851/2010. Η Έκθεση, η υποβολή της οποίας απορρέει από την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, περιλαμβάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και τη διείσδυση των τεχνολογιών των ΑΠΕ έως το 2020.

Το εν λόγω Σχέδιο μετά τις πιθανές βελτιώσεις που θα προέλθουν από τη διαβούλευση με την ΕΕ, θα αποτελέσει τη βάση για τη σύνταξη σχετικής Υπουργικής Απόφασης για τη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης και η πρόοδος στην εφαρμογή του θα εξετάζεται ανά δύο χρόνια και θα επικαιροποιείται, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι εξελίξεις της αγοράς και της βελτίωσης των τεχνολογιών, αλλά και η ζήτηση της ενέργειας.²

Η ηλιακή ενέργεια είναι άφθονη, δωρεάν και απανταχού του πλανήτη. Όπως ελέχθη προηγουμένως οι ορυκτές πηγές ενέργειας είναι πεπερασμένες και λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προκαλείται ρύπανση του περιβάλλοντος. (βλ. Πίνακα 1.1) Η επίδραση ενός εξ'αυτών, του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι η κύρια αιτία του φαινομένου αυτού.

Πίνακας 1.1: Ποσό εκπομπής CO₂ σε kg ανά kWh παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες χώρες

Χώρα	Ποσό εκπομπής CO ₂ ανά kWh (kg)
Γαλλία	0.08
Βέλγιο	0.35
Ιρλανδία	0.80
Ελλάδα	0.86
Δανία	0.96

Ο νόμος ο οποίος περιγράφει την εκπομπή της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ένα σώμα θερμοκρασίας T [k] δίνεται από την σχέση των Stefan-Boltzmann όπου,

$$\text{Σχέση των Stefan - Boltzmann: } Q_r = \sigma \cdot A \cdot \varepsilon \cdot T_r^4 \quad (1.1)$$

όπου,

Q_r = Το ποσό θερμότητας που επανακτινοβολείται (W)

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ και καλείται σταθερά Stefan – Boltzmann.

A: η ακτινοβολούσα επιφάνεια

ε : η αφετικότητα της Γης (καθαρός αριθμός <1).

Εκφράζει το μέτρο προσέγγισης ενός ακτινοβολούντος σώματος με μέλαν σώμα της ίδιας θερμοκρασίας ($\varepsilon = 1$ για το μέλαν σώμα). Δηλαδή το ε δίδει το μέτρο προσέγγισης ενός ακτινοβολούντος σώματος προς τις ιδιότητες ενός μέλανος σώματος). Επίσης εξαρτάται από το ποσοστό κάλυψης του ουρανού από σύννεφα και την σύσταση της ατμόσφαιρας.

T_r : η μέση θερμοκρασία της Γης σε °K

Για να ισχύει το ενεργειακό ισοζύγιο θα πρέπει η απορροφούμενη από την επιφάνεια της γης ακτινοβολία να ισούται με την εκπεμπόμενη :

$$Q_a = Q_r \text{ ή } (1-r)\pi R_T^2 I_{sc} = 4\pi R_T^2 \varepsilon \sigma T_r^4 \quad (1.2)$$

$$(1-r) I_{sc} = 4\varepsilon \sigma T_r^4 \quad (1.3)$$

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, και φθάνει στη μέση εξώτερη ατμόσφαιρα της γης για την μέση απόσταση ήλιου - γης, ονομάζεται ηλιακή σταθερά. Η απόσταση Γης - Ηλίου δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης. Η σχέση που δίνει την πραγματική τιμή της ηλιακής σταθεράς κατά τη διάρκεια του έτους είναι η:

$$I_{on} = I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.4)$$

όπου

I_{on} = Η πραγματική τιμή της ηλιακής σταθεράς

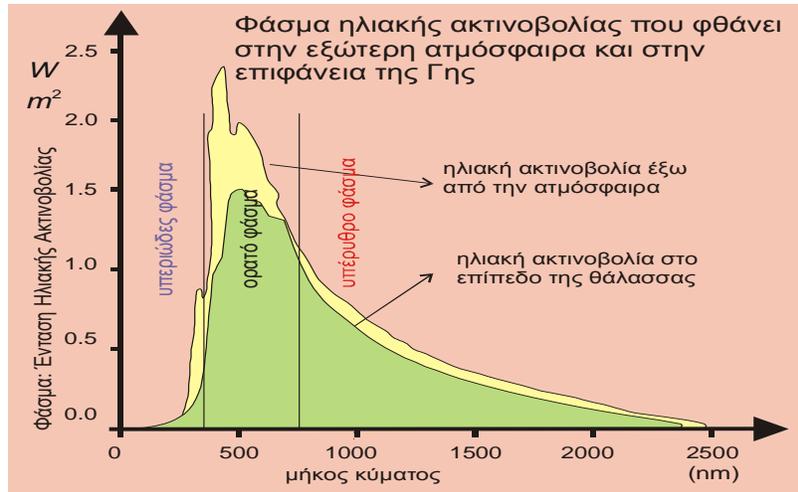
I_{sc} = Ηλιακή σταθερά βάσει μέσης απόστασης ηλίου-γης 1387 W/m^2

n = Ο αύξων αριθμός της ημέρας του χρόνου για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την τιμή της ηλιακής σταθεράς.

1.1.2. ΦΑΣΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το ηλιακό φως είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος περιοχής συχνοτήτων το οποίο καλούμε φάσμα συχνοτήτων. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται υπολογιστικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο.

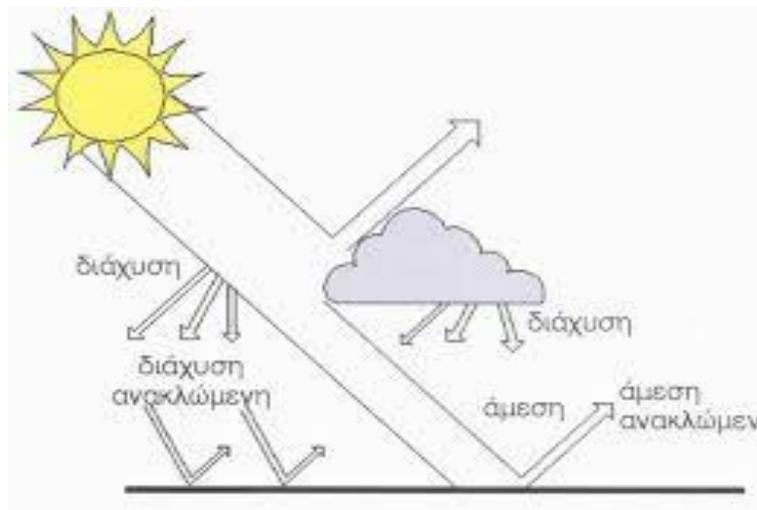
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε διάφορες ζώνες (βλ. Εικόνα 1.1). Το φάσμα αυτής της ακτινοβολίας περιλαμβάνει και το ορατό φάσμα φωτός. Αυτό το φάσμα είναι μια περιοχή η οποία ερεθίζει τον οφθαλμό μας και περιλαμβάνει διάφορα μήκη κύματος τα οποία τα αντιλαμβάνεται ως διαφορετικά χρώματα. Η μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορα πειράματα μπορεί να γίνει και με βάση την σωματιδιακή μορφή των φωτονίων.



Εικόνα 1.1: Το φάσμα του ηλιακού φωτός³

1.1.3. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΦΤΑΝΕΙ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ της ΓΗΣ

Όπως αναφέρθηκε, κατά τη διέλευση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, τα φωτόνια σκεδάζονται και συνεπώς η ένταση της ακτινοβολίας (W/m^2) ελαττώνεται. Τα συστατικά της ατμόσφαιρας απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας μέσω της αλληλεπίδρασης των φωτονίων, μορίων, ατόμων και ηλεκτρονίων. Τελικά, μέρος της ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης και μέσω της φωτοσύνθεσης δημιουργεί την βιομάζα και συντηρεί όλες τις μορφές ζωής.



Εικόνα 1.2: Οι τρεις συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της από την ατμόσφαιρα μέχρι την επιφάνεια της γης⁴

1.1.3.1. ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_b

Ως άμεση ηλιακή ακτινοβολία ορίζουμε την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση και μετράται σε ($J/m^2 \cdot \text{μονάδα χρόνου}$). Είναι η ακτινοβολία η οποία προέρχεται απευθείας από τον ηλιακό δίσκο. Για τους διάφορους υπολογισμούς όσον αφορά τους ηλιακούς συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά, την αναλύουμε σε δύο συνιστώσες, μια κάθετη και μία παράλληλη στην επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη ανάλογα με την περίπτωση. Η οριζόντια συνιστώσα δεν αλληλεπιδρά με την επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη αντίστοιχα και δεν συνεισφέρει στην μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια. Αυτό μας βοηθά σε υπολογισμούς.

1.1.3.2. ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_d

Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, έρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο (πάνω από το φυσικό οριζόντα) και σε πρώτη εκτίμηση, μπορεί να θεωρηθεί ισότροπη. Επίσης δημιουργείται από την σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας από σωματίδια της ατμόσφαιρας ή σύννεφα. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μετράται σε $J/m^2 \cdot \text{μονάδα χρόνου}$.

1.1.3.3. ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_r

Είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από διάφορα γειτονικά αντικείμενα (σπίτια, δέντρα, αυτοκίνητα) ή από το ίδιο το έδαφος. Η διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία, μάλιστα, δεν εξαρτάται μόνο από την μορφολογία του έδαφος αλλά και από το χρώμα του ή την επικάλυψή του, δηλαδή αλλιώς ανακλά το φως έδαφος με γρασίδι και αλλιώς ένα χέρσο χωράφι. Η περίπτωση όπου μελετάμε την διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία είναι γιατί μέρος αυτής, εκτός της άμεσης, φθάνει τελικά στην επιφάνεια που μελετούμε π.χ. στο σύστημα ηλιακών συλλεκτών, ή φωτοβολταϊκών, ή στους τοίχους μιας κατοικίας. Η διάχυτη ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται:

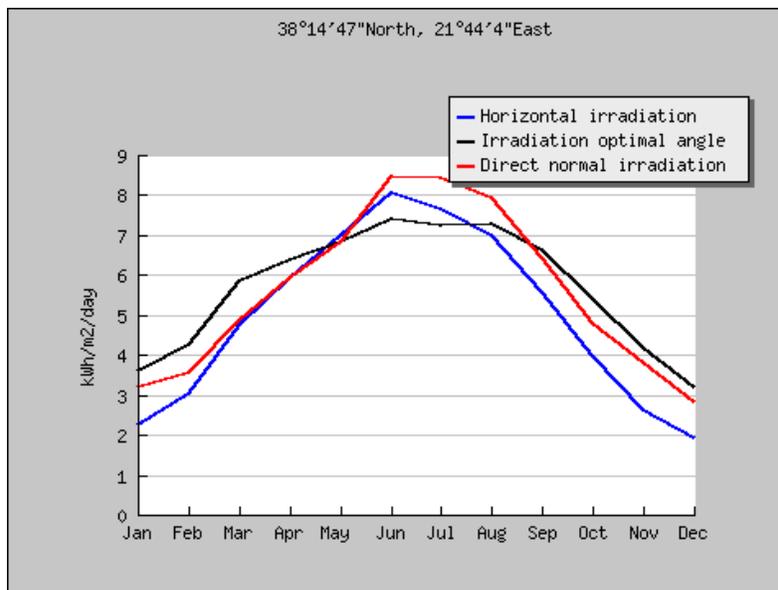
α) την ημέρα του έτους

β) τη σύσταση - κατάσταση της ατμόσφαιρας, τη δεδομένη χρονική στιγμή

γ) τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στην επιφάνεια (ύψος του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας).

Οι παραπάνω ακτινοβολίες μεταβάλλονται κατά την διάρκεια του έτους και χρησιμοποιώντας την βάση δεδομένων του (PVGIS) παραθέτουμε την μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κατά

την διάρκεια του έτους μελετώντας στο οριζόντιο επίπεδο, στο επίπεδο που έχει βέλτιστη κλίση και την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που είναι κάθετη στο επίπεδο πρόσπτωσης για την περιοχή της Πάτρας, και το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3: Η ηλιακή ακτινοβολία για όλους τους μήνες, ολική (άμεση, διάχυτη), που φθάνει στην περιοχή της Πάτρας στο οριζόντιο και στην βέλτιστη γωνία⁵

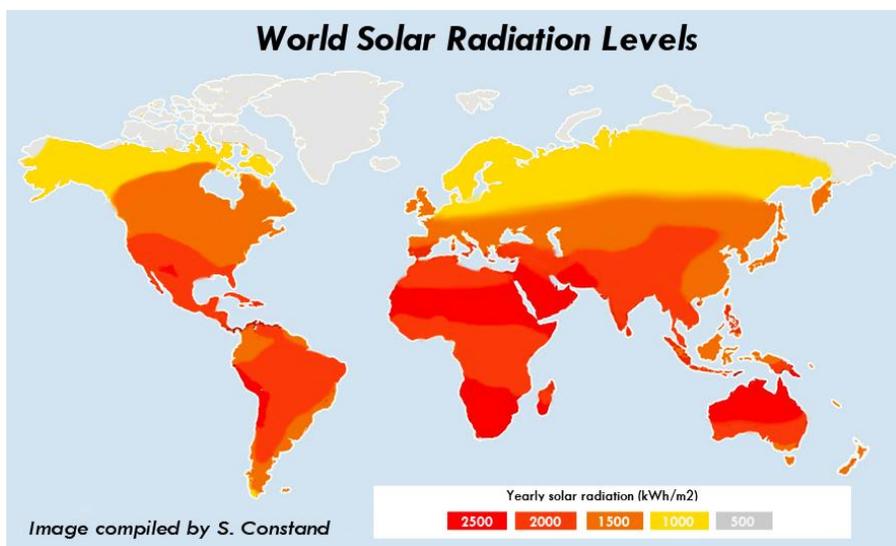
1.1.3.4. ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ Η ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Είναι το άθροισμα της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια. Μετράται σε J/m²·μονάδα χρόνου. Δηλαδή ισχύει ότι:

$$H_b + H_d + H_r = H \quad (1.5)$$

1.1.3.5. ΎΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ Ι ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Ορίζεται ως ο ρυθμός πρόσπτωσης της Ηλιακής Ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια ανά μονάδα επιφανείας και ανά μονάδα χρόνου και μετράται σε W/m². Στην εικόνα 1.4. βλέπουμε την ετήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο σε kWh/m²·έτος.



Εικόνα 1.4: Από την διεθνή βάση δεδομένων PVGIS βλέπουμε χρωματικά τα επίπεδα της ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην Γη

1.1.3.6. ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ R

Ορίζεται ως το κλάσμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια, προς αυτήν που ανακλάται. Είναι αδιάστατο μέγεθος. Όταν η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγάλη, τότε μεγάλο μέρος της ανακλάται, χωρίς να αντιδράσει με την επιφάνεια την οποία επέπεσε. Το r εξαρτάται από το ποσοστό κάλυψης του ουρανού από σύννεφα και την σύσταση της ατμόσφαιρας. Η μέση τιμή του r για την γη είναι 0.3~0.4 ωστόσο ο συντελεστής ανακλαστικότητας και τοπικά μπορεί να φθάσει το 0.7 για χιονισμένες περιοχές.⁶

1.1.4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΟΥ-ΓΗΣ

1.1.4.1. ΑΛΗΘΗΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (Α.Η.Χ.)

Αληθής ηλιακός χρόνος είναι ο χρόνος του οποίου η μέτρηση και ο προσδιορισμός βασίζεται στην γωνιακή μετακίνηση του ηλίου σε σχέση με τον γήινο μεσημβρινό του τόπου. Όταν ο ήλιος διέρχεται από τον γήινο μεσημβρινό τότε εκείνη η στιγμή λέγεται ηλιακό μεσημέρι. Ο αληθής ηλιακός χρόνος (Α.Η.Χ) κατά το ηλιακό μεσημέρι ορίζεται ως η 12^η ώρα, και τότε ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του στον ουρανό.

Ωστόσο στην λειτουργία μιας κοινωνίας χρησιμοποιείται ο τοπικός ωρολογιακός χρόνος (Τ.Ω.Χ) ο οποίος ισχύει σε όλη την επικράτεια και σχετίζεται με τον Α.Η.Χ. έχοντας μια χρονική μετατόπιση που μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του έτους. Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι για τον υπολογισμό του Α.Η.Χ. (Αληθούς Ηλιακού Χρόνου) με βάση τον Τ.Ω.Χ. (τοπικό ωρολογιακό χρόνο) γίνονται δύο βασικές διορθώσεις:

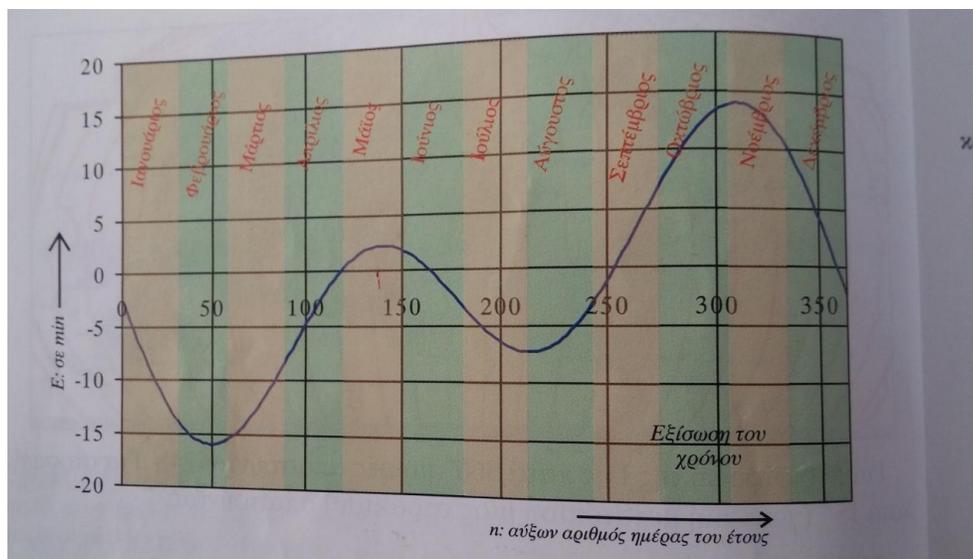
α) Λόγω διαφοράς του γεωγραφικού μήκους του μεσημβρινού του τόπου, που γίνονται οι μετρήσεις με το κατά συνθήκη γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού της ατράκτου στην οποία ευρίσκεται η χώρα (Lst). (Ως γνωστόν η Γη είναι χωρισμένη σε 24 ατράκτους, δηλ. $360^\circ:24 = 15^\circ$ ανά άτρακτο). Για περιστροφή της Γης κατά 360° μοίρες απαιτούνται 24h. Για στροφή 15° (γωνιακή μετατόπιση μίας ατράκτου) απαιτούνται:

$$\frac{360^\circ}{15^\circ} = \frac{24\text{h}}{x} \Rightarrow x = 24\text{h} \cdot \frac{15}{360} = 1\text{h}$$

$$\frac{15^\circ}{1^\circ} = \frac{1\text{h}}{y} \Rightarrow y = 4\text{min}/\mu\text{οίρα} \tag{1.6}$$

Επομένως ο ήλιος για να διανύσει γωνία ατράκτου 1 μοίρας, χρειάζεται 4 πρώτα λεπτά. Για την Ελλάδα ο μεσημβρινός μέτρησης του χρόνου είναι αυτός της 2ας ατράκτου και αντιστοιχεί σε $Lst = 30^\circ$.

β) Εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της γης. Η διόρθωση δίδεται από το σχετικό διάγραμμα της εικόνας 1.5.



Εικόνα 1.5: Διάγραμμα εξίσωσης του χρόνου ⁷

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και την ένταση αυτής σε μία επιφάνεια θα πρέπει να γνωρίζουμε βασικά γεωμετρικά-τριγωνομετρικά μεγέθη (βλ. εικόνες 1.6 και 1.7). Αυτά είναι:

- Η κλίση του ηλιακού συλλέκτη ή του φ/β πλαισίου β .
- Η αζιμουθιακή γωνία ενός επίπεδου συλλέκτη γ .
- Η αζιμουθιακή γωνία του ήλιου γ_s
- Η ζενίθια γωνία θ_z .
- Η ωριαία γωνία ω .
- Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας θ .
- Ύψος ηλίου α .
- Γεωγραφικό πλάτος φ ενός τόπου.
- Γεωγραφικό μήκος L ενός τόπου
- Απόκλιση ηλίου δ .

Τα γεωμετρικά μεγέθη που μόλις αναφέραμε θα αναλυθούν περαιτέρω στην συνέχεια.

1.1.5. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ:

Γεωγραφικό πλάτος (latitude) φ , είναι ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων στην επιφάνεια της γης. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση των διάφορων τόπων από τον Ισημερινό.

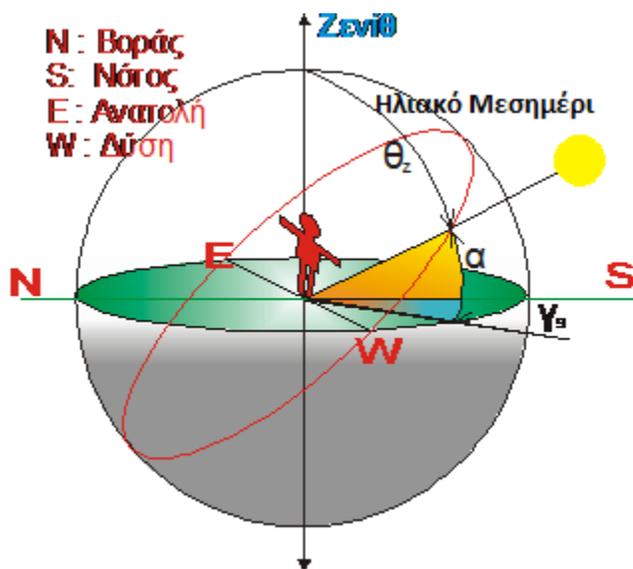
Γεωγραφικό μήκος (Longitude), L , ονομάζουμε το δεύτερο μέγεθος γεωγραφικών συντεταγμένων που μας βοηθά να προσδιορίσουμε μια θέση πάνω στην Γη. Η μέτρηση του γεωγραφικού μήκους έχει οριστεί κατά σύμβαση να μετριέται από τον Μεσημβρινό που διέρχεται από το Γκρίνουιτς στην Μεγάλη Βρετανία ονομαζόμενος πρώτος μεσημβρινός. Το γεωγραφικό μήκος αποδίδεται σε μοίρες, ή και ως δεκαδικός αριθμός επί των προηγούμενων.

Κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη, β , ονομάζουμε τη γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και επίπεδο του συλλέκτη. Η γωνία αυτή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ από 0ο έως 90ο. Για να υπολογίσουμε το β , υπό την οποία θα τοποθετηθούν τα PV-πλαίσια, ώστε η PV-γεννήτρια να δέχεται την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία κατά το ηλιακό μερημέρι., προτείνεται η σχέση:

$$\beta = \varphi - \delta \quad (1.7)$$

δ : η απόκλιση του ηλίου

φ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου της PV-εγκατάστασης



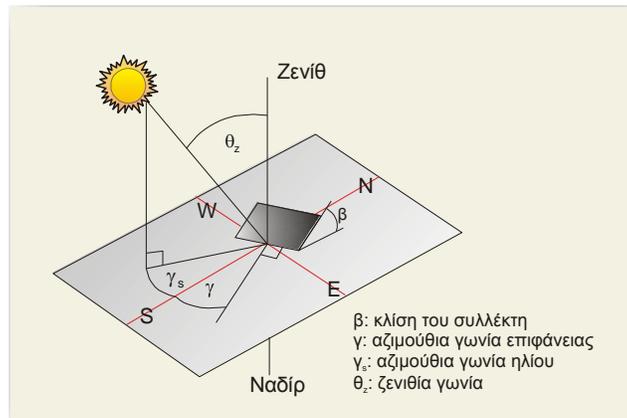
Εικόνα 1.6: Σχήμα με τις βασικές γωνίες ηλιακής γεωμετρίας που συναντάμε⁸

Ωριαία γωνία, ω , είναι η γωνία που σχηματίζεται καθώς ο Ήλιος κινείται στην ημερήσια τροχιά του από την ανατολή μέχρι την δύση. Είναι η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία. (βλ. Σχήμα 1.7). Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$, ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Σε κάθε χρονική στιγμή, μιας ημέρας, αντιστοιχεί και μια τιμή του ω . Τις πρωινές ώρες η ω είναι αρνητική (-) και κατά τις απογευματινές θετική(+).

Ύψος ηλίου, α : Για να προσδιορίσουμε την θέση του ήλιου στον ουρανό, συνήθως χρησιμοποιούμε δύο γωνίες. Το ύψος του ήλιου, α και την αζιμουθιακή γωνία του ήλιου, γ_s . Το ύψος του ηλίου ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του οριζοντα και της τροχιάς του ήλιου στον ουρανό. Επίσης είναι η συμπληρωματική γωνία της ζενιθίας γωνίας θ_z που θα αναφερθεί παρακάτω. Όταν ο Ήλιος ανατέλλει ή δύει, ισχύει πάντα $\alpha=0^\circ$ και $\theta_z=90^\circ$.

Αζιμουθιακή γωνία του ηλίου, γ_s , ονομάζουμε την γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, μεταξύ του μεσημβρινού Βορρά – Νότου του τόπου και της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο, της ευθείας που συνδέει τον Ήλιο με τον παρατηρητή ή τον ήλιο με το συλλέκτη. Προς

τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά τις αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό στην τροχιά του.



Εικόνα 1.7: Αζιμούθια γωνία γ του πάνελ, αζιμούθια γωνία γ_s του ηλίου, κλίση του πάνελ β , γωνία πρόσπτωσης θ , ύψος ηλίου α , ζενιθία γωνία θ_z .

Αζιμουθιακή γωνία ενός επιπέδου συλλέκτη, γ , είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου και στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη. Η αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη είναι μηδέν όταν η προβολή της καθέτου πάνω στο οριζόντιο επίπεδο συμπίπτει με την διεύθυνση Β-Ν. Τότε λέγουμε ότι ο συλλέκτης έχει μηδενικό αζιμούθιο δηλαδή είναι άψογα προσανατολισμένος. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση. Ισχύει δηλαδή για τους ηλιακούς συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά ότι $-90^\circ < \gamma < 90^\circ$.

Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, θ , ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη και της ευθείας που συνδέει αυτό το επίπεδο με τον ήλιο. Πρέπει να επισημάνουμε ότι παίρνει τιμές από $-90^\circ < \theta < 90^\circ$.

Ζενιθία γωνία, θ_z , είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που συνδέει το επίπεδο του συλλέκτη με τον Ήλιο και της κατακόρυφου του τόπου που βρίσκεται ο συλλέκτης. Αντί για το ύψος του ήλιου, η ζενιθία γωνία χρησιμοποιείται συχνά και ισχύει: $\theta_z + \alpha = 90^\circ$ και επίσης ονομάζεται και ζενιθιακή απόσταση του ήλιου.

Απόκλιση ηλίου, δ , καλείται η γωνιακή θέση του Ηλίου σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της

αλλαγής της απόκλισης (δ), δηλαδή της γωνίας που διαγράφεται ανάμεσα στην ευθεία η οποία ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού. Η ηλιακή απόκλιση αλλάζει καθημερινά και προσδιορίζεται από την εξίσωση του Cooper και μεταβάλλεται στο διάστημα $[-23.45^\circ, 23.45^\circ]$. Λαμβάνει θετικές τιμές όταν ο ισημερινός βρίσκεται χαμηλότερα από την ευθεία που ενώνει Ήλιο και Γη. Η τιμή υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\delta = 23,45^\circ \times \sin\left(360 \times \frac{(284+n)}{365}\right) \quad (1.8)$$

Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής του ηλίου, ω_s , ω_{ss} ή ω_{sr} αντίστοιχα, ονομάζεται η ωριαία γωνία ω όταν το ύψος του ηλίου είναι $\alpha = 0$ ή όταν η ζενίθια γωνία είναι: $\theta_z = 90^\circ$. Η ωριαία γωνία Δύσης ω_{ss} , >0 είναι ίση με την ωριαία γωνία Ανατολής ω_{sr} , <0 . Οι παραπάνω γωνίες υπολογίζονται από τους εξής τύπους:

➤ Ωριαία γωνία κατά την ανατολή: $\omega_{sr} = \cos^{-1}(-\tan\lambda \cdot \tan\delta)$ (1.9)

Όπου λ το γεωγραφικό πλάτος στην θέση μελέτης και δ η απόκλιση του ηλίου

➤ Ωριαία γωνία του ηλίου κατά την δύση: $\omega_{ss} = -\omega_{sr}$ (1.10)

Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής για ένα κεκλιμένο επίπεδο, $\omega's$, ονομάζεται η ωριαία γωνία ω κατά την οποία ο ήλιος δύει ή ανατέλλει για το επίπεδο αυτό, όταν το θεωρήσουμε ως εκτεινόμενο απέραντα από το πλαίσιο του συλλέκτη.

1.1.6. ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ της ΓΩΝΙΑΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ της ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ

Η γενική σχέση που συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης θ με τα υπόλοιπα τριγωνομετρικά μεγέθη για μια ορισμένη χρονική στιγμή κατά τη νιοστή ημέρα του χρόνου είναι η :

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \cdot \sin \varphi \cos \beta - \\ &\quad - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \\ &\quad + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \\ &\quad + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \end{aligned}$$

$$+\cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \quad (1.11)$$

Εάν θέσουμε $\gamma=0$ τότε:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \cdot \sin \varphi \cos \beta - \\ &\quad -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta + \\ &\quad +\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \\ &\quad +\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \omega \end{aligned} \quad (1.12)$$

Για $\beta=0^\circ$, και $\gamma=0^\circ$, η γωνία πρόσπτωσης θ ταυτίζεται με τη θ_z όπως περιγράψαμε παραπάνω και άρα θα έχουμε:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (1.13)$$

Όταν η επιφάνεια είναι κάθετη έχουμε $\beta=90^\circ$ και η σχέση γράφεται:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma + \\ &\quad +\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \\ &\quad +\cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (1.14)$$

Η διάρκεια της ημέρας σε ώρες, N, υπολογίζεται από την σχέση:

$$N = \frac{2}{15^\circ/h} \cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (1.15)$$

Η αζιμούθια γωνία του ηλίου γ_s κατά μια ημέρα n, υπολογίζεται:

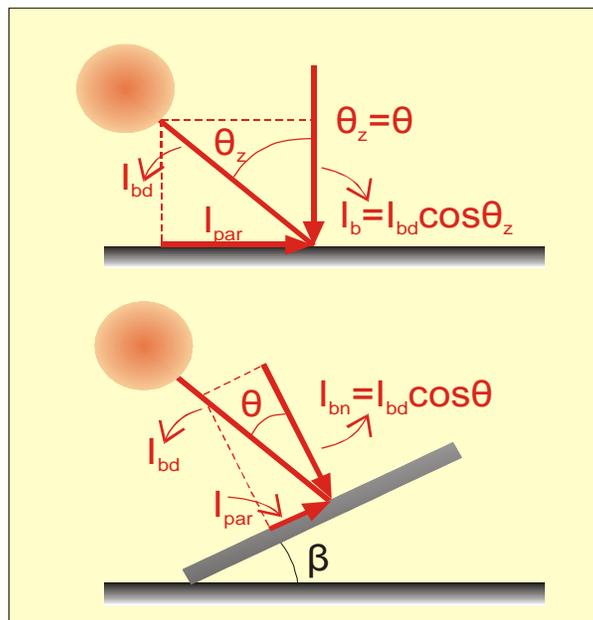
$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\sin \theta_z} \quad (1.16)$$

1.1.7. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Η θέση του ήλιου σε σχέση με ένα κεκλιμένο επίπεδο μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας διάφορες γωνίες όπως αναφέραμε παραπάνω. Επίσης, για να υπολογίσουμε, την ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται κεκλιμένες επιφάνειες, θα πρέπει να την συγκρίνουμε με την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στις ίδιες επιφάνειες όταν αυτές έχουν $\beta=0^\circ$. Για αυτό το πρόβλημα ορίστηκε ο λόγος R_b , της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο με κλίση β , προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο.

$$R_b = \frac{I_{bn}}{I_b} = \frac{I_{bd} \cos \theta}{I_{bd} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (1.17)$$

Με αυτό τον τρόπο μετατρέπουμε την τιμή αυτή από οριζόντιο για κεκλιμένο επίπεδο. Είναι απαραίτητο, για κάθε υπολογισμό ενέργειας που θα πρέπει να κάνουμε, να ξέρουμε την ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ ή έναν ηλιακό συλλέκτη ή οποιοδήποτε άλλο σύστημα παίρνει ενέργεια από τον ήλιο. Για αυτό το λόγο, επιστήμονες, με πειράματα και εργαλεία κατάφεραν να συλλέξουν δεδομένα που λύνουν τα χέρια κάθε μηχανικού και υπολογίζουν την ακτινοβολία που φτάνει στο οριζόντιο επίπεδο σε W/m^2 και σε κεκλιμένο. Επίσης πρέπει να γνωρίζουμε ότι όλοι οι επίπεδοι συλλέκτες απορροφούν τόσο την άμεση όσο και την έμμεση (διάχυτη) ηλιακή ακτινοβολία που προκαλείται από σκεδάσεις που αναφέραμε παραπάνω.



Εικόνα 1.8: Ζενίθια γωνία στο οριζόντιο επίπεδο, όπου συμπίπτει με την γωνία πρόσπτωσης θ , και η διαφορά όταν έχουμε κεκλιμένο επίπεδο.

1.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

1.2.1. ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ Φ/Β

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία μελετά και διερευνά την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας προς παραγωγή ηλεκτρισμού. Ακόμα και αν τα φωτοβολταϊκά είναι από τις καλύτερες και φιλικότερες μορφές ενέργειας προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον, δυστυχώς, υπάρχουν προβλήματα που απαιτούν λύση. Η ηλιοφάνεια μεταβάλλεται στην διάρκεια της ημέρας επομένως η ηλεκτρική ενέργεια από τα φ/β πλαίσια δεν είναι σταθερή. Ομοίως και η ακτινοβολία δεν είναι ίδια κατά την διάρκεια κάθε μέρας του έτους.

1.2.2. ΤΑ ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΤΑ ΚΑΤΑ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ

Το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, πριν 10 χρόνια ήταν $4€/W_p$ με το πέρασμα των χρόνων αυτό το κόστος έχει μειωθεί κάτω από $1€/W_p$. Αυτό δείχνει την έμφαση που έχει δοθεί στην ενεργειακή πολιτική με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ειδικά στην φ/β τεχνολογία όπου δίνεται μεγάλη προσοχή στο ενεργειακό όφελος. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η υποχρέωση του περιοδικού καθαρισμού της επιφανείας των Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό, για να αποφύγουμε τη μείωση της απόδοσης από τη ρύπανση (αιθάλη, σκόνη, αλάτι θάλασσας, ακαθαρσίες πουλιών κ.λπ.) ή η χρησιμοποίηση αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών με νανο-επιστρώσεις. Επιπλέον τα αυτόνομα φ/β συστήματα θα πρέπει να αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κάτι που αποτελεί μειονέκτημα σε σχέση με το κόστος της εγκατάστασης και της λειτουργίας της. Ωστόσο υπάρχουν επίσης και σημαντικά πλεονεκτήματα.

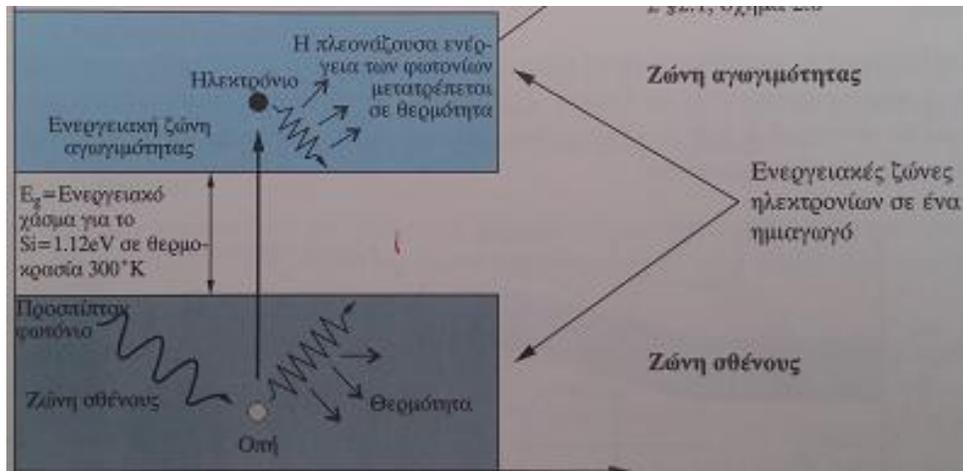
- Μηδενικό κόστος καυσίμου αφού ο ήλιος είναι μία ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- Σχετικά εύκολη μέθοδος συναρμολόγησης των Φ/Β πλαισίων υπό την μορφή διαφόρων σχημάτων.
- Τα Φ/Β πλαίσια έχουν διάρκεια ζωής τουλάχιστον 25 χρόνια με μέση ετήσια μείωση της απόδοσης 0,5%. (Η διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών συσσωρευτών εξαρτάται από το βάθος εκφόρτισης και κυμαίνεται από 5 έως 10 χρόνια).
- Δεν έχουν κινούμενα μέρη με αποτέλεσμα να μην χρειάζονται συνεχή επίβλεψη και συντήρηση. Μία επιθεώρηση ανά εξάμηνο είναι συνήθως αρκετή.
- Λειτουργούν αθόρυβα συγκριτικά με συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. Φ/β πάρκο δίπλα σε συμβατικό εργοστάσιο στην νήσο Κύθνο)
- Έχουν πολύ καλή απόδοση σε μεγάλο υψόμετρο λόγω της αυξημένης έκθεσης στον ήλιο.
- Η αποκατάσταση της λειτουργίας, σε περίπτωση βλάβης γίνεται εύκολα λόγω της σπονδυλωτής μορφής του συστήματος.
- Παρέχουν ανεξαρτησία από τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής.

- Έχουν αρκετά μεγάλη αναλογία παραγόμενης ισχύος προς το βάρος του συστήματος (100 W/kg), που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές.
- Η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα Φ/Β συστήματα, συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης σε ηλεκτρισμό, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες, βοηθώντας έτσι σημαντικά στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή μπλακ άουτ και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα Φ/Β συστήματα ακολουθεί, την εποχική ζήτηση σε ηλεκτρισμό.
- Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών και σχημάτων. αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά (π.χ. κεραμοσκεπές ή υαλοστάσια σε προσόψεις) συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους της οικοδομής, ειδικά στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια.
- Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον κατά τη λειτουργία τους.⁹

Για την περαιτέρω μελέτη σε ορισμούς και περιγραφές όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά συστήματα, θα πρέπει να γίνει μια αναλυτική περιγραφή της δομής και της λειτουργίας του. Ένα γνωστό ότι τέτοια στοιχεία είναι ημιαγωγοί.

1.2.3. ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΜΙΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΔΟΣ ΕΠΑΦΗΣ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή βλ. άτομο πυρίτιο (Si). Σε αυτά τα στοιχεία δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μηδενική, σε περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση. Όταν όμως ένα φωτόνιο αλληλεπιδράσει με ένα ηλεκτρόνιο σθένους είναι δυνατόν να το ανεβάσει σε ελεύθερη ενεργειακή κατάσταση και το μεταφέρει στην ζώνη αγωγιμότητας (βλ. Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9: Δημιουργία ζεύγους e^- και οπής από την αλληλεπίδραση φωτονίου με ηλεκτρόνιο που ευρίσκεται στην ζώνη σθένους¹⁰

1.2.3.1. ΔΟΜΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

Όταν το ηλεκτρόνιο φύγει από την ζώνη σθένους και πάει στην ζώνη αγωγιμότητας δημιουργεί οπή. Είναι δυνατόν από ένα γειτονικό άτομο να καλυφθεί το κενό που έχει δημιουργηθεί. Και τότε δημιουργείτε το φαινόμενο της κίνησης της οπής.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα σε ένα σώμα και ανάλογα με την αγωγιμότητα τους διακρίνονται σε μονωτές αγωγούς και ημιαγωγούς.

Από θέμα ηλεκτρικής συμπεριφοράς οι ημιαγωγοί κατατάσσονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων, σθένους και ελεύθερα ηλεκτρόνια.

- Τα ηλεκτρόνια εξωτερικών στοιβάδων είναι τα λιγότερα ενεργά και δεν συμμετέχουν στην αγωγιμότητα.
- Τα ελεύθερα αντίθετα είναι αρκετά ενεργά για να φύγουν από το ηλεκτρικό πεδίο του εκάστοτε πυρήνα και να αποδεσμευτούν.
- Τα ηλεκτρόνια σθένους δε, είναι τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας των ατόμων, τα οποία μπορούν να κινηθούν προς τις οπές γειτονικών δεσμών, που δημιουργηθήκαν επειδή τα εκεί ηλεκτρόνια σθένους εγκατέλειψαν την θέση τους, ή να ανταλλάξουν θέσεις με άλλα ηλεκτρόνια σθένους γειτονικών δεσμών.¹¹

1.2.3.2. ΔΙΟΔΟΣ ΕΠΑΦΗΣ

Η κίνηση των ηλεκτρονίων, δηλαδή των φορέων του ηλεκτρικού ρεύματος, έξω από τον ημιαγωγό, εξασφαλίζεται με την δημιουργία της διόδου επαφής που αποτελείται από δύο στρώσεις ενός ημιαγωγού πυριτίου. Οι αγωγοί αυτοί περιέχουν μέσα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα διεσπαρμένα άτομα από επιλεγμένο διαφορετικό υλικό.

- Ημιαγωγός τύπου n: Προκύπτει από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό πυριτίου αν προστεθούν στο κρυσταλλικό του πλέγμα μερικά από τα άτομά του, με άλλα άλλου υλικού μεγαλύτερου σθένους. Το άτομο πυριτίου έχει πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα.

Στον αγωγό αυτό ένα ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμειξης δεν συμμετέχει σε χημικό δεσμό και είναι ελεύθερο. Έτσι αυτός ο τύπος ημιαγωγού περιέχει περισσότερα ηλεκτρόνια από τον καθαρό αγωγό και τα άτομα πρόσμειξης ονομάζονται δότες (π.χ. Φώσφορος)

- Ημιαγωγός τύπου p: Προκύπτει από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό αν αντικατασταθούν στο πλέγμα μερικά από τα άτομά του με άλλα άλλου υλικού μικρότερου σθένους. Στον ημιαγωγό αυτό τα άτομα πρόσμειξης μπορούν να δεχτούν ένα ηλεκτρόνιο για να συμπληρωθεί ο ελεύθερος δεσμός και ονομάζονται αποδέκτες.

Όταν δύο επιφάνειες των τύπων n-p έρθουν σε επαφή (εξάχνωση) τότε η διεπαφή τους υφίσταται διάχυση ηλεκτρονίων από το n στο p και αντιστρόφως από το p στο n και δημιουργείται ηλεκτροστατικό πεδίο. Αυτό υπάρχει πάντα και είναι ανεξάρτητο του φ/β φαινομένου.

Έτσι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών εμποδίζει την ροή ηλεκτρονίων στους δύο ημιαγωγούς και δημιουργείται μία ζώνη αντίστασης που απαγορεύει την ροή ηλεκτρονίων – οπών και ονομάζεται περιοχή φραγής ή απογύμνωσης. Η παραπάνω διάταξη που περιγράψαμε ονομάζεται δίοδος επαφής ή κρυσταλλοδίοδος ή ημιαγωγική επαφή p-n.

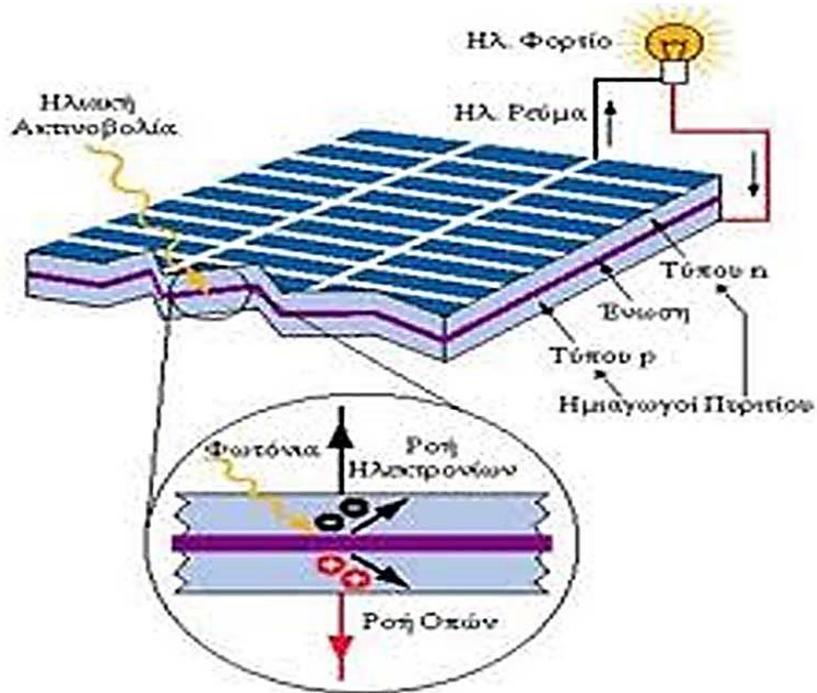
1.2.4. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ Φ/Β ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Όταν σε ένα σύστημα προσπέσει ηλιακή ακτινοβολία, τα ηλεκτρόνια του απελευθερώνονται. Αυτά τα σαρώνει το ηλεκτροστατικό πεδίο, που έχει δημιουργηθεί με την διεπαφή n-p, και τα μεταφέρει στην άλλη πλευρά. Αν οι δύο επαφές συνδεθούν μεταξύ τους, τότε το σύστημα διαρέεται από ηλεκτρόνια επί όσο χρόνο προσπίπτει το ηλιακό φως το οποίο μετατρέπεται σε ηλιακή ενέργεια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών. Ανεξάρτητα από την κρυσταλλική τους δομή, όλα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εμπεριέχουν μία δίοδο ημιαγωγού που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου. Συνήθως η δίοδος αυτή

δημιουργείται από την επαφή ενός στρώματος τύπου-n με ένα στρώμα τύπου-p ή ακόμα από την επαφή μεταξύ ενός ημιαγωγού με ένα κατάλληλα επιλεγμένο μέταλλο (δίοδος Schottky).

Στην εικόνα 1.10 φαίνεται σχηματικά το φ/β φαινόμενο.



Εικόνα 1.10: Το φ/β φαινόμενο σχηματικά ¹²

Η διάταξη αυτή, η οποία αποτελεί πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV-cell) και για λόγους ευκολίας γράφεται Φ/Β στοιχείο. Τέλος, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται φωτορεύμα. Θα αναλύσουμε παρακάτω την έννοια του φωτορεύματος. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε γιατί είναι πολύ σημαντικό, ότι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στο Φ/Β στοιχείο δεν απορροφάται όλη, αλλά γιατί ένα ποσό της ανακλάται στην ατμόσφαιρα.

Όπως είπαμε παραπάνω, το μέρος της ακτινοβολίας που περιέχει φωτόνια με ενέργεια h επί ν μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού δεν μπορεί να απορροφηθεί.

Οπότε αυτό το μέρος της ακτινοβολίας απλά διαπερνά τον ημιαγωγό και θερμαίνει τα υπόλοιπα μέρη του. Το ίδιο ισχύει και για το ποσό της ακτινοβολίας το οποίο μεταφέρει φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα.

1.2.5. ΤΟ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός που έχει έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,12 eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητές του, δηλαδή έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή ενεργειακού διακένου δεν είναι ιδεώδεις για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής Φ/Β στοιχείων. Αυτό συμβαίνει επειδή το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για πολλές δεκαετίες κατά συνέπεια οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες, το πυρίτιο κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες 600.000 τόνοι το χρόνο παγκοσμίως προκειμένου να κατασκευαστούν ατσάλι και κράματα. Ακόμα το υλικό κατασκευής του πυριτίου είναι θεωρητικά απεριόριστο, διότι το 60% του γήινου φλοιού είναι άμμος στο μεγαλύτερο μέρος του χαλαζίας ή διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂). Τέλος το πυρίτιο ως υλικό κατασκευής Φ/Β πλαισίων έχει δοκιμαστεί αρκετά χρόνια σε διάφορες εφαρμογές με αρκετά μεγάλη επιτυχία.¹³



Εικόνα 1.11: Τμήματα μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών στοιχεία, διακρίνεται το επάργυρο μέρος busbar όπου αυτό είναι ο αγωγός όπου τα ηλεκτρόνια οδηγούνται στην έξοδο και επίσης διακρίνονται και τα fingers¹⁴

1.2.5.1. ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ

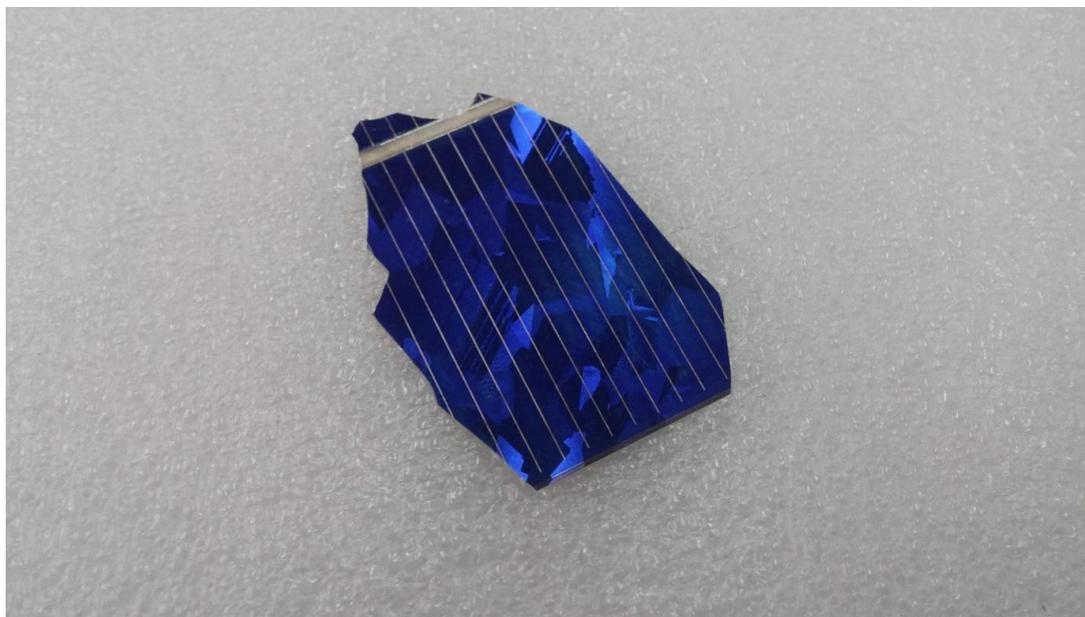
Το βασικό υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών αυτών είναι το Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Το πάχος των υλικών αυτών είναι σχετικά μεγάλο, περίπου 300μm. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου με τη μορφή πλαισίων κυμαίνεται από 13-18% και χαρακτηρίζονται από το υψηλό κόστος κατασκευής. Χρώμα: σκούρο μπλε.¹⁵



Εικόνα 1.12: Μονοκρυσταλλικό στοιχείο μαύρου χρώματος¹⁶

1.2.5.2. ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ

Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούμενα από επιστρώσεις, πάχους 10 έως 50 μm . Στην επιφάνεια της κυψελίδας, είναι ευδιάκριτες οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όρια τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων.



Εικόνα 1.13: Πολυκρυσταλλικό στοιχείο¹⁷

Άρα, όσο μικρότερο το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/Β στοιχείο, τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους. Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού Φ/Β στοιχείου, τόσο υψηλότερη η απόδοση του, η οποία κυμαίνεται από 17% έως ~20%, σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας και από 10% έως και 14%, σε βιομηχανική μορφή Φ/Β πλαισίου. Χαρακτηρίζεται από υψηλή χρονική σταθερότητα. Το κόστος για την παρασκευή τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο.

1.2.5.3. ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής μάζας υλικού που χρησιμοποιείται. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6 έως 8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων Φ/Β στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, που σκοπό έχει την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Π.χ. παρασκευάζονται Φ/Β στοιχεία από κράμα Πυριτίου με Άνθρακα και Γερμάνιο, τριών επαφών, a-SiGe (~1,4 eV), a-SiC (1,85 eV), με σταθεροποιημένη απόδοση περίπου 13%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών Φ/Β στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες Φ/Β πλαισίων.¹⁸).



Εικόνα 1.14: Πάνελ άμορφου πυριτίου (από το τμήμα των Α.Π.Ε. του Τ.Ε.Ι. δυτικής Ελλάδος).

1.2.5.4. ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ

Δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο με απόδοση περί το 13%. Μέθοδος υψηλού κόστους και προς το παρόν, περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής.¹⁹



Εικόνα 1.15: Πάνελ λεπτού ημενίου²⁰

1.2.5.5. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ

Σήμερα υπάρχουν τρεις τύποι οργανικών φωτοβολταϊκών διατάξεων: Οι ηλεκτροχημικές, οι οργανικές που βασίζονται σε μικρά οργανικά μόρια (κυρίως χρωστικές) και οι πολυμερικές. Οι μεγαλύτερες ενεργειακές αποδόσεις (11%) έχουν επιτευχθεί στις ηλεκτροχημικές διατάξεις (που είναι γνωστές ως Gratzel cells), οι οποίες βασίζονται σε ναοκρυσταλλικό TiO_2 και οργανικές χρωστικές. Μια ενδιαφέρουσα κατηγορία υλικών, ως προς την πιθανή χρήση τους σε φωτοβολταϊκές διατάξεις, είναι τα συζυγή πολυμερή (οργανικοί ημιαγωγοί) τα οποία συνδυάζουν τις οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες ενός κλασσικού ημιαγωγού με τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες ενός πολυμερούς. Οι σχετικές διατάξεις αναπτύσσονται συνήθως από διάλυμα με διάφορες απλές σε διαδικασία τεχνικές εναπόθεσης όπως με σταγόνες (drop casting), με φυγοκέντριση (spin-coating) και με εκτύπωση (printing), τεχνικές που λειτουργούν σε θερμοκρασίες δωματίου.²¹

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στην προσπίπτουσα ακτινοβολία. Η απόδοση του είναι γύρω στο 11% (πλαίσιο). Σε εργαστηριακές συνθήκες, η

απόδοση έφτασε στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτού υμενίου. Με την πρόσμιξη Γάλλιου CIGS, η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το πρόβλημα που δημιουργείται, είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Πάντως στα επόμενα χρόνια περιμένουμε το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.²²

Πλεονεκτούν σε σχέση με τα στοιχεία άμορφου πυριτίου, καθώς δεν εμφανίζουν βαθμιαία πτώση της απόδοσης για μια περίοδο μερικών ετών. Επίσης προσφέρουν μεγάλη οικονομία σε ημιαγώγιμα υλικά. Εν τέλει, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η ασφάλεια του προσωπικού κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, αφού η παραγωγή του περιλαμβάνει ένα πολύ τοξικό αέριο, το σεληνιούχο υδρογόνο.²³

Το CdTe έχει ενεργειακό χάσμα γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα γεγονός που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα, προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει αγγίξει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Εμπόδιο στη χρήση του Καδμίου αποτελεί το γεγονός ότι αυτό, σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελούριου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό, κατάλληλο για ενσωμάτωση στα κτίρια (BIPV Building Integrated Photovoltaic).²⁴

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι ακόμα σπανιότερο και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το Αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό χάσμα 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction), η απόδοση του είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και φθάνει στο 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που καθιστά την χρήση τους μοναδική σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από GaAs πλεονεκτούν έναντι άλλων διότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης προτιμούνται ιδιαίτερα σε διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας αποτελεί το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.²⁵

Τα νανοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα ή αλλιώς τα ηλιακά κύτταρα κβαντικών τελείων είναι κύτταρα βασισμένα σε νανοκρυστάλλους. Η τεχνολογία των νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών

εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς. Στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά κβαντικών τελείων μπορούν να προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως ευκαμψία, χαμηλό κόστος, καθαρή πηγή ενέργειας και απόδοση έως και 65%. Τα φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα (DSSC) είναι φωτοβολταϊκά βασισμένα σε νανοδιάστατο ημιαγωγό. Κύτταρα λεπτού film στα οποία ο ημιαγωγός βρίσκεται ανάμεσα στον φωτοευαίσθητοποιητή και τον ηλεκτρολύτη και βασίζονται στο φωτοηλεκτροχημικό φαινόμενο. Αυτό το σύστημα ιδιαίτερα χαμηλού κόστους, αναπτύχθηκε από τον Michael Grätzel and Brian O'Regan στην Πολυτεχνική Σχολή της Λωζάνης²⁶

Τα συγκεντρωτικά μέσα χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα για να συγκεντρώσουν το φως του ήλιου επάνω σε ένα δέκτη. Αυτό επιτρέπει την μείωση της επιφάνειας φωτοβολταϊκών κυττάρων που απαιτείται για την παραγωγή ενός δεδομένου ποσού ισχύος. Ο στόχος είναι να μειωθεί σημαντικά το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με την αντικατάσταση των φωτοβολταϊκών κυττάρων, με το λιγότερο ακριβό οπτικό υλικό. Αυτό παρέχει επίσης την ευκαιρία να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά κύτταρα υψηλής απόδοσης, που θα ήταν απαγορευτικά ακριβά χωρίς την χρήση συγκέντρωσης. Κατά συνέπεια, τα συγκεντρωτικά συστήματα μπορούν εύκολα να υπερβούν την απόδοση ενεργειακής μετατροπής του 20%. Στο μέλλον, η χρήση των κυττάρων multifunction, αναμένεται να αυξήσει την απόδοση πάνω από 30%. Ενώ η έννοια είναι απλή, και έχει μελετηθεί από την αρχή που έκαναν τα φωτοβολταϊκά την εμφάνισή τους, η πρακτική έχει αποδειχθεί απατηλά δύσκολη. Οι κεντρικές τεχνικές δυσκολίες, εντούτοις, οφείλονται στην ανάγκη των συγκεντρωτικών συστημάτων για αντοχή κάτω από υψηλές τιμές ροής θερμότητας και στην μεγάλη ηλεκτρική πυκνότητα ρεύματος, συν την ανάγκη για τα οικονομικώς πιο αποδοτικά και αξιόπιστα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου. Τα κύρια εμπόδια εφαρμογής των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών οφείλονται στο γεγονός ότι τα συγκεντρωτικά συστήματα, που πρέπει στις περισσότερες περιπτώσεις να ακολουθούν τον ήλιο, εξυπηρετούν την παραγωγή μεγάλων ενεργειακών φορτίων και όχι τις εφαρμογές στα κτίρια. Τα συγκεντρωτικά συστήματα αναπτύχθηκαν με βασική ιδέα την παραγωγή μεγάλων ποσών μη ρυπαντικής ανανεώσιμης ενέργειας. Μέχρι τώρα, το κόστος είναι υψηλό για να ανταγωνιστούν τα συμβατικά καύσιμα. Το χάσμα του κόστους όμως στενεύει και εμφανίζεται μια ισχυρή πιθανότητα, όπου τα μελλοντικά συγκεντρωτικά συστήματα θα είναι οικονομικώς αποδεκτά για την εφαρμογή τους.²⁷

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών διπλής όψεως, προήλθε από τις διαστημικές ανάγκες της Σοβιετικής Ένωσης. Για τους δορυφόρους η μόνη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος και για την υποστήριξη των οργάνων τους χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκές κυψέλες. Προκειμένου οι δορυφόροι με τα πάνελ να είναι ενεργειακά αυτόνομοι, επινοήθηκε η τεχνική λείανσης της κυψέλης και από την πίσω πλευρά και το κλείσιμό της μεταξύ δύο τζαμιών (sandwich). Αυτή η επινοήση οδήγησε σε ένα προϊόν που αποδίδει περισσότερη ενέργεια από πιο μικρή επιφάνεια. Η απόδοση των συστημάτων αυτών εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από τη χρονική διάρκεια που θα "βλέπουν" τον Ήλιο κάθετα. Έχουν απόδοση 15-19%. Τα συμβατικά πάνελ, αξιοποιούν μέρος

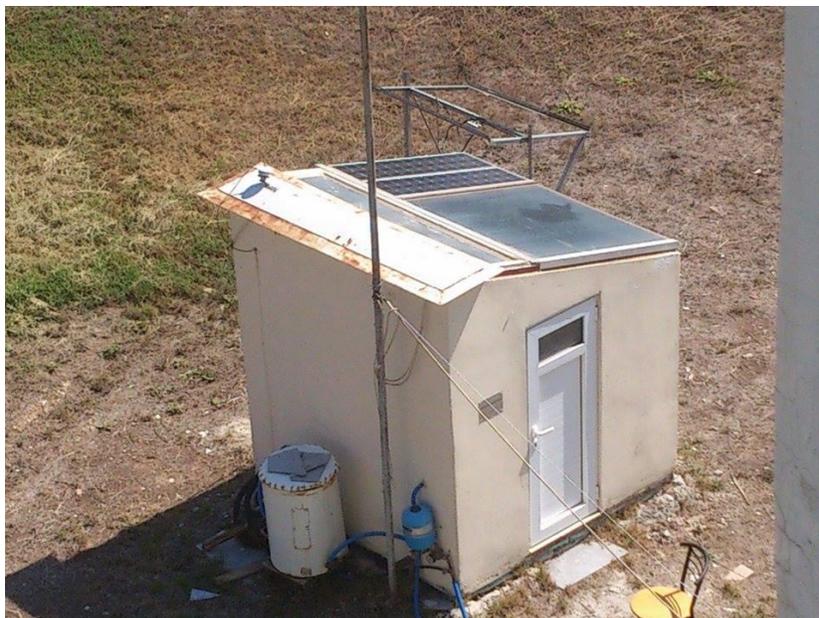
μόνο της προσφερόμενης ηλιακής ενέργειας, αφού ως γνωστόν είναι ενεργά μόνο από τη μία όψη, η οποία ενεργοποιείται όταν ο ήλιος βρίσκεται στο νότιο μισό του ορίζοντα και σε ένα εύρος της τάξεως των 150ο. Από την άλλη πλευρά τα bifacial – windsol εκμεταλλεύονται επιπλέον: α) το χρονικό διάστημα που ο ήλιος βρίσκεται στην βόρεια πλευρά του νοητού άξονα ανατολής – δύσης και που κατά την περίοδο του καλοκαιριού είναι πάνω από 7 ώρες ημερησίως, β) την διάχυτη ακτινοβολία και γ) αυτή που ανακλάται.²⁸

1.2.6. Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η διαδικασία της δημιουργίας μιας επαφής p-n, περιλαμβάνει προετοιμασία του βασικού υλικού (δηλαδή, του ενδογενούς ημιαγωγού), παρασκευή των δύο τμημάτων ημιαγωγού με προσμειξεις τύπου p και η και συνένωση των δύο τμημάτων. Στην πράξη, παρασκευάζεται, αρχικά, ο ένας εκ των δύο ημιαγωγών πρόσμειξης, π.χ. ο ημιαγωγός τύπου p. Προκύπτει από τον ενδογενή ημιαγωγό, λ.χ. το Πυρίτιο, το Γερμάνιο κ.α., στον οποίο προστίθεται πρόσμειξη στοιχείου από την ομάδα των αποδεκτών. Στο επόμενο στάδιο δημιουργείται, με κάποια από τις μεθόδους, που περιγράφονται στη συνέχεια, η περιοχή τύπου n, με προσθήκη στοιχείου από την ομάδα των δοτών. Ως δότες χρησιμοποιούνται, συνήθως, το Λίθιο Li, ο Φωσφόρος P, το Αρσενικό As, το Αντιμόνιο Sb, το Βισμούθιο Bi κ.α. και ως αποδέκτες το Βόριο B, το Αλουμίνιο Al, το Γάλλιο Ga, το Ίνδιο In κ.α. Το Πυρίτιο είναι από τα πλέον διαδεδομένα στοιχεία, στη φύση (αποτελεί, περίπου, το 28 %, του στερεού φλοιού της γης), με τη μορφή διαφόρων ενώσεων του. Το οξείδιο του Πυριτίου (SiO₂), αποτελεί το κύριο συστατικό της άμμου.²⁹



Εικόνα 1.16: Φ/β γεννήτρια σε στέγη στο εργαστήριο ΑΠΕ του Τει Δυτικής Ελλάδας



Εικόνα 1.17: Πάνελ σε αυτόνομο φ/β σύστημα σε στέγη του οικίσκου δοκιμών στο εργαστήριο ΑΠΕ του Τει Δυτικής Ελλάδας

1.2.7. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ

1.2.7.1. ΑΥΤΟΝΟΜΑ

Υπάρχουν περιπτώσεις που το ηλεκτρικό ρεύμα είναι «πολυτέλεια» για ορισμένες περιοχές που είναι απομακρυσμένες από το δίκτυο. Σε αυτές τις περιοχές το ρεύμα είναι εξαιρετικά ακριβό και έτσι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι μια ανταγωνιστική λύση στο πρόβλημα. Ακόμα καλύτερα όταν η περιοχή που μελετάμε, έχει αρκετή ηλιοφάνεια, τροφοδοτώντας με ευκολία ηλεκτρικές συσκευές και όχι μόνο. Συστήματα άντλησης νερού, ειδικά αν οι περιοχές αυτές έχουν γεωτρήσεις, κέντρα υγείας, καταστήματα που πρέπει να έχουν τρόφιμα σε καταψύκτες, σε φωτισμό δρόμων, σε φωτεινούς σηματοδότες κ.α. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούν τα απομονωμένα Φ/Β συστήματα, ή αλλιώς off-grid systems. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε την διαφορά. Απομονωμένα είναι τα συστήματα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Είναι ανεξάρτητα. Τροφοδοτούν μόνο τις εκάστοτε ανάγκες για τις οποίες και εγκαταστάθηκαν. Δεν δίνουν ρεύμα στο δίκτυο. Τα απομονωμένα με την σειρά τους διακρίνονται σε αυτόνομα και υβριδικά. Πολλοί μπερδεύονται και πιστεύουν ότι απομονωμένα και αυτόνομα είναι το ίδιο. Δεν έχουν άδικο, απλά ως απομονωμένα μπορούν να χαρακτηριστούν και τα υβριδικά γιατί απλούστατα και εκείνα προορίζονται και απομακρυσμένες περιοχές και δεν δίνουν ρεύμα στο δίκτυο. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να καλύπτουν αποκλειστικά τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες μιας

οικείας ή μιας φάρμας κ.α. Το ρεύμα που παράγουν μπορεί να είναι είτε εναλλασσόμενο είτε συνεχές. Επίσης, τα αυτόνομα συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες : Τα αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση ενέργειας και τα αυτόνομα συστήματα χωρίς αποθήκευση ενέργειας.



Εικόνα 1.18: Πάνελ σε διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα σε πάρκο³⁰

Με την απλή λογική καταλαβαίνουμε ότι τα μεν, κατά την διάρκεια της μέρας τροφοδοτούν κανονικά τις συσκευές μας και μέσω συσσωρευτών, αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας και την χρησιμοποιούν το βράδυ όπου δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία και τις συννεφιασμένες μέρες που είναι ελάχιστη. Τα δε αυτόνομα χωρίς αποθήκευση απλά διανέμουν το φορτίο που παράγουν κατευθείαν στις συσκευές κατανάλωσης. Τα πρώτα έχουν πολλές εφαρμογές σε σπίτια σε επιχειρήσεις κ.α. ενώ τα δεύτερα σε συστήματα ύδρευσης καλλιέργειών όπου ορισμένα δέντρα δεν χρειάζονται μεγάλες ποσότητες νερού. Σε αυτά τα συστήματα χρειαζόμαστε τα πλαίσια, συσσωρευτές, έναν ρυθμιστή φόρτισης και έναν inverter και προαιρετικά έναν ρυθμιστή ισχύος ή αλλιώς έναν mppt tracker γιατί από την στιγμή που υπάρχουν συσσωρευτές, το σύστημα δουλεύει κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος.

1.2.7.2. ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ

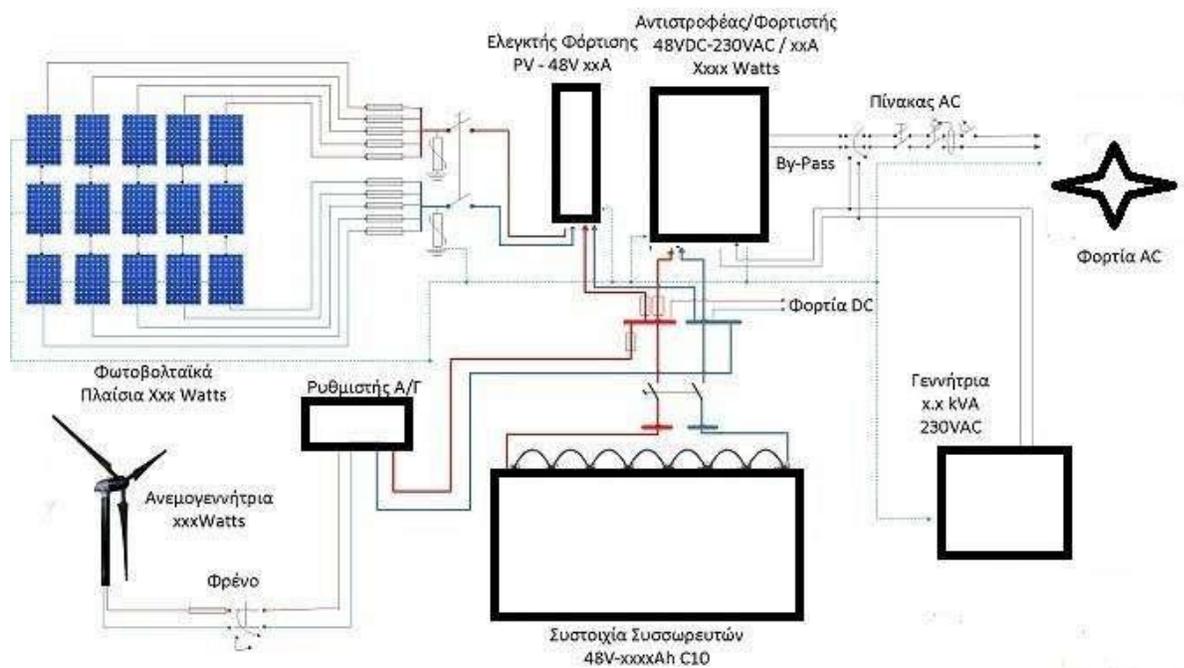
Τα συστήματα αυτά συνδέονται απευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το φωτοβολταϊκό σύστημα, ένα τεράστιο απόθεμα ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Άρα, στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως κατανεμημένα συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς

φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως.) Τα καταναμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή (αλληλεπίδραση με το δίκτυο, διοχετεύοντας την επιπλέον παραγόμενη ενέργεια σε αυτό.

31

1.2.7.3. ΥΒΡΙΔΙΚΑ

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μορφές ενέργειας βάσει των οποίων είναι δυνατή η παραγωγή ενέργειας χωρίς σημαντικές επιπτώσεις για το περιβάλλον.



Εικόνα 1.19: Πάνελ συνδεδεμένο υβριδικά μαζί με ανεμογεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που έχουν τα συστήματα αυτά είναι η διακύμανση στην παραγωγή ενέργειας. Συστήματα όπως τα ηλιακά ή αιολικά συστήματα εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, γεγονός που επηρεάζει την παραγωγή ενέργειας καθώς αυτές μεταβάλλονται κατά την διάρκεια του χρόνου. Για αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητο η αναζήτηση λύσεων με σκοπό τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας. Προς την κατεύθυνση αυτή, τα υβριδικά ενεργειακά συστήματα (hybrid energy systems) αποτελούν έναν

τομέα ο οποίος είναι δυνατόν να προσφέρει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση. Ένα κοινό υβριδικό σύστημα αποτελείται συνήθως από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα:

- Μία πρωτογενής πηγή ενέργειας (π.χ. ανανεώσιμη πηγή ενέργειας)
- Μία δευτερογενής πηγή, η οποία προσφέρει πρόσθετη ενέργεια στο σύστημα
- υπό κανονικές συνθήκες και κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας σε
- περιπτώσεις όπου η πρωτογενής πηγή είναι εκτός λειτουργίας.
- Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (για μη διασυνδεδεμένα με το δίκτυο
- συστήματα) για τη διασφάλιση της σταθερότητας της παροχής ενέργειας.
- Ένας ελεγκτής φόρτισης.
- Το υλικό εγκατάστασης (καλώδια, κουτιά ασφαλείας κτλ)
- Οι συσκευές κατανάλωσης ενέργειας ³²

1.2.8. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων ή και όλης της εγκατάστασης, αποτελεί ίσως τον πιο βασικό παράγοντα για την απόδοσή τους και την σωστή λειτουργία του συστήματος. Ο προσανατολισμός τους χαρακτηρίζεται από την ηλιακή γεωμετρία που έχουμε μελετήσει και αναλύσει σε παραπάνω ενότητα και θα εφαρμόσουμε και στην μελέτη μας. Έχει να κάνει με την κλίση του πλαισίου και με το αζιμούθιο.

Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως, ένα αποδοτικό Φ/Β σύστημα πρέπει να είναι προσανατολισμένο στον νότο καθώς έτσι, λαμβάνει την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Κανένας δεν απαγορεύει σε κάποιον να τοποθετήσει την εγκατάστασή του προς τον Βορρά ας πούμε, αλλά θα υπολειτουργεί και θα σκιάζεται. Ακόμα και σε κτηριακή ενσωμάτωση μπορεί να μην είναι προσανατολισμένα ακριβώς σε νότια κατεύθυνση τα πλαίσια, αλλά σίγουρα οι εκάστοτε μηχανικοί θα φροντίζουν τουλάχιστον να είναι τοποθετημένα σχεδόν προς τον Νότο. Από την άλλη, κάτοικοι του Νότιου ημισφαιρίου τοποθετούν τα πλαίσια προς τον Βορρά! Όσο και αν μας φαίνεται περίεργο για εμάς, ισχύει βάση της ηλιακής γεωμετρίας. Έτσι λοιπόν, η βέλτιστη αζιμουθιακή γωνία για να είναι αποδοτική η εγκατάστασή μας είναι οι 0ο . Δηλαδή κατεύθυνση ακριβώς προς τον Νότο. Αυτό στην εγκατάσταση γίνεται με όργανα ακριβείας όπως η μαγνητική ή η γυροσκοπική τυξίδα που διαθέτουν μηχανικοί.



Εικόνα 1.20: Πάνελ προσανατολισμένο νότια στην οροφή του εργαστηρίου ΑΠΕ του τει δυτικής Ελλάδας

Όσον αφορά την γωνία κλίσης του συλλέκτη ως προς το επίπεδο, υπάρχει μία βασική παράμετρος που πρέπει να αναφερθεί. Θέλουμε η κλίση του πλαισίου να είναι τέτοια ώστε να έχουμε την μέγιστη απόδοση στο πλαίσιο. Όταν είναι κάθετη η ηλιακή ακτινοβολία ως προς αυτό, σε συγκεκριμένη κλίση, τότε αυτή είναι και η πιο αποδοτική κλίση. Ο ήλιος όμως δεν είναι στο ίδιο ύψος όλο τον χρόνο. Αλλάζει, μέρα με την μέρα και εξαρτάται από έναν αριθμό τον οποίο έχουμε αναφέρει στην παράγραφο με την ηλιακή γεωμετρία. Συμβολίζεται με δ και ονομάζεται ηλιακή απόκλιση. Αυτός ο αριθμός μας βοηθά στην εύρεση της βέλτιστης κλίσης του πλαισίου ακόμα και για συγκεκριμένη μέρα του έτους. Έτσι, η κλίση μιας εγκατάστασης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής ϕ και την απόκλιση του ήλιου δ .

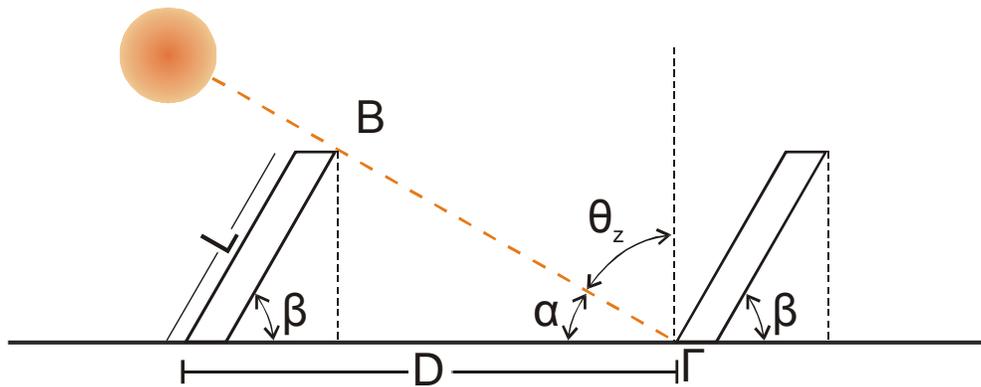
Εάν όπου η βάλουμε την μέρα του έτους που επιθυμούμε, θα πάρουμε ως αποτέλεσμα μία τιμή. Παράδειγμα για την 21η Μαρτίου και την 23η Σεπτεμβρίου, λόγω ισημερίας είναι ίση με το 0. Εάν θέλουμε να μάθουμε την βέλτιστη κλίση για το χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο, βλέπουμε αντίστοιχα, $\delta = -23,45^\circ$ και $\delta = 23,45^\circ$.

Παράδειγμα, εάν χρησιμοποιήσουμε τον τύπο $\beta = \phi - \delta$ για να βρούμε την επιθυμητή κλίση βλέπουμε ότι στα ηλιοστάσια έχουμε για ϕ έστω 40 , κλίση $\beta = 16,5^\circ$ για 22η Ιουνίου και $\beta =$

63,45° για την 22η Δεκεμβρίου. Σε περίπτωση σταθερών βάσεων τοποθέτησης Φ/Β πλαισίων, όπου δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης, προτείνεται $\beta = \varphi$ για να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοση. Στην Ελλάδα όμως, σε σχετική οδηγία από το ΤΕΕ, προτείνεται, ανεξαρτήτου γεωγραφικού πλάτους, τα πλαίσια να τοποθετούνται με $\beta = 30^\circ$.

1.2.9. ΔΙΑΤΑΞΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΥΤΩΝ

Η τοποθέτηση των συστοιχιών ενός Φ/Β σταθμού, η μια πίσω απ' την άλλη, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη, κατά κύριο λόγο, τη σκίαση που θα προκαλέσει η νοτιότερη στην αμέσως επόμενη, αν η απόσταση μεταξύ τους γίνει μικρότερη μιας χαρακτηριστικής. Σημειώστε ότι, γενικά, η σκίαση μέρους την χαμηλότερης σειράς Φ/Β πλαισίων της συστοιχίας μηδενίζει την ενεργειακή της απόδοση, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν διάοδοι παράκαμψης σε κάθε ΦΒ πλαίσιο.



Εικόνα 1.21: Πάνελ στοιχισμένα ώστε να μην σκιάζονται μεταξύ τους – ελάχιστη απόσταση³³

Άρα, απαιτείται ο προσεκτικός σχεδιασμός της χωροθέτησης των συστοιχιών, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από το Φ/Β συγκρότημα, για όλο το έτος ενώ ταυτόχρονα το σύνολο των συστοιχιών να καταλαμβάνει, κατά το δυνατόν, μικρότερη έκταση.

³⁴Για να το επιτύχουμε αυτό μπορούμε να κάνουμε το εξής: ³⁵

$$\text{Θεωρούμε την σχέση: } \cos\theta_z = \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta \quad (1.18)$$

Ως γνωστόν για το ηλιακό μεσημέρι ισχύει: $\omega=0$. Ας υποθέσουμε ότι το σύστημα των πλαισίων θα λειτουργεί όλο τον χρόνο, τότε το ύψος του ηλίου είναι ελάχιστο στις 22 Δεκεμβρίου. Το μήκος της σκιάς είναι μεγαλύτερο και συνεπώς για την περίπτωση αυτή πρέπει να υπολογίσουμε την ελάχιστη απόσταση D μεταξύ των σειρών των ηλιακών συλλεκτών. Είναι φανερό ότι για άλλες ημερομηνίες, π.χ. 2 Ιουλίου, 23 Ιουνίου, ο ήλιος είναι υψηλότερα και εφόσον ο ήλιος δεν σκιάζει τις σειρές στις 22 Δεκεμβρίου δεν θα τις σκιάζει και τότε.

Έχοντας υπ' όψιν την προϋπόθεση αυτή θα παίρνουμε την τιμή του (δ) που αντιστοιχεί στις 22 Δεκεμβρίου, δηλαδή $\delta = -23.45\circ$.

Από τον νόμο των ημιτόνων ισχύει:

$$\frac{\sin(180 - \beta - \alpha)}{D} = \frac{\sin \alpha}{L} \Rightarrow \frac{\sin(180 - \alpha - 90 + \theta_z)}{D} = \frac{\sin(90 - \theta_z)}{L} \Rightarrow$$

$$D = L \cos(\beta - \theta_z) / \cos \theta_z$$

$$\text{ή} \quad D = L \times \frac{\sin(\beta + \alpha)}{\sin \alpha} \quad (1.19)^{36}$$

1.2.9.1. ΣΤΗΡΙΞΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΜΕ TRACKER (ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ) ΕΝΟΣ Ή ΔΥΟ ΑΞΟΝΩΝ

Η ιχνηλατήση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της κίνησης των βάσεων των φωτοβολταϊκών κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται σε συνεχή βάση η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας επάνω στην επιφάνειά τους.



Εικόνα 1.22: Πάνελ στοιχισμένα σε σταθερή βάση για παραγωγή ρεύματος σε οικία στην περιοχή της Πάτρας

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές, ή τράκερ (tracker) είναι περισσότερο πολύπλοκα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων, ωστόσο παρέχουν αυξημένη απόδοση, περίπου της τάξης του 30% κατά μέσο όρο. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Συστήματα μονού άξονα (single axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Με τα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα με σταθερές βάσεις.
- Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται με συνήθως με ηλεκτρομηχανικά ή ηλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Έτσι, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά 10 λεπτά. Δύο είναι οι συνήθεις τρόποι ανίχνευσης της τροχιάς του ήλιου: ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι καταλαβαίνουν τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος πραγματοποιείται μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, σύμφωνα με τα οποία υπολογίζεται η θέση καθώς επίσης και η πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.³⁷

1.2.10. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

Σε ένα κτήριο ή σε μια κατοικία και γενικά σε οποιαδήποτε συμβατή κτηριακή εγκατάσταση μπορούν να προσαρμοσθούν διάφοροι τύποι Φ/Β πλαισίων και όχι μόνο. Μπορούν επίσης να τοποθετηθούν και ηλιακοί συλλέκτες καθώς και υβριδικά συστήματα. Σε ένα κτήριο εκτός από στέγες, οροφές και προσόψεις, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την αρχιτεκτονική του τοποθετώντας Φ/Β πλαίσια σε:

- Πέργολες, χαγιάτια, υπόστεγα
- Μπαλκόνια και περσίδες

Αλλά εκτός από την απλή τοποθέτηση και σύμφωνα πάντα με την βέλτιστη κλίση, για μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, υπάρχει και η μέθοδος της ενσωμάτωσης σε κτήρια.



Εικόνα 1.23: Φ/Β πλαίσια στην στέγη του εργαστηρίου των ΑΠΕ στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Ένα Φ/Β σύστημα είναι ενσωματωμένο σε κτήριο, όταν η χρήση των Φ/Β έχει μπει στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και η τοποθέτηση τους γίνεται μαζί με την κατασκευή του κτηρίου. Αυτά τα πλαίσια αποτελούν υλικό για το κέλυφος του κτηρίου, ενώ μαζί λειτουργούν ως παραγωγοί καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, με σημαντικό αβαντάζ την εξοικονόμηση κόστους τόσο των υλικών όσο και της ενέργειας. Τα Φ/Β σήμερα, μπορούν να γίνουν ιδανικά οικοδομικά στοιχεία σε πολλές εφαρμογές καθώς επιτρέπουν ευελιξία στον σχεδιασμό. Μπορούν να αντικαταστήσουν τα κλασσικά οικοδομικά υλικά σε εφαρμογές όπως η σκίαση. Η σύγχρονη Φ/Β τεχνολογία συνδυάζει την μέγιστη ενεργειακή απόδοση των Φ/Β συστημάτων.

Οπότε έχουμε συνολικά:

- Απευθείας ενσωμάτωση σε μία στέγη
- Πλήρης ενσωμάτωση σε στέγη όπου τα Φ/Β έχουν το ρόλο της σκεπής αντικαθιστώντας το αντίστοιχο οικοδομικό υλικό.
- Θερμική προστασία, μόνωση, προστασία από τον ήλιο, ηχοπροστασία, με την ενσωμάτωση στην πρόσοψη ενός κτηρίου και τοποθετούνται σε κρύα πρόσοψη ως υαλοπέτασμα ή ως θερμή πρόσοψη.
- Σκίαστρα από Φ/Β πάνελ τοποθετημένα στην βέλτιστη κλίση ή ακόμα και σκίαστρα που ακολουθούν την πορεία του ήλιου με tracking system.

- Ενσωμάτωση σε στέγαστρα και σε θολωτά στέγαστρα
- Ενσωμάτωση σε καμπύλη οροφή
- Ενσωμάτωση σε επίπεδη οροφή
- Στοιχεία ορτίσολ για να περνά το φως και για ενσωμάτωση σε κτήρια
- Πέργκολες με ενσωματωμένα Φ/Β στοιχεία
- Φ/Β μεμβράνες σε στέγες
- Ανοιγοκλειόμενα Φ/Β σκίαστρα



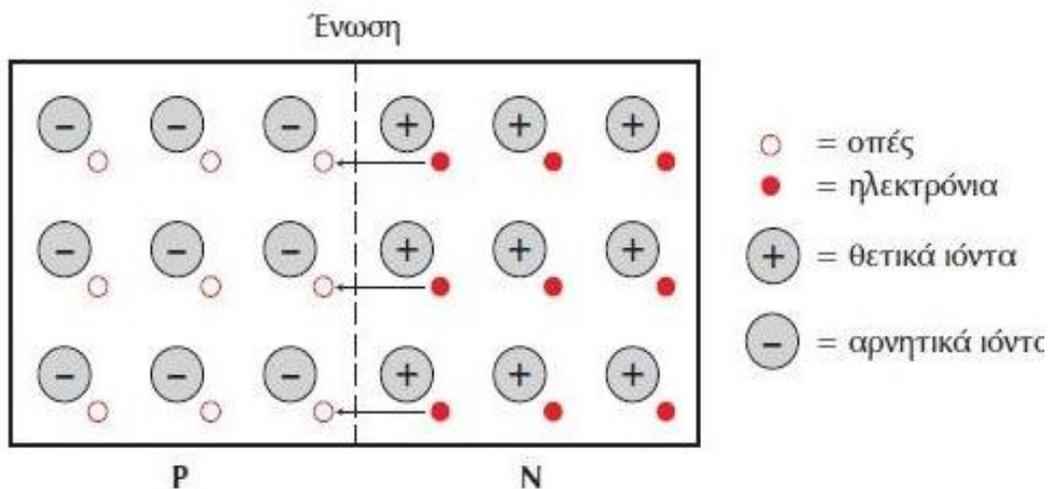
Εικόνα 1.24: Φ/β πλαίσιο σε τράκερ ενός άξονα (κτίριο ΑΠΕ στο ΤΕΙ δυτικής Ελλάδος)

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

2.1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το ρεύμα είναι ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Δύο παράγοντες επιδρούν πολύ στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων. Πρώτον, με την επίδραση φωτισμού, κατάλληλου εύρους μήκους κύματος, τα ζεύγη ηλεκτρονίων - οπών δημιουργούνται σε όλη την επιφάνεια των επαφών. Δεύτερον, με την επίδραση της θερμοκρασίας (επειδή η διάταξη βρίσκεται σε ορισμένη θερμοκρασία). Οπότε, διακρίνουμε τα ζεύγη ηλεκτρονίων - οπών, που δημιουργούνται αφενός μέσα στην περιοχή επαφής, όπου υπάρχει το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, αφετέρου, έξω απ' αυτήν αλλά πολύ κοντά στα σύνορα των περιοχών τύπου p και n. Για παράδειγμα αν η απόδοση είναι 15% τότε το 85% χάνεται με μορφή θερμότητας στο περιβάλλον.



Εικόνα 2.1: Επαφή p-n σε σχηματική αναπαράσταση

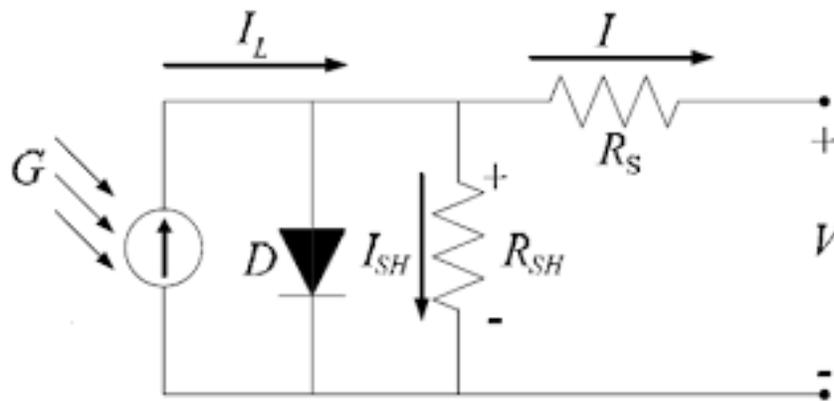
2.1.2. ΦΩΤΟΡΕΥΜΑ

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φ/β φαινόμενο. Κατά τον τρόπο αυτό όταν ένα φ/β στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτορεύμα I_{ph} . Το ρεύμα αυτό είναι ανάλογο με τα απορροφούμενα από το στοιχείο φωτόνια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια

του φωτοβολταϊκού στοιχείου προκαλεί την διέγερσή του με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το φωτορεύμα είναι ευθέως ανάλογο της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει στο Φ/Β στοιχείο και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών.

2.1.3. ΕΜΒΑΘΥΝΣΗ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Όπως αναφέραμε παραπάνω, δύο παράγοντες επιδρούν πολύ στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων. Για να μελετήσουμε με βάθος τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, που δεν δέχεται σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, πιστεύουμε ότι αποτελεί πηγή ρεύματος και ελέγχεται απλά από μια δίοδο επαφής. Αν στο απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα τα άκρα της επαφής συνδεθούν με χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής, (άρα πρακτικά μηδενικής αντίστασης), το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο και διαρρέεται από ρεύμα ίσο με το φωτόρεύμα, που ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} του Φ/Β στοιχείου (short-circuit current).



Εικόνα 2.2: Ηλεκτρικό ανάλογο ενός φ/β στοιχείου. Διακρίνουμε την δίοδο και το ρεύμα I_d .

Αν τα άκρα της επαφής δεν συνδέονται μεταξύ τους, δηλαδή, έχουμε ανοιχτό κύκλωμα, η τάση στο άκρο ονομάζεται τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} του Φ/Β στοιχείου (open-circuit voltage). Στην πραγματικότητα το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου περιλαμβάνει ακόμα δύο αντιστάσεις:

- Τη σειριακή αντίσταση R_s (series resistance), η οποία συνδέεται σε σειρά με τη δίοδο επαφής και αφορά στις αντιστάσεις κατά το πέρασμα του ρεύματος μέσα από τη δίοδο και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια.

- Την αντίσταση διαρροής R_{sh} (shunt resistance), η οποία συνδέεται παράλληλα με τη δίοδο επαφής και αφορά στη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής. Τα Φ/Β στοιχεία του εμπορίου έχουν συνήθως $R_s < 5\Omega$ και $R_{sh} > 500\Omega$.³⁸

2.2. ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε και να αξιολογήσουμε την απόδοση και την ισχύ αιχμής που αποδίδουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, η επιστημονική κοινότητα έχει θέσει κάποια test τα οποία έχουν σαν βάση τις ακόλουθες συνθήκες: Μάλιστα, στο βιβλίο «Μηχανική των Φ/Β Συστημάτων», του κύριου Σωκράτη Καπλάνη αναφέρονται τα εξής:

Οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου (S.T.C.: Standard Test Conditions) υπό τις οποίες γίνονται οι δοκιμές-μετρήσεις των ανωτέρω μεγεθών είναι οι εξής:

- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτουσας στα PV-πλαίσια: 103W/m^2
- Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού πλαισίου, $T_c=25\text{C}$
- Φάσμα προσπίπτουσας ακτινοβολίας: $A.M=1.5$

Τυπικές Συνθήκες Λειτουργίας PV – πλαισίων, Standard Operating Conditions (SOC). Οι ακόλουθες συνθήκες έχουν προταθεί για τον προσδιορισμό της ισχύος αιχμής, ώστε αυτές να προσεγγίζουν περισσότερο μια πραγματική κατάσταση λειτουργίας, δηλ. η τιμή P_m που θα προκύπτει από τις συνθήκες αυτές να προσεγγίζει αυτήν που θα αποδίδει το PV –σύστημα στο πεδίο εφαρμογής. Οι συνθήκες είναι:

- Ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας 800 W/m^2 .
- Θερμοκρασία αέρα (περιβάλλοντος), $T_a=20\text{ oC}$.
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/sec .
- Προσανατολισμός προς Νότο και μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι.
- Μετρήσεις υπό συνθήκες ανοικτού κυκλώματος.

Ονομαστικές τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας ενός PV – πλαισίου, Nominal Operation Cell Temperature (NOCT). Είναι η θερμοκρασία που αποκτά ένα PV – πλαίσιο όταν λειτουργεί υπό

συνθήκες (SOC). Συνήθως η NOCT είναι μια θερμοκρασία κατά 20 – 40 οC πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.³⁹

Major Solar PV Module Test Conditions Comparison

Testing Condition	Abbreviation	Irradiance (W/m ²)	Module Temperature (°C)	Ambient Temperature (°C)	Air Mass (AM)	Wind Speed (m/s)	Module tilt angle (°C)
High Temperature Conditions	HTC	1000	75	/	1.5	0	/
Low Irradiance Conditions	LIC	200	25	/	1.5	0	/
Low Temperature Conditions	LTC	500	15	/	1.5	0	/
Normal Operating Cell Temperature	NOCT	800	/	20	1.5	1	45
PV-USA Test Conditions	PTC	1000	/	20	1.5	1	/
Standard Test Conditions	STC	1000	25	/	1.5	0	/

Εικόνα 2.3: Σύγκριση μεθόδων πιστοποίησης φ/β στοιχείων⁴⁰

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες και δοκιμές εισάγεται ο όρος της ισχύος αιχμής σαν ένα βασικό χαρακτηριστικό του Φ/Β στοιχείου. Ισχύς αιχμής P_p (pick power) ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που αποδίδεται από το Φ/Β στοιχείο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC και έχει μονάδα μέτρησης το W_p (Watt αιχμής). Όπως ακριβώς η έννοια της ισχύος αιχμής ορίζεται για το Φ/Β στοιχείο, έτσι ακριβώς ισχύει και για το Φ/Β πλαίσιο. Έτσι, Ισχύς αιχμής P_p πλαισίου είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται από το Φ/Β πλαίσιο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου. Για όλα αυτά τα χαρακτηριστικά θα μιλήσουμε σε μεταγενέστερη ενότητα.

2.3. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Το Πυρανόμετρο δεν είναι ένα απλό όργανο μέτρησης για ένα απλό μέγεθος. Αποτελεί αξιόπιστο όργανο, σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για μετρήσεις έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε (W/m²). Η ετυμολογία της λέξης πυρανόμετρο προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις πυρ (φωτιά), άνω (ψηλά) και μέτρο. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να ειπωθεί πως το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της έντασης ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Η αρχή λειτουργίας του, βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή φαινόμενο Peltier.



Εικόνα 2.4: Πυρανόμετρο στο εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας ⁴¹

Η εικόνα δείχνει ένα πυρανόμετρο εγκαταστημένο στο εργαστήριο των ΗΜΕ, του ΤΕΙ Πάτρας, για την μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις φωτοβολταϊκές (Φ/Β) κυψελίδες. Το ίδιο όργανο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας : ολικής ή/και διάχυτης, ανάλογα με την περίπτωση. Το πυρανόμετρο αυτό είναι τύπου CM11 του κατασκευαστικού οίκου Kipp & Zonen. Τα πυρανόμετρα αυτού του τύπου έχουν ακρίβεια $\pm 1\%$ και μετρούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο που είναι τοποθετημένα.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε την αρχή λειτουργίας του πυρανομέτρου και πως αυτό εργάζεται. Τα πυρανόμετρα αναπτύσσουν, λόγω του θερμοηλεκτρικού φαινομένου, μια διαφορά δυναμικού (τάση) στα άκρα θερμοζευγών τα οποία είναι ενσωματωμένα στο πυρανόμετρο και τα μισά εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τα άλλα μισά είναι σκιασμένα. Η ηλεκτρική τάση δημιουργείται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μεταξύ των σκιασμένων και των εκτιθεμένων στην ηλιακή ακτινοβολία θερμοζευγών ή θερμοπυλών. Η Θερμοπύλη είναι ένα σύνολο θερμοζευγών συνδεδεμένων μεταξύ των εν σειρά για την αύξηση της ευαισθησίας και της αξιοπιστίας στην μέτρηση του δυναμικού.

Είναι προφανές ότι η παραγόμενη διαφορά δυναμικού είναι συνάρτηση της προσπίπτουσας έντασης και μάλιστα ανάλογη του συνημίτονου της γωνίας θ , πρόσπτωσης. Επομένως, η μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας ανάγεται στην μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της θερμοπύλης. Ένα τέτοιο όργανο, π.χ. το 1^{ης} τάξης πυρανόμετρο Kipp και Zonen, αποτελείται από μια κυκλική διάταξη 100 θερμοζευγών τυπωμένων σε ένα κεραμικό υπόστρωμα.

Το υλικό αυτό έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα ώστε οι θερμικές απώλειες λόγω διαφοράς θερμοκρασίας να είναι αμελητέες.



Εικόνα 2.5: Πυρανόμετρο της εταιρείας Kipp & Zonen με στεφάνη σκίασης. Το σύστημα αυτό μετρά την ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας.⁴²

Ο δίσκος με τα θερμοζεύγη ευρίσκεται εντός δύο ημισφαιρικών γυάλινων κελυφών με ξηρό αέρα. Η ακρίβεια των οργάνων αυτών πρώτης τάξης είναι $\pm 1\%$. Οι τιμές που λαμβάνει το δυναμικό καθώς τονίσαμε, είναι συνάρτηση της προσπίπτουσας έντασης. Η ένταση του ρεύματος που παράγεται από την διαφορά δυναμικού, ολοκληρώνεται για ένα χρονικό διάστημα π.χ. 15', ή μία ώρα ή μια ημέρα και προσδιορίζεται έτσι η ηλιακή ενέργεια (σε kJ ή MJ) που προσπίπτει κατά το ως άνω χρονικό διάστημα στο επίπεδο που είναι τοποθετημένο το πυρανόμετρο.

Επίσης, είναι δυνατόν με τα πυρανόμετρα να μετρήσουμε την ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας I_d . Τούτο το επιτυγχάνουμε εάν με μία στεφάνη, αποτραπεί να 'βλέπει' το πυρανόμετρο, τον ήλιο ή ισοδύναμα να αποτραπεί στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία να φθάνει στο πυρανόμετρο. Συνήθως, με δύο πυρανόμετρα το ένα χωρίς στεφάνη και το άλλο με στεφάνη, μετρούμε την ένταση της ολικής ακτινοβολίας και την διάχυτη αντίστοιχα. Αφαιρώντας τις δύο μετρήσεις υπολογίζουμε την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

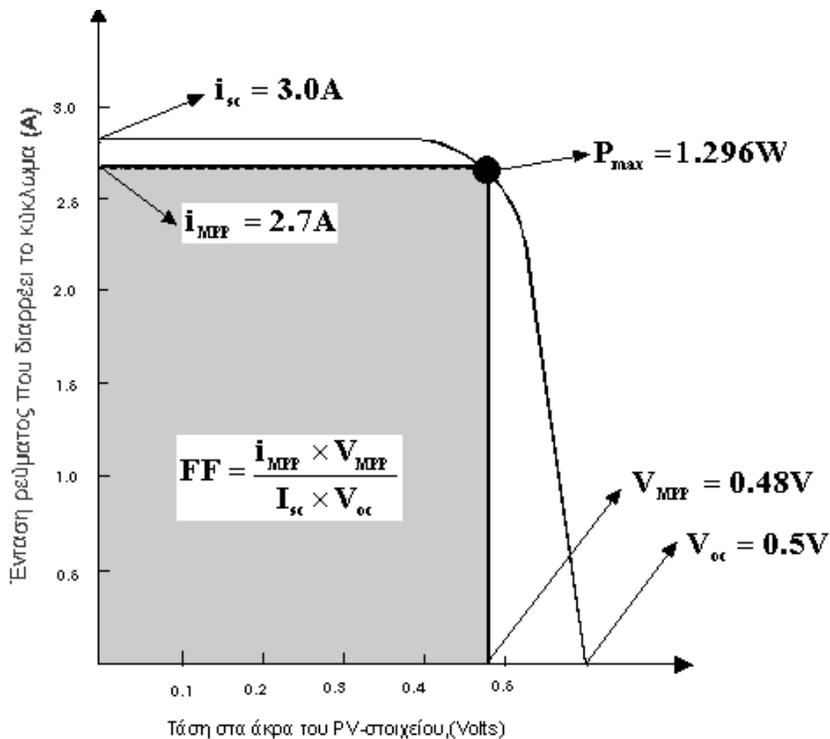
Επειδή το ύψος της τροχιάς του ηλίου μεταβάλλεται από ημέρα σε ημέρα, είναι αναγκαίο για σωστές μετρήσεις της (διάχυτης) ακτινοβολίας να μετατοπίζεται η στεφάνη μέσω των δύο

οδηγών (δεξιά και αριστερά) οι οποίοι δύναται να ολισθαίνουν δια των άκρων του οριζόντιου άξονα όπως δείχνει, το σχήμα. Λόγω του ότι η στεφάνη καλύπτει μέρος του ουρανίου θόλου από τον οποίο και θα έφθανε στο βολβό του πυρανόμετρου ένα ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας, για τούτο και θα πρέπει να υπεισέλθουν διορθώσεις στις λαμβανόμενες ενδείξεις της I_d .

2.4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ I-V

2.4.1. ΤΑΣΗ, ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΤΗΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ

Σύμφωνα με όλα όσα έχουμε παραθέσει και αναπτύξει παραπάνω, παρατηρούμε ότι η τάση σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση του ρεύματος που προσδίδει στο κύκλωμα, ακόμα και όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε αυτό, παραμένει σταθερή. Παρακάτω θα δούμε και αρκετά διαγράμματα τα οποία θα τα παραθέσουμε για να αναλύσουμε τα δεδομένα τα οποία λαμβάνουμε από την χαρακτηριστική καμπύλη. Όταν έχουμε βραχυκύκλωμα, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος παίρνει την μέγιστη τιμή I_{sc} και η ηλεκτρική τάση μηδενίζεται. Αντίθετα όταν υπάρχει ανοιχτοκύκλωμα, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται και η τάση παίρνει την μέγιστη τιμή V_{oc} .



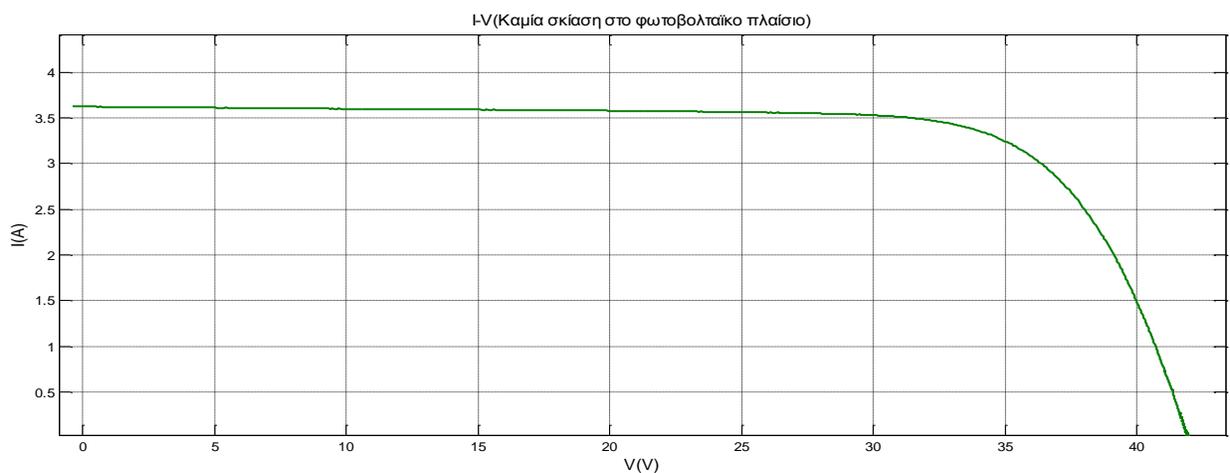
Εικόνα 2.6: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός φ/β στοιχείου ⁴³

Οι μεταβολές έντασης και τάσεως φαίνονται στην εικόνα 2.9, με μία καμπύλη γραμμή, που αποτελεί τη χαρακτηριστική καμπύλη του Φ/Β στοιχείου. Η καμπύλη αυτή ισχύει σε συνθήκες σταθερής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενη αντίσταση του κυκλώματος από μηδέν μέχρι άπειρη . Είναι προφανές ότι ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές. Όπως είναι γνωστό, η ηλεκτρική ισχύς P ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης I επί την τάση V του ρεύματος ($P = I \cdot V$).

Άρα, εκτός από την τάση και την ένταση του ρεύματος, μεταβάλλεται ανάλογα και η ηλεκτρική ισχύς P που παράγει το Φ/Β στοιχείο, με μέγιστη τιμή την P_{mpp} για ένα ορισμένο ζεύγος τιμών έντασης I_{mpp} και τάσεως V_{mpp} . Το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με πλευρές I_{sc} (ρεύμα βραχυκύκλωσης) και V_{oc} (τάση ανοιχτού κυκλώματος), που βρίσκεται εξωτερικά της καμπύλης $I - V$, περιγράφει την συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου ως πηγή σταθερού ρεύματος.

2.4.2. ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η χαρακτηριστική καμπύλη όμως μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για την ενεργειακή συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στις ακραίες καταστάσεις του βραχυκυκλωμένου και ανοιχτού κυκλώματος, η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το Φ/Β στοιχείο είναι μηδενική . Άρα, η μεταβολή της ισχύος με την τάση, παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή κοντά στο σημείο όπου αρχίζει η έντονη πτώση της τιμής του ρεύματος. Συνεπώς, η αντίσταση του κυκλώματος, που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, πρέπει να έχει κατάλληλη τιμή για να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Δηλαδή, η τάση και το ρεύμα της αντίστασης πρέπει να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης ισχύος MPP.



Εικόνα 2.7: Χαρακτηριστική καμπύλη $I-V$ ενός ϕ/β στοιχείου που εξάχθηκε από τα πειράματα που έγιναν για την παρούσα εργασία.

Ας θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα Φ/Β στοιχείο το οποίο το χρησιμοποιούμε για να τροφοδοτεί μία αντίσταση, και απεικονίζουμε στο διάγραμμα I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου, την καμπύλη φορτίου της αντίστασης που δείχνει τη μεταβολή του ρεύματος I που τη διαρρέει σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη στα άκρα της ηλεκτρική τάση V. Το σημείο τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης και της καμπύλης φορτίου ονομάζεται σημείο λειτουργίας ΣΛ του συστήματος και καθορίζει το ρεύμα και την τάση στην αντίσταση. Με τη χρήση ειδικών ηλεκτρονικών διατάξεων παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος όταν οι συνθήκες αλλάζουν, επιδιώκουμε τη συνεχή σύμπτωση του σημείου λειτουργίας του συστήματος με το εκάστοτε σημείο μέγιστης ισχύος, ώστε να αποδίδεται η μέγιστη δυνατή ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η προσπάθεια αυτή είναι σημαντική και αναπόσπαστο μέρος της ανάλυσης της χαρακτηριστικής καμπύλης γιατί η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας.

2.4.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Και τώρα ας ορίσουμε τι είναι ο συντελεστής πλήρωσης FF του φωτοβολταϊκού στοιχείου και δίνει το μέτρο προσέγγισης της λειτουργίας ενός στοιχείου προς την ιδανική συμπεριφορά. Η τιμή του FF κυμαίνεται από 0 έως 1. Μία τιμή από 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση. Εκτός από συντελεστής πλήρωσης λέγεται και παράγων πλήρωσης. Επίσης, η τιμή του καθορίζεται από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου και τις γύρω συνθήκες. Ο παράγοντας αυτός δίνεται από το λόγο των εμβαδών του ορθογωνίου που ορίζεται από τις τιμές $I_{mpp} - V_{mpp}$, προς το εμβαδό του ορθογωνίου που ορίζεται από τις τιμές V_{oc} και I_{sc} .

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.1)$$

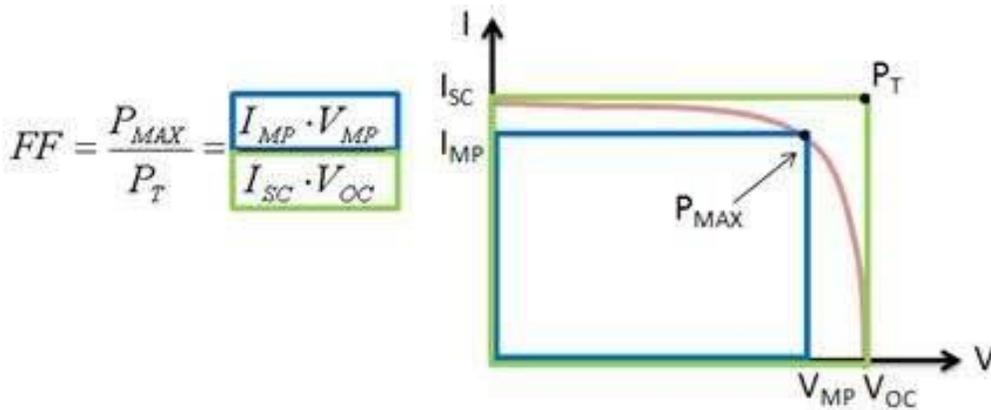
Η τιμή αναφοράς του δίδεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου που έχουμε αναφερθεί παραπάνω. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του συντελεστή πλήρωσης, τόσο περισσότερο η λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου πλησιάζει την ιδανική λειτουργική συμπεριφορά της πηγής του σταθερού ρεύματος.

2.4.4. ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας για να αξιολογήσουμε και να περιγράψουμε την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η απόδοσή όσον αφορά το ενεργειακό μέρος. Η απόδοση η εξαρτάται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , την τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} και το συντελεστή πλήρωσης FF και ισούται με το λόγο της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος του

φωτοβολταϊκού στοιχείου, προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά μονάδα επιφανείας. Δηλαδή, το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται απόδοση η του Φ/B στοιχείου.

$$n_c = \frac{P_{mpp}}{P_{in}} = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_T \times A} \quad (2.2)$$



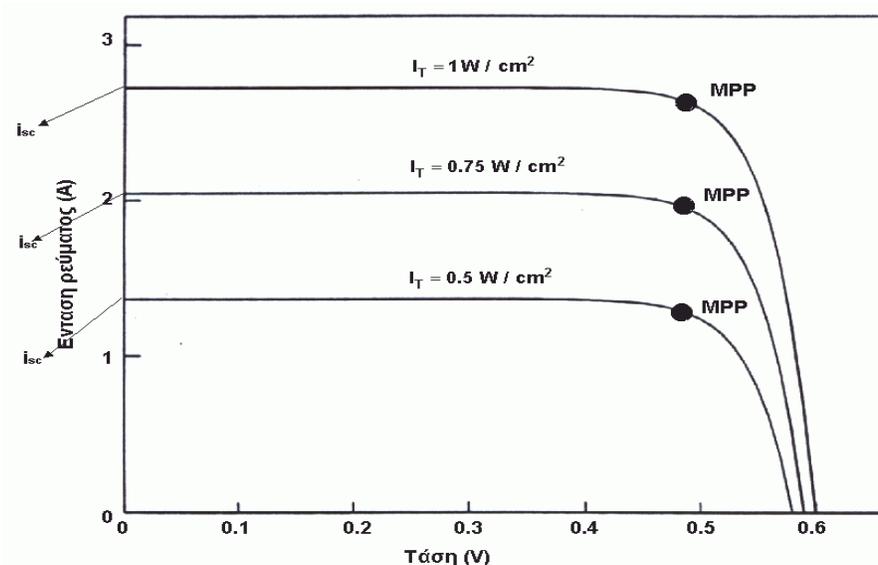
Εικόνα 2.8: Συντελεστής πλήρωσης FF ή αλλιώς $fill\ factor$ ενός ϕ/β στοιχείου

2.5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΙΣΧΥ ΣΕ ΕΝΑ Φ/B ΣΤΟΙΧΕΙΟ

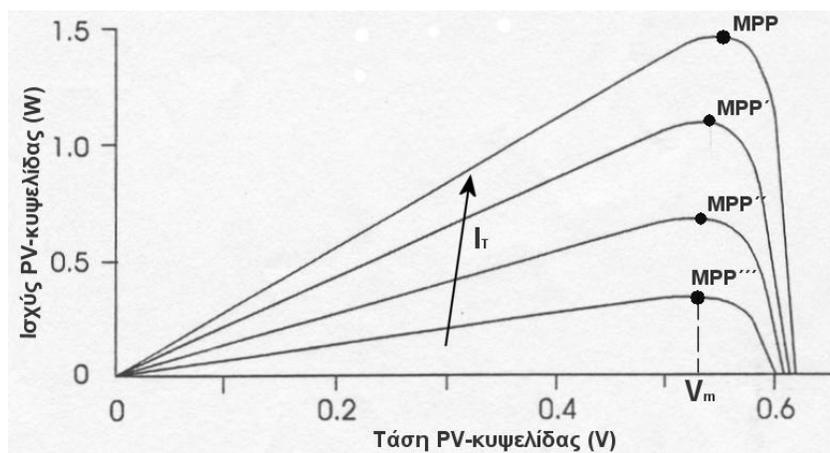
Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση και μάλιστα οι δύο πιο σημαντικοί είναι η ακτινοβολία και η θερμοκρασία. Ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ένας είναι η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ειδικότερα, δύο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος οδηγούν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε διαφορετική παραγωγή ενέργειας. Αυτή η διαφορά οφείλεται κυρίως στην καταλληλότητα των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

- Όταν μεταβάλλεται η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας, έχουμε και μετατόπιση των χαρακτηριστικών καμπυλών $I-V$ του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Και βλέπουμε πως όσο έχουμε σταθερό φορτίο (αντίσταση) στο κύκλωμά μας, τα σημεία λειτουργίας μετατοπίζονται σε σχέση με τα σημεία μέγιστης ισχύος.
- Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας

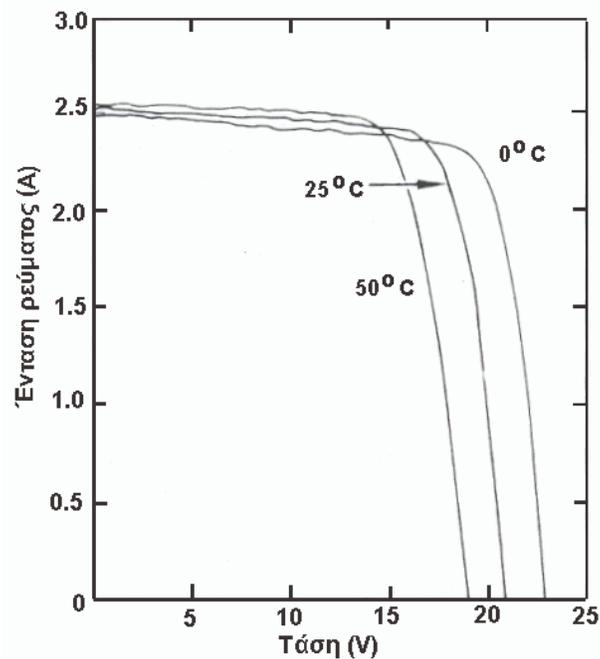
μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο στοιχείο και αυτό προκαλεί μικρή άνοδο του I_{sc} , και μεγάλη κάθοδο του V_{oc} του Φ/Β. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο και η συγκέντρωση των φορέων. Αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται κάποιες επανασυνδέσεις φορέων, οι οποίες οδηγούν σε μείωση της απόδοσης μετατροπής.



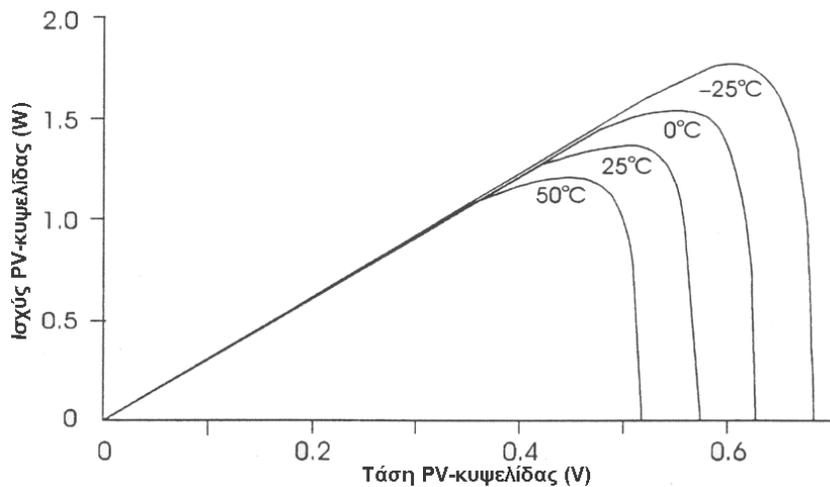
Εικόνα 2.9: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φ/β στοιχείου ρεύματος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας⁴⁵



Εικόνα 2.10: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φ/β στοιχείου ισχύος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας⁴⁶



Εικόνα 2.11: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φ/β στοιχείου ρεύματος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική θερμοκρασία.⁴⁷



Εικόνα 2.12: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φ/β στοιχείου ισχύος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική θερμοκρασία.⁴⁸

3. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΚΙΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η μελέτη της κίνησης του Ηλίου είναι πρωταρχικής σημασίας στον τομέα της ηλιακής ενέργειας και των εφαρμογών της και απαιτεί την καλύτερη δυνατή περιγραφή. Για την καλύτερη μελέτη της κίνησης του Ηλίου επάνω στον ουράνιο θόλο σε σχέση με τον παρατηρητή χρησιμοποιούμε τους πολικούς χάρτες. Θα δούμε ακόμη μερικά προβλήματα που προκύπτουν κατά την σκίαση σε μία επιφάνεια. Επίσης, το φαινόμενο της σκίασης, συνδέεται άμεσα και με το φαινόμενο της γήρανσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Για αυτό το λόγο, θα μελετήσουμε αυτά τα δύο φαινόμενα μαζί.



Εικόνα 3.1: Σκίαση σε φ/β γεννήτρια από προεξοχή σοφίτας.

Η ανάλυση της σκίασης είναι ένα από τα πιο σημαντικά βήματα στην σχεδίαση και την ανάλυση συστημάτων ηλιακής ενέργειας . Στα Φ/β συστήματα είναι πολύ σημαντικό η ανάλυση της σκίασης που προκαλείται από περιφερειακά αντικείμενα. Σε ειδικές περιπτώσεις όπως η ανάλυση η ο σχεδιασμός BIPV (building integrated PV systems) συστημάτων είναι πολύ σημαντικό να γίνεται ακριβής υπολογισμός και ανάλυση της σκίασης πάνω στα συστήματα αυτά. Παρόμοια ανάλυση απαιτείται κατά τον σχεδιασμό σπιτιών με συστήματα ηλιακής ενέργειας και πρέπει να

λαμβάνεται υπόψη ο προσεκτικός σχεδιασμός των προεξοχών σε κάθε περίπτωση. Οι υπολογισμοί της σκίασης μπορούν να γίνουν με άλλες εξισώσεις και πιο συγκεκριμένα όταν το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι απλό.

3.2. Η ΣΚΙΑΣΗ ΩΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

3.2.1. ΣΚΙΑΣΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η σκίαση επηρεάζει πάρα πολύ την απόδοση των ΦΒ πλαισίων, ακόμα και αν μιλάμε για μια μικρού μεγέθους σκίαση, είναι ικανή να μειώσει την αποδοτικότητα του συστήματος έως και 80%. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του χώρου εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων και στον τρόπο τοποθέτησης τους, έτσι ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε σκίαση, κυρίως κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες. Σκίαση δεν έχουμε μόνο πλήρη. Αλλά και μερική. Είτε η επιφάνεια θα καλύπτεται εντελώς από σκιά, αλλά θα δέχεται διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, είτε η επιφάνεια θα ηλιάζεται μερικώς λόγω συννεφιάς, εφόσον μιλάμε για το εξωτερικό περιβάλλον. Ακόμα και με μια απαλή συννεφιά, έχουμε μικρότερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.

3.2.2. ΑΙΤΙΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΚΙΑΣΗΣ

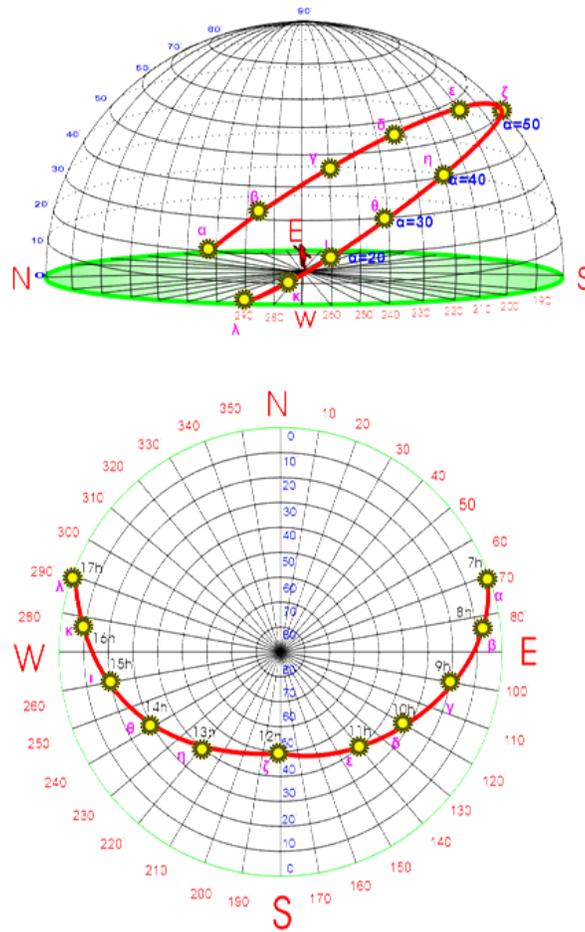
Ανεπιθύμητη σκίαση μπορούμε να έχουμε από κτίρια δίπλα από το κτίριο που μελετάμε, δέντρα, περιτοιχίσματα, αντένες, προεξοχές κτηρίων και τοίχων και διάφορα άλλα αντικείμενα που είτε δεν γινόταν να απομακρυνθούν από το μέρος της εγκατάστασης, είτε για κάποιο λόγο μπήκαν μετέπειτα στον χώρο. Επίσης έχουμε σκίαση από την μπροστινή σειρά φωτοβολταϊκών πλαισίων όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετηθούν οριζόντια σε παράλληλες σειρές. Δηλαδή μιλάμε για την σκίαση που προκαλείται από την πρώτη κάθε φορά φωτοβολταϊκή συστοιχία στην αμέσως επόμενη συστοιχία.

3.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

3.3.1. ΠΟΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΗΛΙΟΥ

Για την εύρεση των περιόδων κατά τις οποίες σκιάζεται ένα κτίριο ή γενικότερα ένα αντικείμενο, είναι αναγκαία η αποτύπωση των εμποδίων που παρεμβάλλονται ανάμεσα στο αντικείμενο και τον Ήλιο, επί ενός πολικού διαγράμματος (ηλιακού χάρτη). Όταν πρόκειται για γεωμετρικά απλό

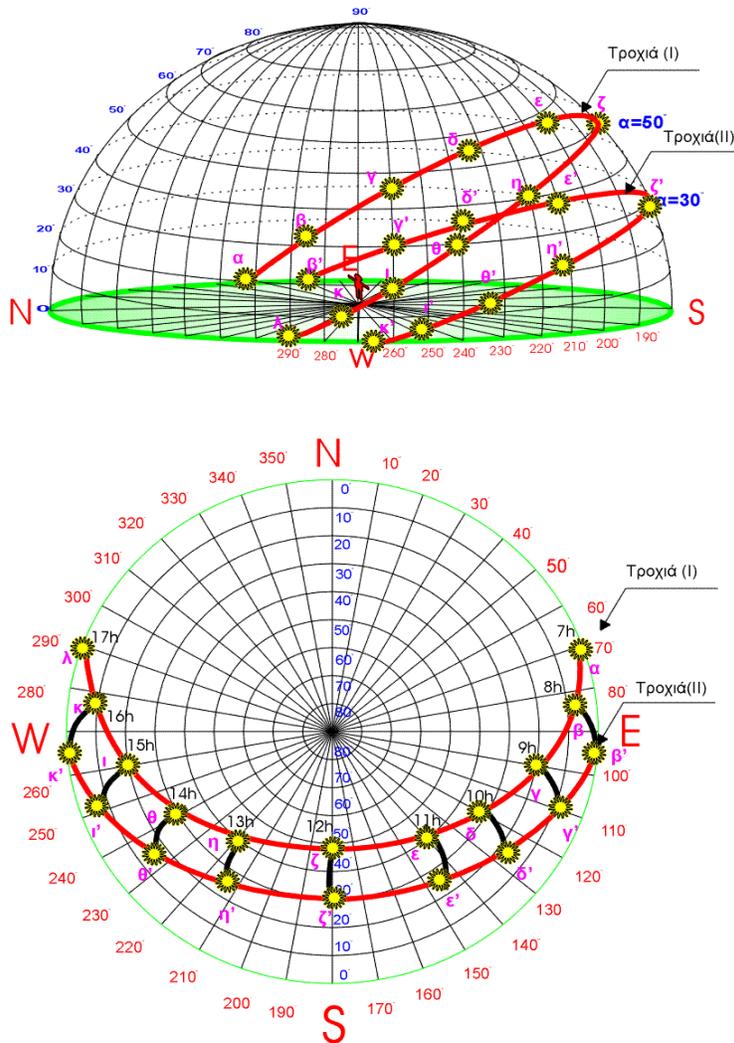
κτίριο είναι απαραίτητη η εύρεση ορισμένων γωνιών που προσδιορίζουν το σχήμα του, ώστε εύκολα και χωρίς τοπογραφικά όργανα και επί τόπου χαρτογράφηση να επιλυθεί το πρόβλημα της σκίασης. Ο μηχανικός που θα κληθεί να προσδιορίσει τις περιόδους σκίασης πρέπει να έχει στην κατοχή του τοπογραφικά σχέδια της περιοχής (κατόψεις και πλάγιες όψεις), τα οποία θα περιλαμβάνουν τα γειτονικά κτίρια και τα υπόλοιπα αντικείμενα (δένδρα, άλλα φυσικά εμπόδια κλπ.) Στη περίπτωση που η γεωμετρία των γειτονικών εμποδίων στο κτίριο δεν είναι απλή το περίγραμμά τους βρίσκεται με τη χρήση ειδικών οργάνων (θεοδόλιχος) και με επί τόπου χαρτογράφηση.



Εικόνα 3.2: Τροχιά Ηλίου επάνω στον ουράνιο θόλο και στο πολικό χάρτη ⁴⁹

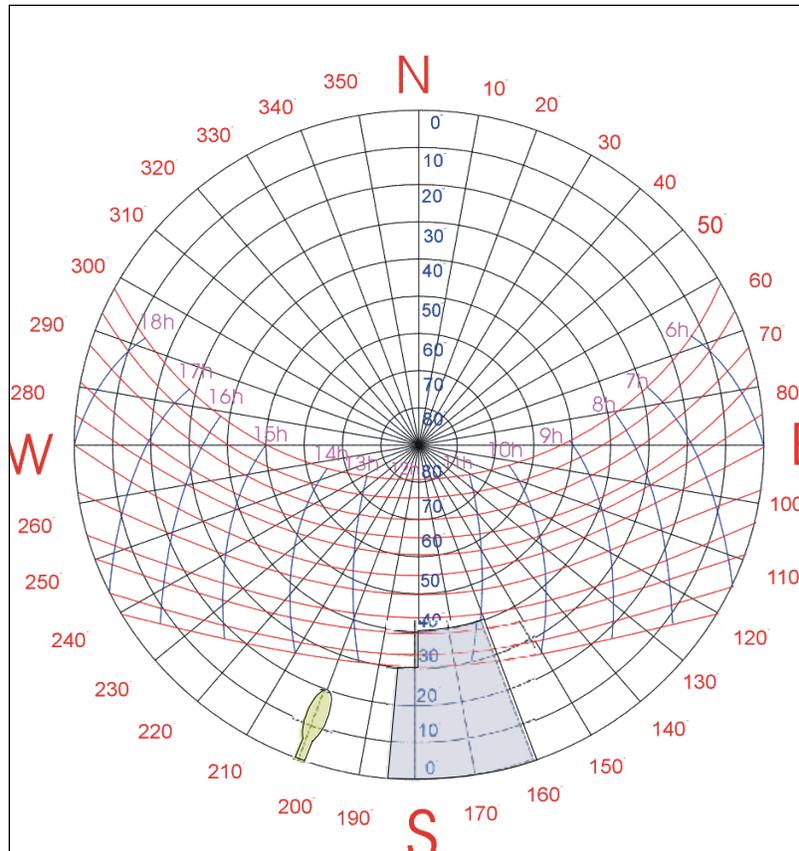
Τα ηλιακά διαγράμματα είναι χάρτες του ουράνιου θόλου που απεικονίζουν τη τροχιά του Ήλιου, του αζιμούθιου και του ύψους, για κάθε ώρα της ημέρας και για κάθε μήνα ενός έτους σε συγκεκριμένα γεωγραφικά πλάτη. Όπως φαίνεται από τα σημεία συγκεκριμένου γεωγραφικού πλάτους σε επιλεγμένες ημέρες. Προσφέρουν μια γρήγορη εικόνα των ηλιακών κινήσεων στη διάρκεια ολόκληρου του έτους. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με παρόμοιες γραφικές μεθόδους στη μελέτη του ηλιασμού. Γενικότερα, τα διαγράμματα αυτά αποτελούν

χάρτες του ουρανού, όπου κάθε σημείο του ουράνιου θόλου αντιστοιχεί σε ζεύγος γωνιακών συντεταγμένων, όπως ακριβώς σε κάθε γεωγραφικό χάρτη. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να παρασταθούν όχι μόνο οι θέσεις του Ήλιου αλλά και άλλα στοιχεία, π.χ. μια βουνοκορφή.⁵⁰



Εικόνα 3.3: Τροχιά Ηλίου επάνω στον ουράνιο θόλο και στο πολικό χάρτη για 2 ημερομηνίες⁵¹

Πιο συγκεκριμένα ένα ηλιακό διάγραμμα αποτελεί γεωμετρικό μετασχηματισμό της ηλιακής τροχιάς από τον τρισδιάστατο ουράνιο θόλο σε δυσδιάστατο διάγραμμα. Αυτό γίνεται με τα εξής βήματα: Επιλέγεται η μέθοδος προβολής για τη μεταφορά του σφαιρικού θόλου στο επίπεδο χαρτί. Καθορίζεται σύστημα συντεταγμένων που εκφράζουν το υψόμετρο & αζιμούθιο. Προσδιορίζονται οι θέσεις του Ήλιου σε διαδοχικές στιγμές στη διάρκεια μιας ημέρας. Χαράζεται η ημερήσια τροχιά ενώνοντας τις επιμέρους θέσεις. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για άλλες ημέρες. Ενώνονται οι θέσεις του Ήλιου την ίδια ώρα σε διαφορετικές ημέρες.



Εικόνα 3.4: Πολικός χάρτης με οικοδόμημα και δένδρο έμπροσθεν του σημείου στο οποίο θα εγκατασταθεί σύστημα ηλιακών συλλεκτών ⁵²

Το τελικό αποτέλεσμα είναι η απεικόνιση της κίνησης του Ήλιου με μορφή πλέγματος καμπυλών που δείχνουν τις ημερήσιες & ωριαίες κινήσεις του Ήλιου. Κάθε στιγμή του έτους αντιστοιχεί σε ένα σημείο του διαγράμματος. Οι αντίστοιχες ηλιακές γωνίες μετρώνται στις ειδικές κλίμακες που συμπληρώνουν το διάγραμμα. Κάθε ημέρα του έτους (εκτός από τα ηλιοστάσια) έχει την «ηλιακά συμμετρική» της, με ίδια ηλιακή τροχιά. ⁵³

3.3.2. ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΛΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

Ας φανταστούμε έναν παρατηρητή σε κάποιο σημείο της επιφάνειας της Γης. Τότε το οριζόντιο επίπεδο του παρατηρητή είναι ο κύκλος που διέρχεται από τα σημεία N, E, S, W τα οποία είναι αντίστοιχα τα σημεία του Βορά, Ανατολής, Νότου και Δύσης για τον παρατηρητή. Επίσης, θα έχουμε και τον ουράνιο θόλο για τον παρατηρητή, ο οποίος είναι μία ημισφαιρική επιφάνεια της οποίας βάση είναι το οριζόντιο επίπεδο και πόλος της το Ζενίθ του τόπου-παρατηρητή. Οι

παράλληλοι προς τον ορίζοντα κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις τομές του ουράνιου θόλου από οριζόντια επίπεδα με γωνιακή απόσταση από τον ορίζοντα που μετρείται σε μοίρες. συνήθως, κατά το σχεδιασμό χαράσσουμε τους κύκλους αυτούς να έχουν όλοι απεικονίζεται με γωνιακή απόσταση 10° μεταξύ τους.

Έτσι για τον κύκλο που ταυτίζονται με τον ορίζοντα η γωνία είναι $\alpha=0^\circ$. Καθώς οι κύκλοι πλησιάζουν προς τον πόλο του ουράνιου θόλου, το α αυξάνει και παίρνει την μέγιστη τιμή $\alpha=90^\circ$, όταν δηλαδή, ο ήλιος βρεθεί ακριβώς επάνω από τον παρατηρητή στο σημείο του Ζενίθ. Θεωρούμε το οριζόντιο επίπεδο του παρατηρητή. οι ακτίνες που ξεκινούν από τον παρατηρητή και καταλήγουν στην περιφέρεια του ορίζοντα, είναι αυτές που μετρούν την αζιμούθια γωνία γ_s , του Ηλίου, με αρχή μέτρησης τον άξονα NS Βορά-Νότου. Εάν πάρουμε την προβολή του ουράνιου θόλου στο οριζόντιο επίπεδο έχουμε έναν πολικό χάρτη. Στον πολικό χάρτη οι ομόκεντροι κύκλοι είναι οι κύκλοι που προσδιορίζουν το ύψος α του Ηλίου ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Οι ακτίνες που σχηματίζουν τις επίκεντρες γωνίες δίνουν την αζιμούθια γωνία κάθε σημείου του πολικού χάρτη, το οποίο προφανώς προκύπτει από την προβολή κάποιου σημείου του ουράνιου θόλου στο οριζόντιο. Ως τέτοιο σημείο θα μπορούσε να θεωρηθεί ο Ήλιος.

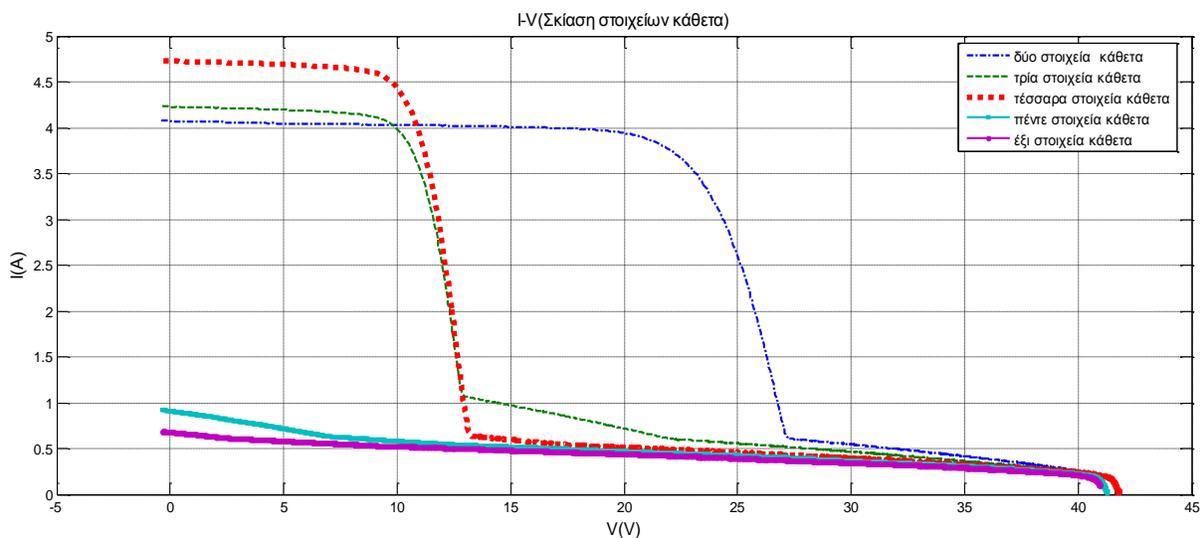
3.4. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.4.1. ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Τα κύρια προβλήματα που δημιουργεί η σκίαση χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: Η πρώτη κατηγορία βασίζεται στην σκίαση που προκαλείται από δέντρα κτήρια ή άλλα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κοντά στον συλλέκτη. Σε περίπτωση που οι γεωμετρικές των αντικειμένων αυτών είναι ακανόνιστες και κατά συνέπεια δύσκολα προσδιορίσιμες, για να βρεθεί η σκίαση απαιτούνται πολύπλοκοι υπολογισμοί. Ειδικά διαγράμματα χρησιμοποιούνται με την θέση του ήλιου στον ουρανό. (πχ διαγράμματα με την γωνία ύψους του ήλιου σε συνάρτηση με τη γωνία αζιμούθιου του ήλιου και τη γωνία ζενίθ έτσι ώστε να διακρίνεται πότε το μονοπάτι μεταξύ του ήλιου και του συλλέκτη παρεμποδίζεται.

Οι απώλειες λόγω σκίασης είναι αναπόφευκτες αλλά τουλάχιστον μπορούν να ελαχιστοποιηθούν. Η καλύτερη χρονική στιγμή για να επιτευχτεί κάτι τέτοιο είναι να γίνει κατάλληλη μελέτη κατά την φάση σχεδιασμού του Φ/β συστήματος. Τα κρυσταλλικά πλαίσια όταν τοποθετούνται πρέπει να είναι πάντα τοποθετημένα οριζόντια και ποτέ κάθετα. Το κάθε κρυσταλλικό πλαίσιο περιλαμβάνει δυο bypass διόδους που είναι ενεργές κατά την διάρκεια σκίασης. Όταν η κάτω σειρά του πλαισίου έχει σκίαση και τα πλαίσια είναι τοποθετημένα οριζόντια το πλαίσιο εξακολουθεί να βρίσκεται σε λειτουργία με κάποιο ποσοστό ισχύος της

τάξης 50% η λιγότερο. Αυτό οφείλεται στο ότι μόνο η μια bypass δίοδος είναι ενεργή. Στην αντίθετη περίπτωση δηλαδή όταν τα πλαίσια είναι τοποθετημένα κάθετα και η χαμηλότερη σειρά είναι υπό σκιά κατά ένα μεγάλο μέρος η ολοκληρωτικά τότε και οι δύο δίοδοι είναι ενεργοί και το ποσοστό ισχύος εξόδου είναι κοντά στο μηδέν. Επίσης τα πλαίσια της συστοιχίας τα οποία βρίσκονται υπό συνθήκη σκίασης περισσότερο από τα άλλα μέρη της συστοιχίας θα πρέπει να συνδεθούν σε διαφορετικές ομάδες εάν είναι εφικτό. Αυτό θα εμποδίσει επιπλέον απώλειες σε ολόκληρο το σύστημα καθώς η σκίαση θα επηρεάζει μόνο ένα μέρος της συστοιχίας. Σε περιπτώσεις που η σκίαση δεν μπορεί να αποφευχθεί η χρήση άμορφου πλαισίου πυριτίου είναι πιο κατάλληλη και αυτό οφείλεται στο ότι το συγκεκριμένο υλικό έχει την ικανότητα να αποδίδει περισσότερο σε συνθήκες σκίασης .



Εικόνα 3.5: Χαρακτηριστικές καμπύλες ϕ/β πλαισίου επηρεασμένες που ελήφθησαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων της παρούσας πτυχιακής

3.4.2. ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΛΟΓΩ ΣΚΙΑΣΗΣ

Η τάση σε ολόκληρο το σκιασμένο ηλιακό ϕ/β στοιχείο είναι ίση με την ορθά πολωμένη τάση στις άλλες σειρές κελιών σειράς που μοιράζονται την ίδια δίοδο παράκαμψης συν την τάση της δίοδου παράκαμψης. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα . Η τάση στα ηλιακά ϕ/β στοιχεία που δεν σκιάζονται εξαρτάται από το βαθμό σκίασης στα κατώτερα ηλιακά στοιχεία του πάνελ. Παραδείγματος χάριν, εάν το ηλιακό ϕ/β στοιχείο είναι εντελώς σκιασμένο, τότε τα ηλιακά ϕ/β στοιχεία που δεν σκιάζονται θα πολωθούν ορθά από το δικό τους κλειστό κύκλωμα ρεύματος και η τάση θα είναι 0.6V για παράδειγμα. Εάν το κακό στοιχείο είναι μόνο μερικώς σκιασμένο, μια ποσότητα ρεύματος (όχι όλο το ρεύμα) από τα καλά ηλιακά ϕ/β στοιχεία (χωρίς σκίαση) θα

μπορεί να ρέει διαμέσου του κυκλώματος, και το υπόλοιπο ρεύμα θα χρησιμοποιηθεί για να πολώσει ορθά τα σημεία ένωσης του κάθε ηλιακού κελιού, προκαλώντας μια μικρότερη ορθά πολωμένη τάση διαμέσου κάθε ηλιακού κελιού. Η μέγιστη ισχύς σε ένα σκιασμένο ηλιακό φ/β στοιχείο είναι περίπου ίση με την παραγωγική ικανότητα όλων των κελιών στην ομάδα.

Μαζί με την τάση φυσικά επηρεάζεται και το ρεύμα που παράγει το κάθε φωτοβολταϊκό φ/β στοιχείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πτώση ισχύος και φυσικά της απόδοσης. Επηρεάζονται όμως όχι μόνο τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ ή του στοιχείου, αλλά και τεχνικά μέρη. Μην ξεχνάμε το φαινόμενο θερμής κηλίδας το οποίο μπορεί να καταστρέψει όχι μόνο το στοιχείο αλλά και ολόκληρο το πάνελ. Για το φαινόμενο αυτό μιλάμε σε επόμενη παράγραφο.

Η σκίαση δεν φέρει μόνο τις επιπτώσεις μείωσης στην ουσία, της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα στοιχείο. Φέρει και συνέπειες γήρανσης αν το στοιχείο σκιάζεται συνεχόμενα.

3.4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΑ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΑ

3.4.3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ

Η ανάγκη της κατασκευής ηλεκτροδίων τόσο στην επιφάνεια του υλικού τύπου -p όσο και του υλικού τύπου -n συνεπάγεται τη δημιουργία ενός μεταλλικού πλέγματος επαφών στην επιφάνεια του στοιχείου που εκτίθεται στο ηλιακό φως. Αυτό συμβαίνει επειδή η αντίσταση στην επιφανειακή κίνηση των φορέων στο πάνω επιφανειακό στρώμα του φ/β στοιχείου είναι μεγάλη και πρέπει να υπάρχουν πολλά σημεία απαγωγής των φορέων (ηλεκτρικές επαφές) με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα ωμικά φαινόμενα. Το αποτέλεσμα για τα ηλεκτρόδια είναι μια γεωμετρία μεταλλικού πλέγματος στην πάνω επιφάνεια του φ/β στοιχείου, που έχει σαν συνέπεια ένα ποσοστό 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να εκτρέπεται.

Οι απώλειες λόγω της ηλεκτρικής αντίστασης οφείλονται στην ύπαρξη ηλεκτρικών επαφών που συνδέονται σε διάφορα σημεία του φωτοβολταϊκού. Είναι γεγονός ότι μεγαλύτερες ηλεκτρικές επαφές μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την ηλεκτρική αντίσταση. Διότι, ως γνωστό, η αύξηση της διατομής ενός αγωγού μειώνει την αντίστασή του. Ωστόσο, η κάλυψη ενός φ/β στοιχείου με μεγάλες, αδιαφανείς μεταλλικές επαφές θα εμπόδιζε πάρα πολύ το προσπίπτον φως. Επομένως, πρέπει να γίνει συμβιβασμός μεταξύ των απωλειών λόγω αντίστασης και των απωλειών φωτός λόγω σκίασης. Συνήθως, οι επαφές της πάνω επιφάνειας σχεδιάζονται ως πλέγματα, που έχουν

το σχήμα αραιής μεταλλικής σχάρας, με μορφή χτενιού με πολλά λεπτά, αγωγίμα δάχτυλα που είναι εξαπλωμένα στην επιφάνεια του φ/β στοιχείου. Μάλιστα είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί ολόκληρο πλέγμα ηλεκτροδίων και με τέτοια διαμόρφωση (σχήμα-διαστάσεις μεταλλικών απολήξεων).

Πρέπει να συλλέγονται οι φορείς και από τα υλικά τύπου-p και από τα υλικά τύπου-n. Επιπλέον, επειδή υπάρχει μεγάλη αντίσταση στην επιφανειακή κίνηση των φορέων στην πάνω-πάνω επιφάνεια του στοιχείου, χρειάζονται πολλές επαφές για να συλλέγονται από πολλά σημεία οι φορείς. Η ύπαρξη ολόκληρου πλέγματος, βεβαίως, αυξάνει τις απώλειες λόγω σκίασης. Καταλήγει να εκτρέπεται ένα ποσοστό της τάξης του 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Έτσι, οι απώλειες λόγω σκίασης ανέρχονται στο 10% της ισχύος εισόδου από το φως του ηλίου. Εντούτοις, είναι δύσκολο να κατασκευαστεί ένα πλέγμα που να διατηρεί καλή ηλεκτρική επαφή με το στοιχείο, ενώ, ταυτόχρονα, να αντιστέκεται στη φθορά λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Γενικά, η επαφή της πίσω επιφάνειας ενός στοιχείου είναι απλούστερη, καθώς είναι συχνά ένα απλό στρώμα του μετάλλου. Άλλα σχέδια για ηλεκτρικές επαφές περιλαμβάνουν την τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων στην πίσω επιφάνεια του.

Η ύπαρξη φύλλων, σκόνης, απορριμμάτων πουλιών και άλλων σκουπιδιών και ακαθαρσιών στην επιφάνεια ενός φ/β πλαισίου προκαλεί ορισμένη μείωση στην απόδοση του για αυτό χρειάζεται ένας περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των πλαισίων.

3.4.3.2.ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΙ ΜΑΚΡΥΧΡΟΝΙΑ (ΓΗΡΑΝΣΗ)

Η γήρανση προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, άρα και της ισχύος αιχμής του, λόγω γενικότερης αλλοίωσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου ως ενσωματωμένου τμήματος του ΦΒ πλαισίου. Οι αιτίες της γήρανσης είναι πολλές όπως αποχρωματισμός των κυττάρων, ράγισμα του γυαλιού κάλυψης, διαχωρισμός του ειδικού πλαστικού μόνωσης από την υγρασία της πίσω πλευράς, και κακή λειτουργία των καλωδιώσεων και του κιβωτίου συνδέσεων, όπως και το φαινόμενο θερμής κηλίδας, το οποίο το αναλύουμε παρακάτω σε άλλη παράγραφο.

Πολλές φορές βέβαια, μερικές από αυτές τις περιπτώσεις φαίνονται σημαντικά καταστροφικές για τη λειτουργία του ΦΒ πλαισίου, εντούτοις προκαλείται μονάχα μείωση της παραγωγής ισχύος και όχι ολική καταστροφή του. Συνεπώς κατά τον υπολογισμό ενός φ/β συστήματος σε ορισμένη εφαρμογή, επιβάλλεται να ληφθεί υπόψη η διαχρονική μείωση της αποδοτικότητας τους, με εκτίμηση ενός τυπικού συντελεστή γήρανσης. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια

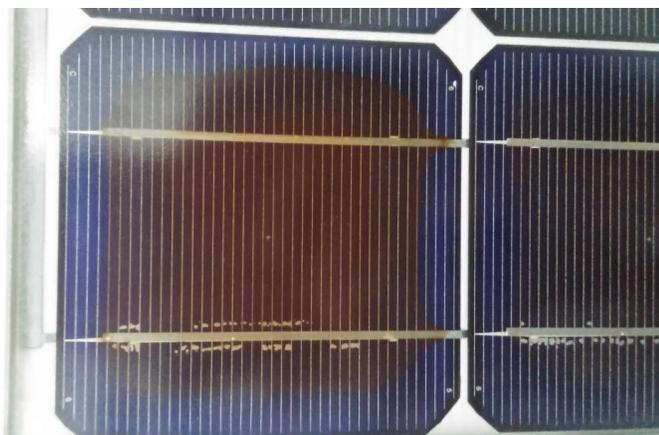
κρυσταλλικού πυριτίου, δίδουν μείωση της αποδοτικότητάς του κάτω από πρότυπες συνθήκες, ~ 1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης).



Εικόνα 3.6: Γερασμένο φ/β πλαίσιο . Παρατηρούμε το ξεθώριασμα του μπλε χρώματος και την οξείδωση των μεταλλικών αγωγών.⁵⁴

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε μέρος ενός φ/β πλαισίου όπου τα οριζόντια στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους και αυτά με την σειρά τους είναι συνδεδεμένα παράλληλα με την από κάτω σειρά. Η γήρανση του πλαισίου έχει προέλθει από σκίαση.

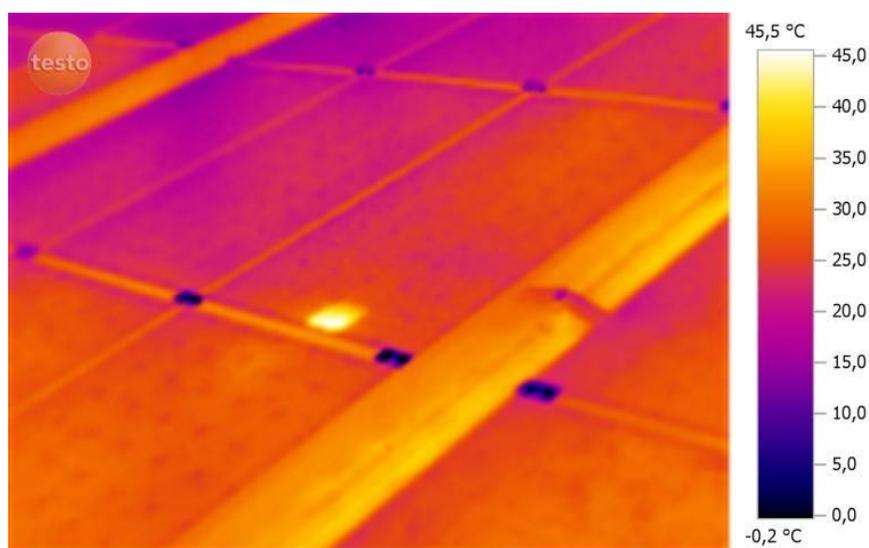
Η γήρανση όμως δεν προκαλείται μόνο από φαινόμενα σκίασης. Προκαλείται και από τον άνθρωπο. Για παράδειγμα, μια φ/β εγκατάσταση χρειάζεται συντήρηση, και σίγουρα αν όχι ένας απλός ετήσιος έλεγχος, οπωσδήποτε ένας εκτενής έλεγχος κάθε δύο χρόνια. Σε περίπτωση που είτε ο εγκαταστάτης το αμελήσει (εκούσια ή από αμέλεια του τεχνικού να ενημερώσει) τότε υπάρχει σοβαρό πρόβλημα. Μια εγκατάσταση (κάθε είδους) αν δεν συντηρηθεί θα παρουσιάσει προβλήματα τα οποία με τον καιρό θα συσσωρευτούν και μπορεί να προκληθούν σοβαρές βλάβες. Βλάβες κυρίως στα ηλεκτρικά και τα ηλεκτρονικά μέρη που απαρτίζουν την εγκατάσταση. Τα πάνελ μπορεί να μην έχουν άμεσα βλάβη από κάποιο ανθρώπινο λάθος. Αλλά επειδή είναι ζωτικό κομμάτι της εγκατάστασης, σίγουρα θα προκληθούν και σε αυτά ζημιές αλλά έμμεσα. Επίσης, ο χρόνος παίζει πολύ μεγάλο ρόλο όσον αφορά την λειτουργία της εγκατάστασης. Όσο περνά ο χρόνος και η εγκατάσταση είναι εκτεθειμένη στα καιρικά φαινόμενα και στον ατμοσφαιρικό αέρα ο οποίος μπορεί να απαρτίζεται όχι μόνο από μείγμα αερίων αλλά και σωματιδίων όπως, σκόνη, τέφρα και άλλα πολλά.⁵⁵



Εικόνα 3.7: Φαινόμενο E.V.A. Browning

Στην εικόνα 3.7 παρατηρούμε πως το συγκεκριμένο στοιχείο έχει υποστεί γήρανση λόγω ισχυρής σκίασης και έχει πάρει ένα καφέ χρώμα και η επιφάνειά του είναι αλλοιωμένη.

Επίσης, παίζει σημαντικό ρόλο, ο κάθε υπεύθυνος για την εγκατάσταση, να καθαρίζει τα πάνελ όταν παρατηρεί ότι έχουν πάνω τους απορρίμματα και σκόνη. Κανονικά μπορούν να καθαριστούν και με απλό νερό. Καλό είναι όμως όποιος θέλει να καθαρίσει τα πάνελ μιας εγκατάστασης να συμβουλευτεί ειδικό, ο οποίος θα τον κατευθύνει να προμηθευτεί ένα υλικό καλύτερο από νερό, που θα βοηθά περισσότερο και στο καθάρισμα αλλά και στην μετέπειτα προστασία του πάνελ. Οπότε συνοψίζοντας έχουμε ανθρώπινους, περιβαλλοντολογικούς παράγοντες που προκαλούν γήρανση και φυσικά τον τεράστιο παράγοντα χρόνο.



Εικόνα 3.8: Φαινόμενο θερμής κηλίδας με διαγνωστική θερμοκάμερα

Η σκίαση μέρους ή όλου του πλαισίου οδηγεί στην ανάστροφη πόλωση των σκιασμένων κυττάρων του και σε υπερθέρμανση, που πολλές φορές μπορεί να είναι καταστροφική. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο θερμής κηλίδας (hot spot) του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

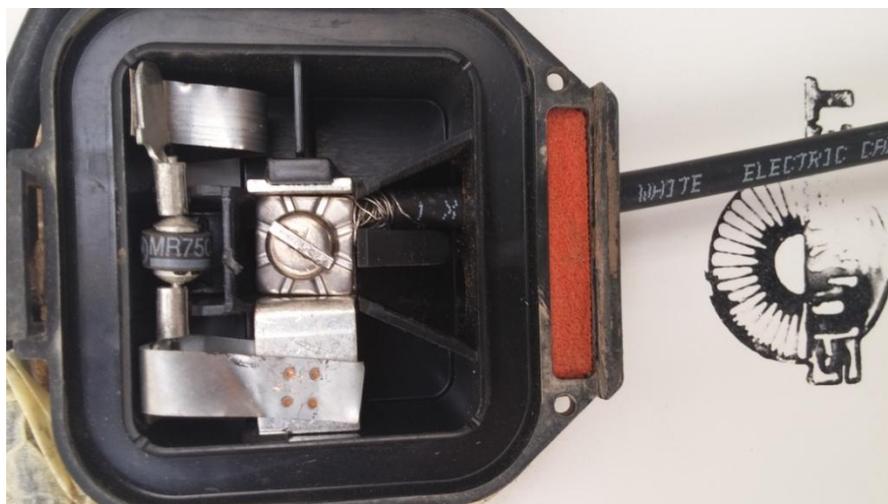
Το φαινόμενο hot-spot εμφανίζεται όταν υπάρχει ένα ηλιακό φ/β στοιχείο με χαμηλό ρεύμα (σκιασμένο) σε μια αλυσίδα κυττάρων υψηλού ρεύματος βραχυκύκλωσης. Το σκιασμένο φ/β στοιχείο αναγκάζει το ρεύμα ολόκληρης της αλυσίδας να μειωθεί. Τα καλά φ/β στοιχεία θα διαρρέονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του κακού κυττάρου, πράγμα που τα αναγκάζει να παράγουν υψηλότερες τάσεις. Εάν η αλυσίδα βραχυκυκλωθεί, τότε οι τάσεις των υγιών κυττάρων πολώνουν ανάστροφα το κακό φ/β στοιχείο. Η ανάστροφη αυτή πόλωση έχει διαβαθμίσεις: Μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη.

Γενικά, η ανάστροφη πόλωση επιτρέπει να περνάει πολύ ρεύμα. Αυτό οδηγεί σε μεγάλη κατανάλωση ισχύος πάνω στο κακό φ/β στοιχείο, δηλαδή, όλη η ισχύς που παράγουν τα καλά φ/β στοιχεία σπαταλιέται στο χειρότερο φ/β στοιχείο. Το σκιασμένο φ/β στοιχείο, δηλαδή, συμπεριφέρεται σαν καταναλωτής. Μοιάζει με μια μικρή αντίσταση (της τάξεως μερικών Ohm ή δεκάδων Ohm) ή αλλιώς, σαν το φορτίο στο οποίο δίνουν ισχύ τα υπόλοιπα (καλά) φ/β στοιχεία. Δεν είναι όλες οι περιπτώσεις τόσο δυσμενείς. Η χειρότερη περίπτωση εμφανίζεται, όταν όλη η αλυσίδα βραχυκυκλωθεί, οπότε η τάση των καλών κυττάρων εφαρμόζεται κατ' ευθείαν στο σκιασμένο. Επίσης, είναι προφανές ότι το πιο επικίνδυνο είναι όταν σκιάζεται μόνο ένα φ/β στοιχείο, οπότε αυτό μόνο κινδυνεύει από υπερθέρμανση. Με δύο φ/β στοιχεία σκιασμένα, γνωρίζουμε εμπειρικά, ότι η θέρμανση, η οποία δε θα είναι, πλέον, τόσο τοπική, κυμαίνεται σε ανεκτά ακόμα επίπεδα.⁵⁶

Τα σκιασμένα φ/β στοιχεία λειτουργούν ως μια μεγάλη αντίσταση, στην οποία καταναλώνεται, η ούτως ή άλλως μειωμένη ενέργεια που παράγουν τα υπόλοιπα μη σκιασμένα φ/β στοιχεία. Παρατεταμένος σκιασμός κάποιων κυττάρων, σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπόλοιπων κυψελίδων, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή αυτού του στοιχείου και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμμένου στοιχείου του. Για να αποτραπεί μια τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους παράκαμψης (Bypass diodes) που τοποθετούνται στο κιβώτιο συνδέσεων, το οποίο βρίσκεται στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου, επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου ακόμα κι αν κάποιο φωτοβολταϊκό στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί.

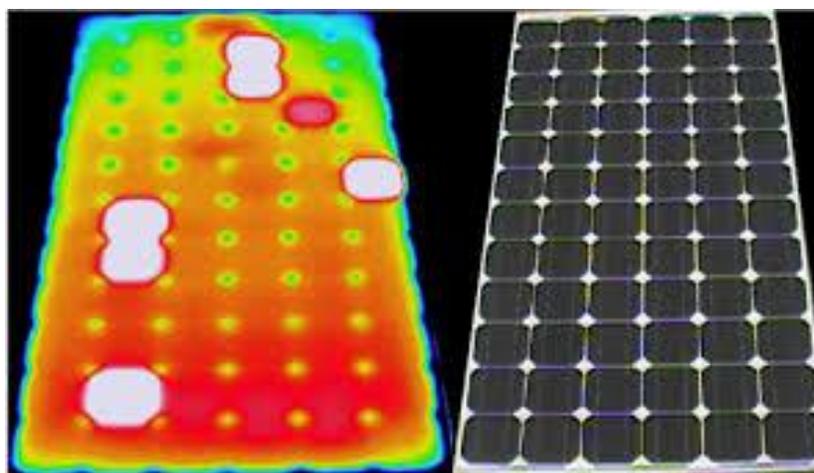
Η απόδοση ενός φ/β στοιχείου μειώνεται σταδιακά με τα χρόνια, λόγω της φθοράς των υλικών κατασκευής του. Έτσι λοιπόν οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν εγγυήσεις που καθορίζουν το max ποσοστό μείωσης της απόδοσης των φ/β πάνελ τους, μετά από 20 - 25 έτη

λειτουργίας, και η πιο συχνή εγγύηση είναι ότι η απόδοση ενός φ/β πάνελ θα είναι ίση το λιγότερο με το 85% της αρχικής απόδοσης του έπειτα από 25 χρόνια συνεχούς λειτουργίας.



Εικόνα 3.9: Δίοδος παράκαμψης⁵⁷

Στην εικόνα 3.9 παρατηρούμε μία δίοδο παράκαμψης αλλά πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν πλαίσια με περισσότερες από μία διόδους παράκαμψης, ώστε να μειώνεται η επιδραση της σκίασης στην ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3.10: Φαινόμενο θερμής κηλίδας με διαγνωστική θερμοκάμερα εκεί που υπάρχει ανοιχτόχρωμο κομμάτι, το φ/β πάνελ έχει υποστεί το φαινόμενο

Καθένας από αυτούς τους τύπους κυττάρων υποφέρει από το φαινόμενο hot spot, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Από την κατηγοριοποίηση των ειδών σκίασης είναι γνωστό ότι σκιάς μικρότερες, αλλά από πλήρως αδιαφανή αντικείμενα είναι οι πιο επικίνδυνες. Εκτός από το είδος της σκίασης, ο κίνδυνος από το φαινόμενο hot-spot σε πλαίσια εξαρτάται, επίσης, από τις κλιματολογικές συνθήκες. Εξαρτάται, πιο συγκεκριμένα, από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (η χειρότερη περίπτωση είναι: υψηλή), την ακτινοβολία (η χειρότερη περίπτωση είναι: υψηλή) και από την ταχύτητα του ανέμου (η χειρότερη περίπτωση είναι: χαμηλή). Ακόμα, οι συνθήκες που προκύπτουν από την εγκατάσταση του πλαισίου παίζουν και αυτές ρόλο στον κίνδυνο, τον οποίον διατρέχει το εν λόγω πλαίσιο να υποστεί hot spot (η χειρότερη περίπτωση είναι: να είναι ενσωματωμένο στο κτίριο ή στη στέγη του ή με ανεπαρκή εξαερισμό στην πίσω επιφάνειά του). Παρ' όλα αυτά, ο υψηλότερος κίνδυνος για hot-spot σχετίζεται με το υλικό του κυττάρου, την ποιότητα επεξεργασίας του, το μήκος της αλυσίδας σε δεδομένο πλαίσιο και το είδος του κυττάρου.⁵⁸

3.5. ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΑΡΝΗΤΙΚΑ

Ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων : Όπως είναι γνωστό η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος έχει διαφορετικές εντάσεις σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Δηλαδή στον κρύσταλλο, προσπίπτουν φωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ενέργειας τα οποία είναι δυνατόν ή να διαπεράσουν το φ/β στοιχείο, ή να απορροφηθούν παράγοντας μόνο θερμότητα υπό μορφή ταλαντώσεων των ατόμων, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων - οπών, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών και η επιπλέον ενέργεια τους να μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτός ο παράγοντας με τους τέσσερις μηχανισμούς του και μόνο περιορίζει τη μέγιστη δυνατή απόδοση στο 44%.



Εικόνα 3.11: Φαινόμενο θερμής κηλίδας

Μη ικανοποιητικές τιμές τόσο της εν σειρά αντίστασης R_S όσο και της παράλληλης R_{SH} τείνουν να ελαττώσουν το συντελεστή ff , ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα ISC , VOC με τελική συνέπεια τη μείωση της απόδοσης. Οι φυσικοί μηχανισμοί που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και βαθμού απόδοσης είναι αρκετά πολύπλοκοι. Πάντως τόσο οι αρκετά υψηλές και οι αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες τείνουν να μειώσουν σημαντικά το βαθμό απόδοσης.



Εικόνα 3.12: Κατεστραμμένη ολοσχερώς φ/β γεννήτρια⁵⁹

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το παρόν κεφάλαιο πραγματεύεται την επεξεργασία των μετρήσεων που λάβαμε κατά την πειραματική διαδικασία και την εξαγωγή κατάλληλων και αξιόπιστων γραφικών παραστάσεων για περαιτέρω μελέτη και έρευνα. Επίσης, σε αυτό το κεφάλαιο σχολιάζονται τα διαγράμματα για να μπορέσουμε στο επόμενο να συγκρίνουμε τα αποτελέσματά μας.

4.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (P-V PANEL)

ΩΡΑ: 12.59 μμ.

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ-ΚΤΙΡΙΟ Α.Π.Ε.

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας ήταν η καταγραφή και μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς καθώς και των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V του Φ/Β στοιχείων-πλασίου υπό διάφορες συνθήκες σκίασης.

Χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός

Για την εκπόνηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω:

- Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο της εταιρίας BioEnergy και τύπος BIO-185
- Πυρανόμετρο Kipp n Zonen
- Αισθητήρας ηλιακής ακτινοβολίας (solar irradiation sensor)
- Σύστημα λήψης της χαρακτηριστικής I-V (I-V tracer)
- Μαύρο χαρτόνι
- Ημιδιάφανο νάιλον

Το πάνελ έχει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

STANDARD TEST CONDITIONS: 1000 W/M2, AM 1.5 , 25°C (STC)	
Maximum Power Voltage ,VMP	36.50 V
Maximum Power Current , IMP	5.21 A
Open Circuit Voltage , VOC	45.20 V
Short Circuit Current , ISC	5.53 A
Maximum System Voltage , VMAX	1000 VDC
Maximum Power Tolerance	± 3%
TEMPERATURE COEFFICIENTS	
Temp. Coefficient of PMAX	-0.51% / °C
Temp. Coefficient of ISC	0.035% / °C
Temp. Coefficient of VOC	-0.34% / °C

Πίνακας 4.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου BIO-185

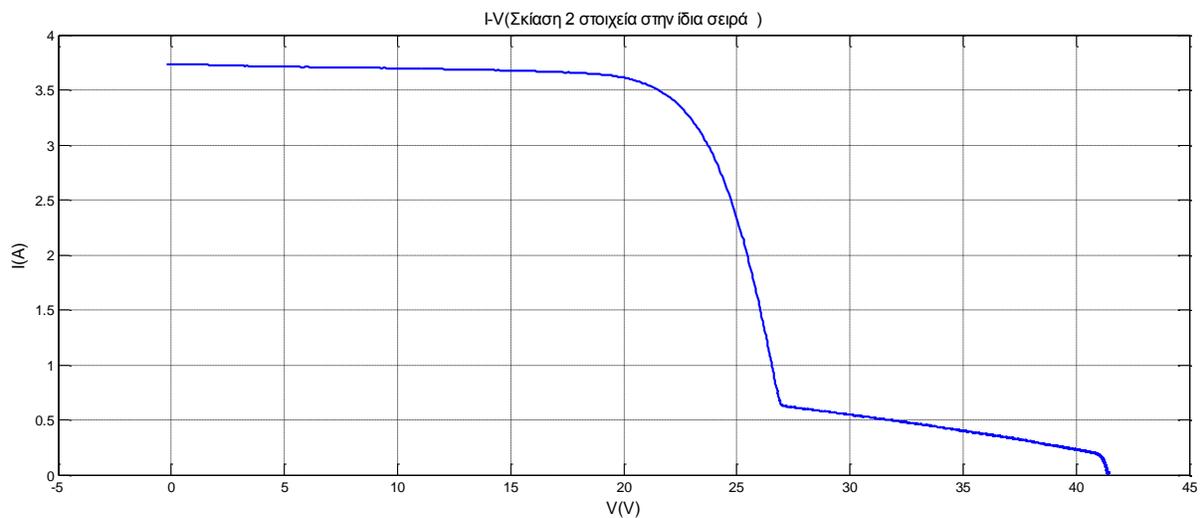
Η διαδικασία είχε ως εξής: Το πάνελ που χρησιμοποιήσαμε τοποθετήθηκε σε μια κινούμενη και ρυθμιζόμενη βάση της οποίας ρυθμίζαμε το ύψος όπου θα στηρίζαμε το πάνελ ως προς δυο άξονες ώστε να είναι συνεχώς κάθετα με τον ήλιο. Στην συνέχεια τοποθετήσαμε στις δυο κάτω άκρες του πάνελ το πυρανόμετρο και τον αισθητήρα της ηλιακής ακτινοβολίας. Έπειτα συνδέσαμε το σύστημα λήψης της χαρακτηριστικής I-V με το πίσω μέρος του πλαισίου αλλά και με το πυρανόμετρο και τον αισθητήρα ώστε να λαμβάνουμε άμεσα τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειαζόμαστε. Για να δημιουργήσουμε συνθήκες σκίασης χρησιμοποιήσαμε μαύρο σκληρό χαρτόνι και καλύπταμε τα cell με διαφορετικό τρόπο κάθε φορά ώστε να πάρουμε μετρήσεις με διαφορετικά ποσοστά σκίασης. Ακόμα, εκτός από το μαύρο χαρτόνι χρησιμοποιήσαμε και ένα χοντρό ημιδιάφανο νάιλον ώστε να έχουμε σκίαση σε μικρότερο ποσοστό και όχι 100% όπως είχαμε με το μαύρο χαρτόνι.

Στην εικόνα 4.1 παρατηρούμε ότι τα δύο στοιχεία στην αριστερή πλευρά είναι σκιασμένα, και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Με την παραπάνω μέτρηση και με τα I-V tracer, έγινε η λήψη της I-V. Από τα δεδομένα τα οποία τα εισάγαμε στο πρόγραμμα matlab, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρούμε αλλοίωση στην καμπύλη , γραφικά δείχνει σαν να λείπει κομμάτι της. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν έχουμε έστω και ένα φ/β στοιχείο που

σκιάζεται σε ένα φ/β πάνελ, αυτό λειτουργεί σαν μικρή αντίσταση ή αλλιώς σαν καταναλωτής. Στην ουσία απορροφά ρεύμα από το φ/β πλαίσιο και υπερθερμαίνεται.



Εικόνα 4.1: Φ/Β πλαίσιο με δύο στοιχεία σκιασμένα στην ίδια σειρά



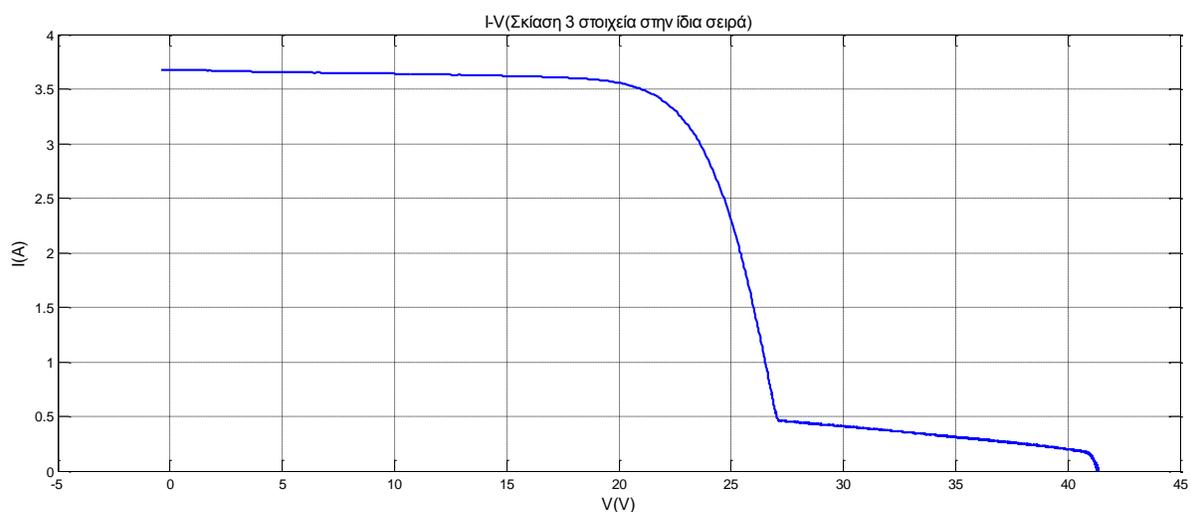
Διάγραμμα 4.1: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαίσιο με δύο στοιχεία της ίδιας σειράς σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 664 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 75.69 W , V_{mp} : 21.84 V , I_{mp} : 3.465 A , V_{oc} : 41.41 V , I_{sc} : 3.735 A , FF : 48.9% , T : $40.0 \text{ }^\circ\text{C}$



Εικόνα 4.2: Φ/Β πλαίσιο με τρία στοιχεία σκιασμένα στην ίδια σειρά

Στην εικόνα 4.2 παρατηρούμε ότι τα 3 στοιχεία στην αριστερή πλευρά είναι σκιασμένα, και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Με την παραπάνω μέτρηση και με τα I-V tracer, έγινε η λήψη της I-V. Από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



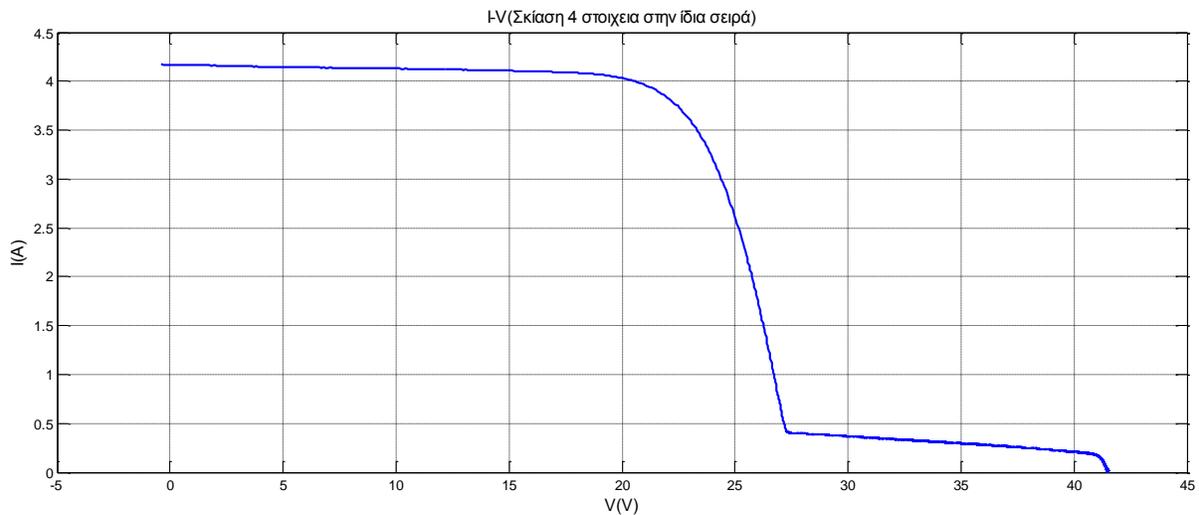
Διάγραμμα 4.2: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με τρία στοιχεία της ίδιας σειράς σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 646 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: $P_{mpp}: 74.62 \text{ W}$, $V_{mpp}: 22.03 \text{ V}$, $I_{mpp}: 3.387 \text{ A}$, $V_{oc}: 41.32 \text{ V}$, $I_{sc}: 3.677 \text{ A}$, $FF: 49.1 \%$, $T: 40.3 \text{ }^\circ\text{C}$



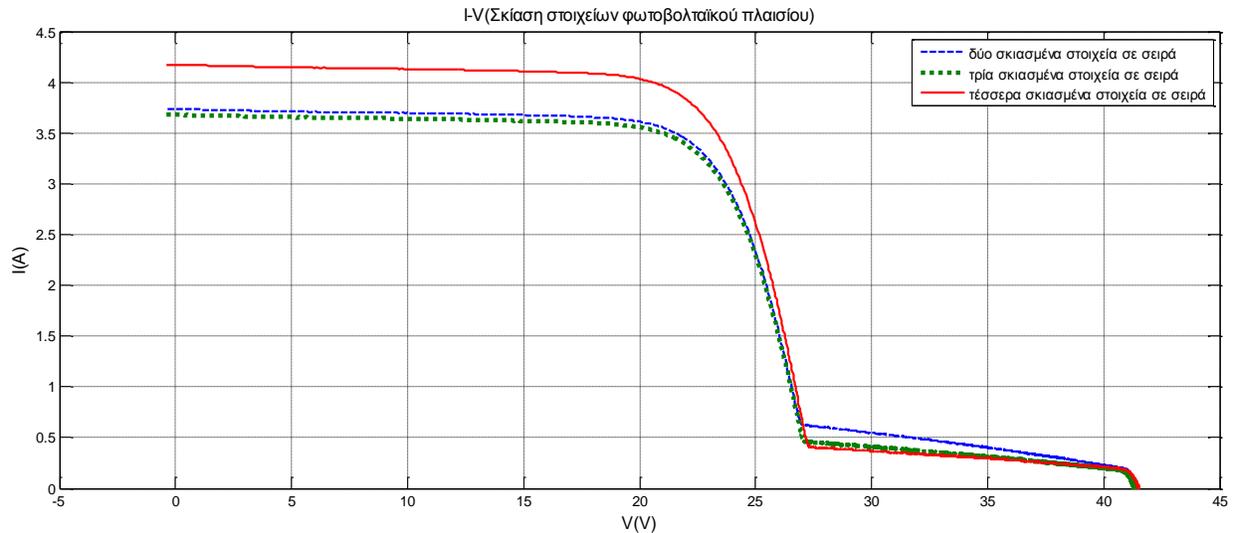
Εικόνα 4.3: Φ/Β πλαίσιο με τέσσερα στοιχεία σκιασμένα στην ίδια σειρά

Στην εικόνα 4.3 παρατηρούμε ότι τα 4 στοιχεία στην αριστερή πλευρά είναι σκιασμένα, και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Με την παραπάνω μέτρηση και με τα I-V tracer, έγινε η λήψη της I-V. Από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.3: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με τέσσερα στοιχεία της ίδιας σειράς σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 736 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 84.39 W, V_{mpp} : 22.03 V, I_{mpp} : 3.831 A, V_{oc} : 41.50 V, I_{sc} : 4.170 A, FF: 48.8 %, T: 40.5 °C



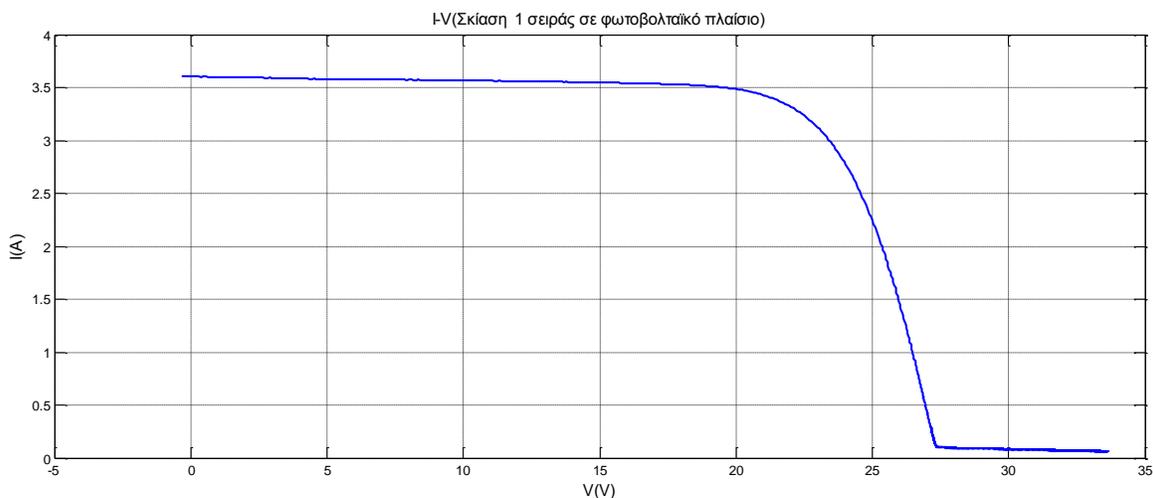
Διάγραμμα 4.4: Χαρακτηριστικές I-V Φ/Β πλαισίου και με τους τρεις παραπάνω τρόπους σκίασης

Στο διάγραμμα 4.4 βλέπουμε την μεταβολή των καμπυλών I-V για τους τρεις παραπάνω τρόπους σκίασης. Η παραπάνω μεταβολή οφείλεται στο ότι υπάρχει μια πολύ μικρή διαφορά στο ποσοστό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που έπεφτε στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.



Εικόνα 4.4: Φ/Β πλαίσιο με μία σκιασμένη σειρά

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.4 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά μία ολόκληρη σειρά και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



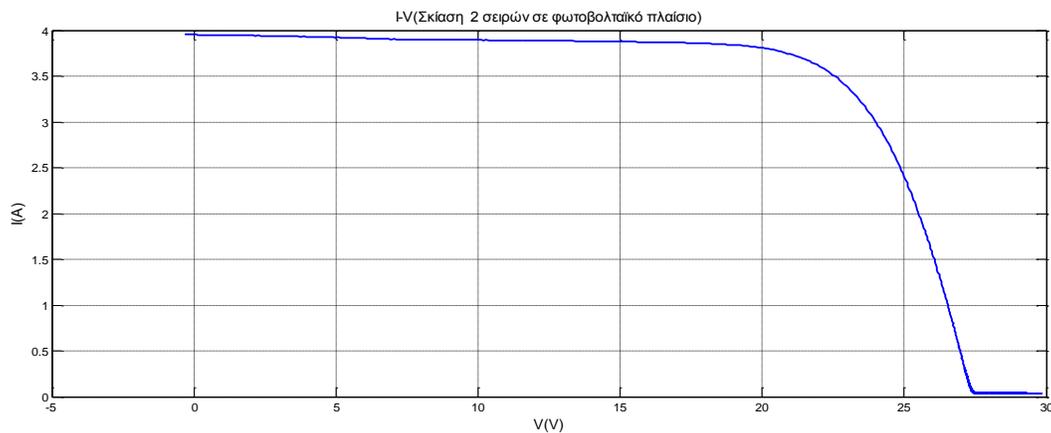
Διάγραμμα 4.5: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με μια σειρά σκιασμένη

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 634 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 73.13 W, V_{mpp} : 22.13 V, I_{mpp} : 3.304 A, V_{oc} : 34.00 V, I_{sc} : 3.605 A, FF: 59.7 %, T: 41.4 °C



Εικόνα 4.5: Φ/B πλαίσιο με δύο σκιασμένες σειρές

Στην εικόνα 4.5 σκιάσαμε το πάνελ κατά δύο ολόκληρες σειρές, και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Με την παραπάνω μέτρηση και με τα I-V tracer, έγινε η λήψη της I-V. Από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



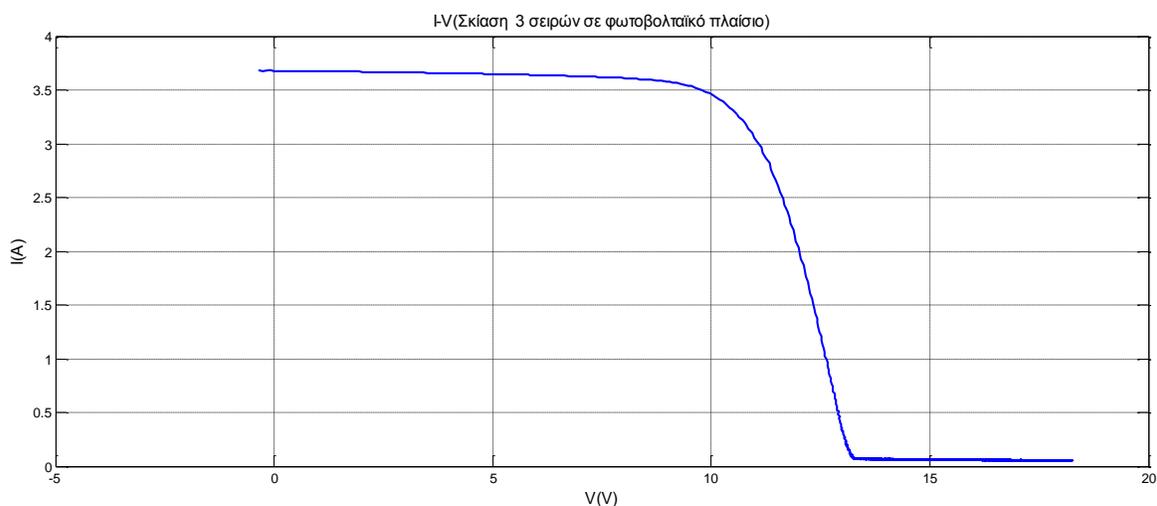
Διάγραμμα 4.6: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με δύο σειρές σκιασμένες

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 698 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 79.54 W, V_{mpp} : 21.95 V, I_{mpp} : 3.624 A, V_{oc} : 29.97 V, I_{sc} : 3.953 A, FF: 67.1 %, T: 42.6 °C



Εικόνα 4.6: Φ/B πλαίσιο με τρεις σκιασμένες σειρές

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.6 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά τρεις ολόκληρες σειρές και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



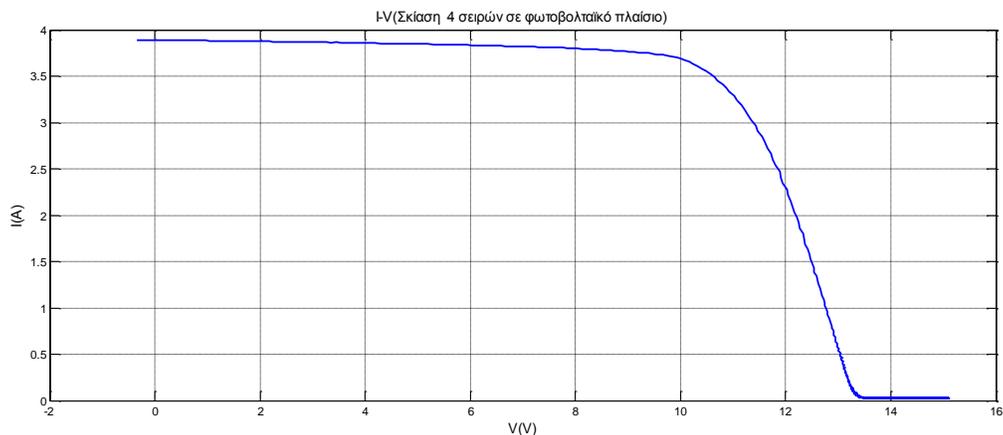
Διάγραμμα 4.7: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με τρεις σειρές σκιασμένες

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 641 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 34.84 W, V_{mpp} : 10.36 V, I_{mpp} : 3.364 A, V_{oc} : 18.53 V, I_{sc} 3.679 A, FF: 51.1 %, T: 40.5 °C



Εικόνα 4.7: Φ/Β πλαίσιο με τέσσερις σκιασμένες σειρές

Στην εικόνα 4.7 σκιάσαμε το πάνελ κατά τέσσερις ολόκληρες σειρές, και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Με την παραπάνω μέτρηση και με τα I-V tracer, έγινε η λήψη της I-V. Από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



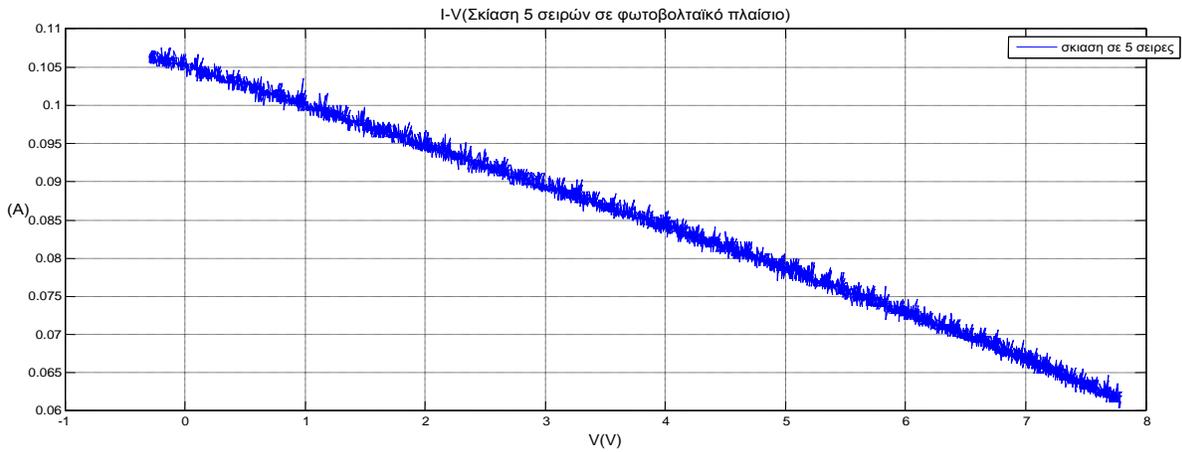
Διάγραμμα 4.8: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με τέσσερις σειρές σκιασμένες

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 696 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: $P_{mpp}: 37.28 \text{ W}$, $V_{mpp}: 10.41 \text{ V}$, $I_{mpp}: 3.583 \text{ A}$, $V_{oc}: 15.21 \text{ V}$, $I_{sc}: 3.890 \text{ A}$, $FF: 63.0 \%$, $T: 36.4 \text{ }^\circ\text{C}$



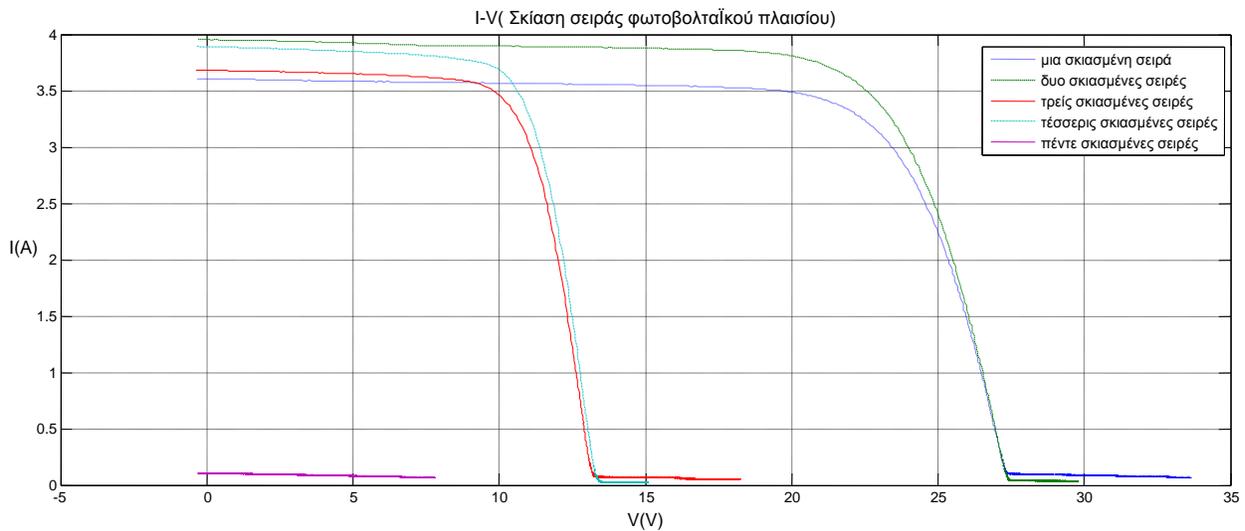
Εικόνα 4.8: Φ/Β πλαίσιο με πέντε σκιασμένες σειρές

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.8 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά τέσσερις ολόκληρες σειρές και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.9: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με πέντε σειρές σκιασμένες

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 654 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 0.50 W, V_{mp} : 7.69 V, I_{mp} : 0.065 A, V_{oc} : 7.78 V, I_{sc} : 0.107 A, FF: 60.0 %, T: 33.1 °C



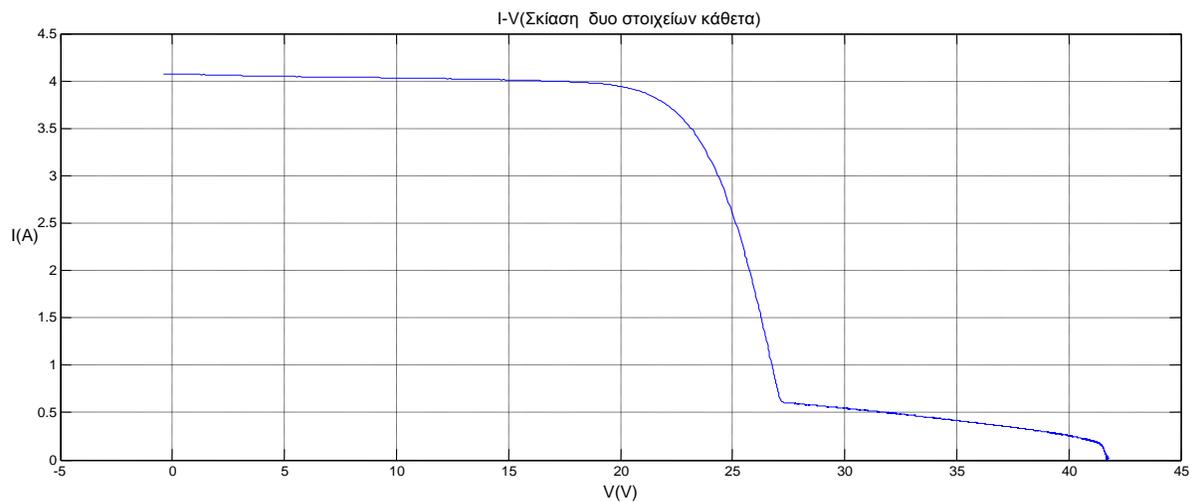
Διάγραμμα 4.10: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου και με τους πέντε παραπάνω τρόπους σκίασης

Στο διάγραμμα 4.10 παρατηρούμε πως μεταβάλλονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V ανάλογα πόσες σειρές είναι σκιασμένες. Αυτή η μεταβολή οφείλεται στην ύπαρξη των διόδων που υπάρχουν στο πλαίσιο, και βρίσκονται σε ανα δύο σειρές.



Εικόνα 4.9: Φ/Β πλαίσιο με δύο στοιχεία σκιασμένα κάθετα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.9 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά δύο στοιχεία κάθετα και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



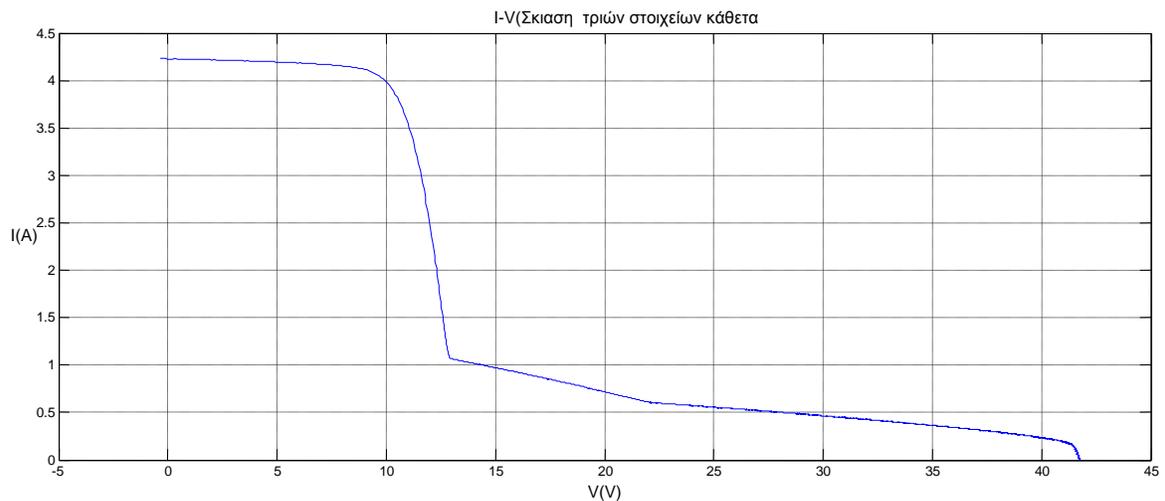
Διάγραμμα 4.11: : Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με δύο στοιχεία κάθετα σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 714 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 82.75 W , V_{mp} : 22.06 V , I_{mp} : 3.751 A , V_{oc} : 41.72 V , I_{sc} 4.072 A , FF : 48.7% , T : $39.7 \text{ }^\circ\text{C}$



Εικόνα 4.10: Φ/Β πλαίσιο με τρία στοιχεία σκιασμένα κάθετα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.10 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά τρία στοιχεία κάθετα και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



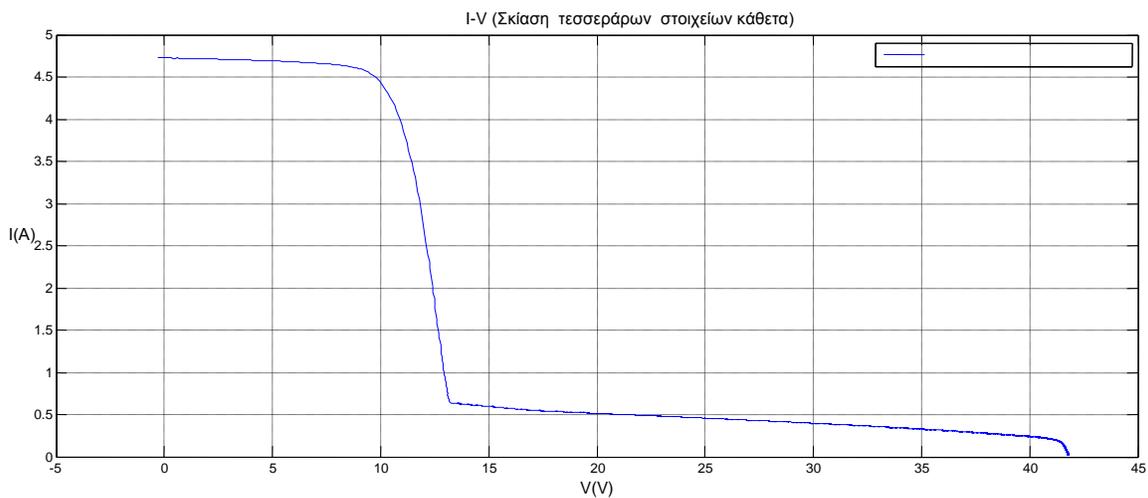
Διάγραμμα 4.12: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με τρία στοιχεία κάθετα σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 743 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 40.22 W, V_{mp} : 10.52 V, I_{mp} : 3.824 A, V_{oc} : 41.72 V, I_{sc} : 4.228 A, FF: 22.8 %, T: 39.0 °C



Εικόνα 4.11: Φ/Β πλαίσιο με τέσσερα στοιχεία σκιασμένα κάθετα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.11 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά τέσσερα στοιχεία κάθετα και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



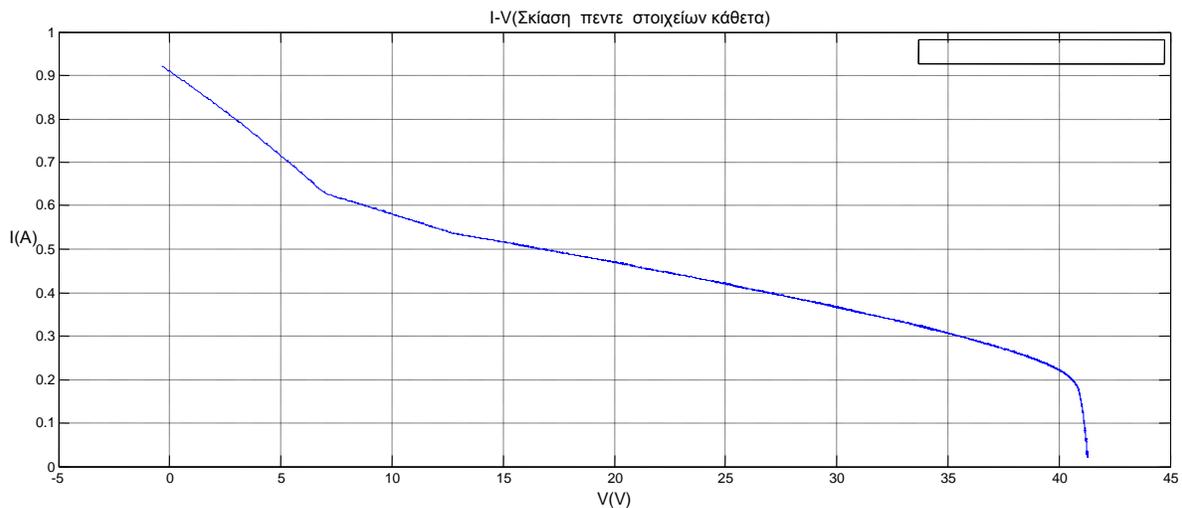
Διαγραμμα 4.13: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με τέσσερα στοιχεία κάθετα σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 830 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 44.59 W, V_{mpp} : 10.35 V, I_{mpp} : 4.308 A, V_{oc} : 41.80 V, I_{sc} : 4.726 A, FF: 22.6 %, T : 39.6 °C



Εικόνα 4.12: Φ/Β πλαίσιο με πέντε στοιχεία σκιασμένα κάθετα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.12 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά πέντε στοιχεία κάθετα και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



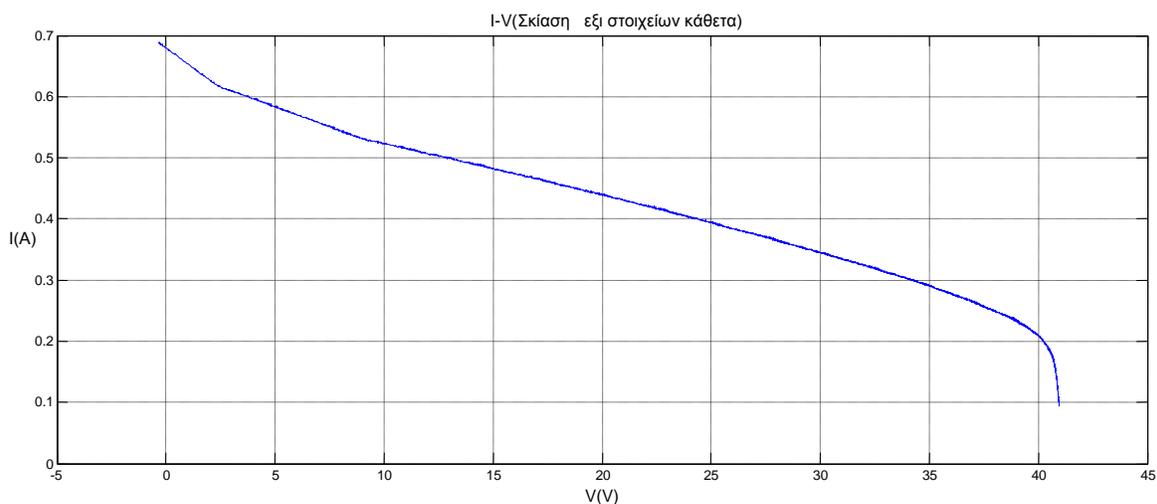
Διαγραμμα 4.14: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με πέντε στοιχεία κάθετα σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 810 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 11.05 W, V_{mp} : 29.72 V, I_{mp} : 0.372 A, V_{oc} : 41.29 V, I_{sc} : 0.910 A, FF: 29.4 %, T: 42.8 °C



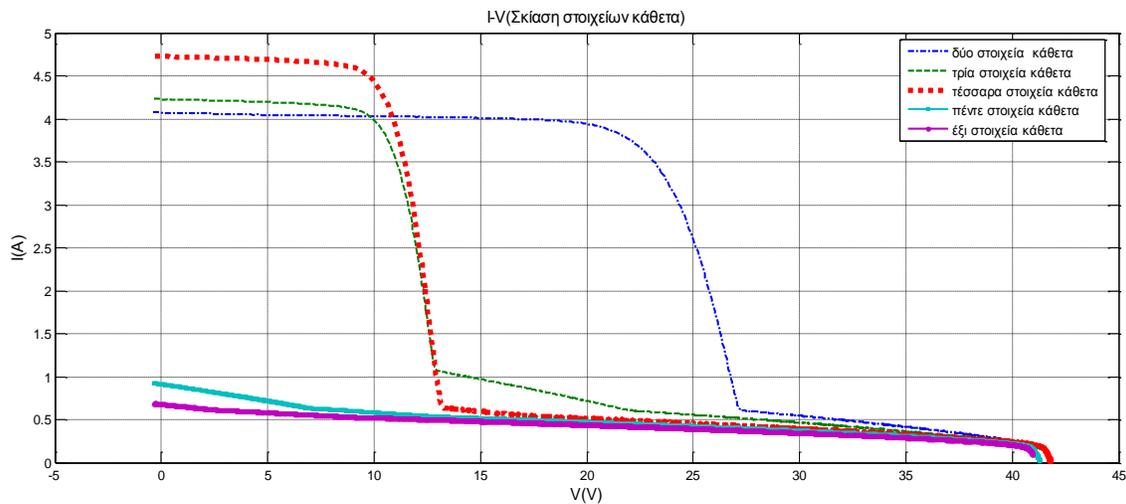
Εικόνα 4.13: Φ/B πλαίσιο με έξι στοιχεία σκιασμένα κάθετα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.13 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά έξι στοιχεία κάθετα και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



Διαγραμμα 4.15: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με έξι στοιχεία κάθετα σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 777 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 10.43 W, V_{mpp} : 32.23 V, I_{mpp} : 0.324 A, V_{oc} : 40.96 V, I_{sc} : 0.680 A, FF: 37.5 %, T: 43.4 °C



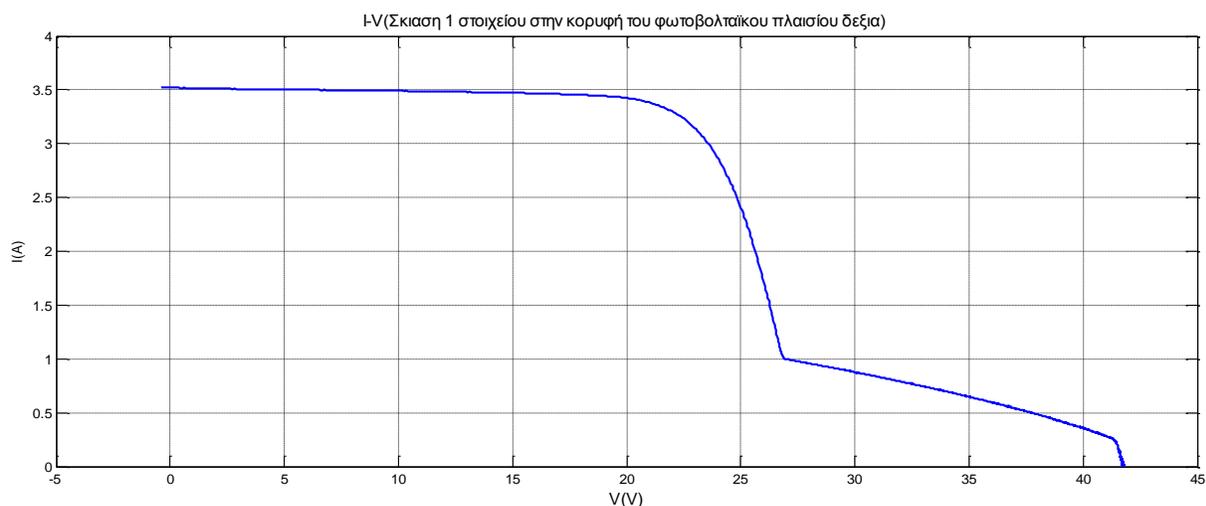
Διάγραμμα 4.16: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου και με τους πέντε παραπάνω τρόπους σκίασης

Στο διάγραμμα 4.16 βλέπουμε την μεταβολή των καμπυλών I-V για τους πέντε παραπάνω τρόπους σκίασης. Αυτή η μεταβολή οφείλεται στην ύπαρξη των διόδων που υπάρχουν στο πλαίσιο, και βρίσκονται σε ανα δύο σειρές.



Εικόνα 4.14: Φ/Β πλαίσιο με ένα στοιχείο σκιασμένο

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.14 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά ένα στοιχείο το οποίο βρίσκεται στο πάνω δεξιά μέρος του, και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



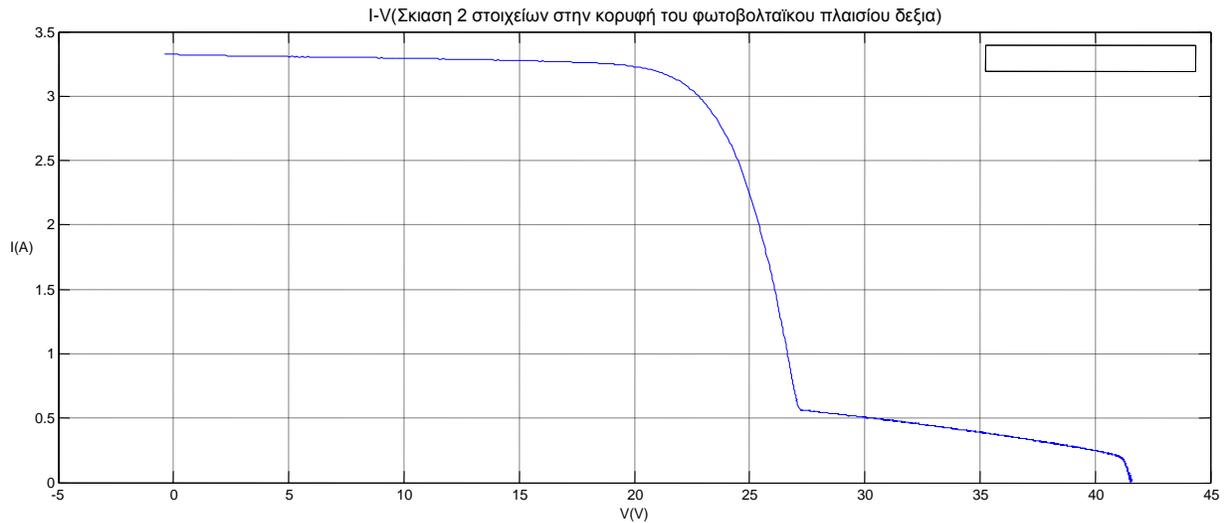
Διάγραμμα 4.17: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με ένα στοιχείο πάνω δεξιά σκιασμένο

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 617 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: $P_{mpp}: 72.83 \text{ W}$, $V_{mpp}: 22.39 \text{ V}$, $I_{mpp}: 3.253 \text{ A}$, $V_{oc}: 41.75 \text{ V}$, $I_{sc}: 3.520 \text{ A}$, $FF: 49.6 \%$, $T: 39.9 \text{ }^\circ\text{C}$



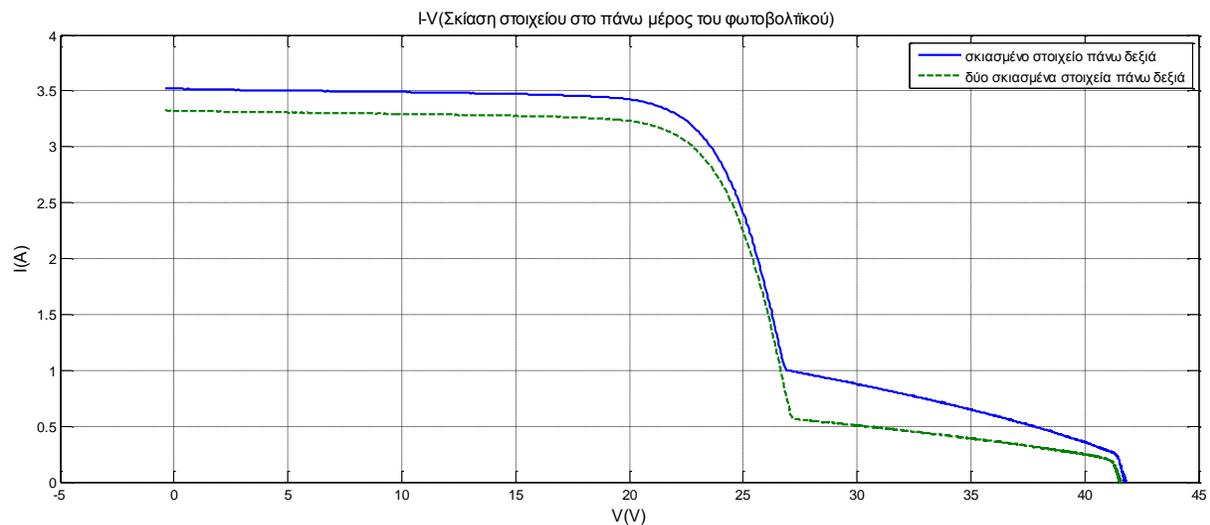
Εικόνα 4.15: Φ/B πλαίσιο με δύο στοιχεία σκιασμένα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.15 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά δύο στοιχεία τα οποία βρίσκονται στο πάνω δεξιά μέρος του, και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.18: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με δύο στοιχεία πανω δεξιά σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 582 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 68.59 W, V_{mpp} : 22.33 V, I_{mpp} : 3.071 A, V_{oc} : 41.55 V, I_{sc} : 3.324 A, FF: 49.7 %, T: 39.1 °C



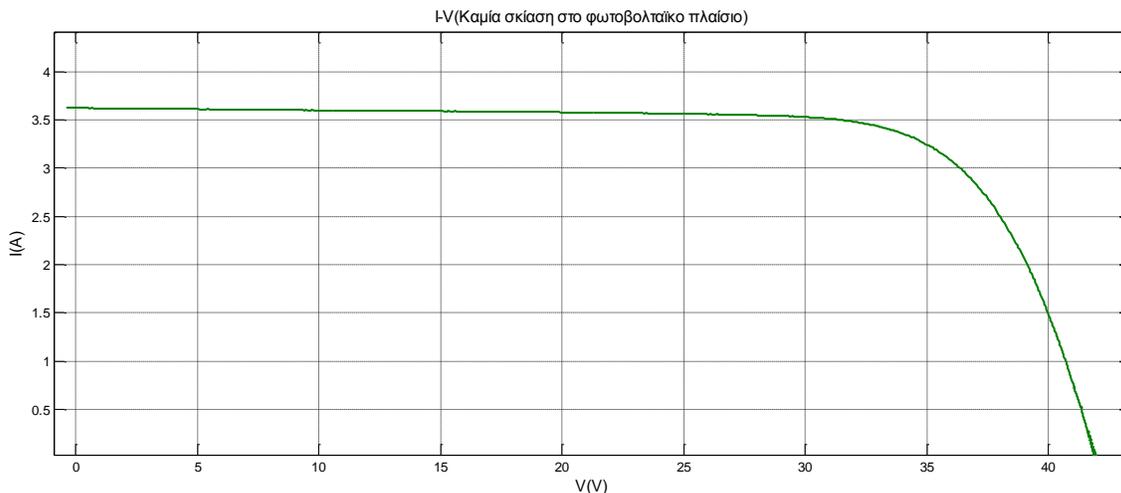
Διάγραμμα 4.19: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με τους δύο παραπάνω τρόπους σκίασης

Στο διάγραμμα 4.19 βλέπουμε την μεταβολή των καμπυλών I-V για δύο παραπάνω διαφορετικές σκιάσεις.



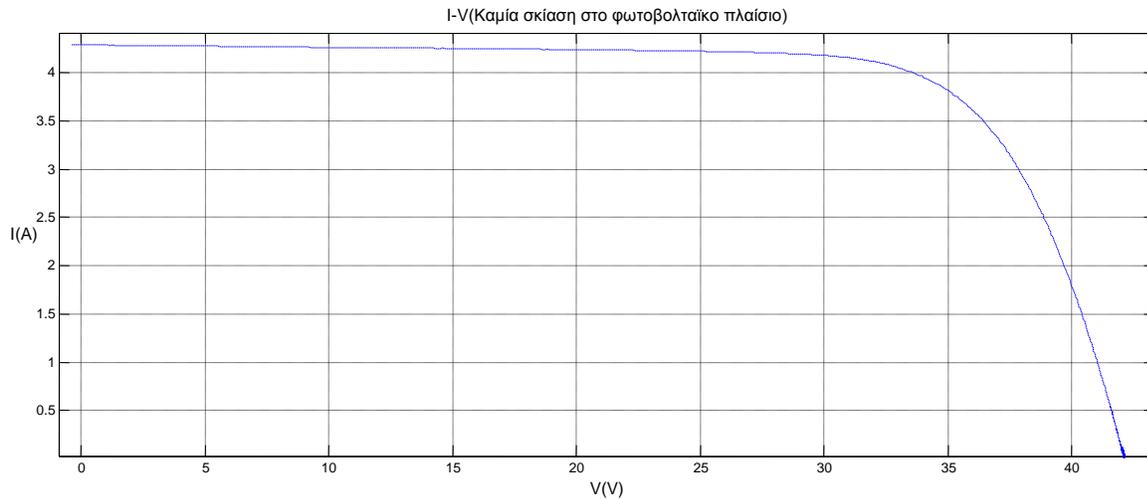
Εικόνα 4.16: Φ/Β πλαίσιο ‘καθαρό’ από σκιάσεις

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.16 το πάνελ δεν σκιάζεται και κατά την πειραματική διαδικασία πήραμε δύο μετρήσεις σε διαφορετικές χρονικές στιγμές ώστε να έχουμε και διαφορετική τιμή ακτινοβολίας. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα



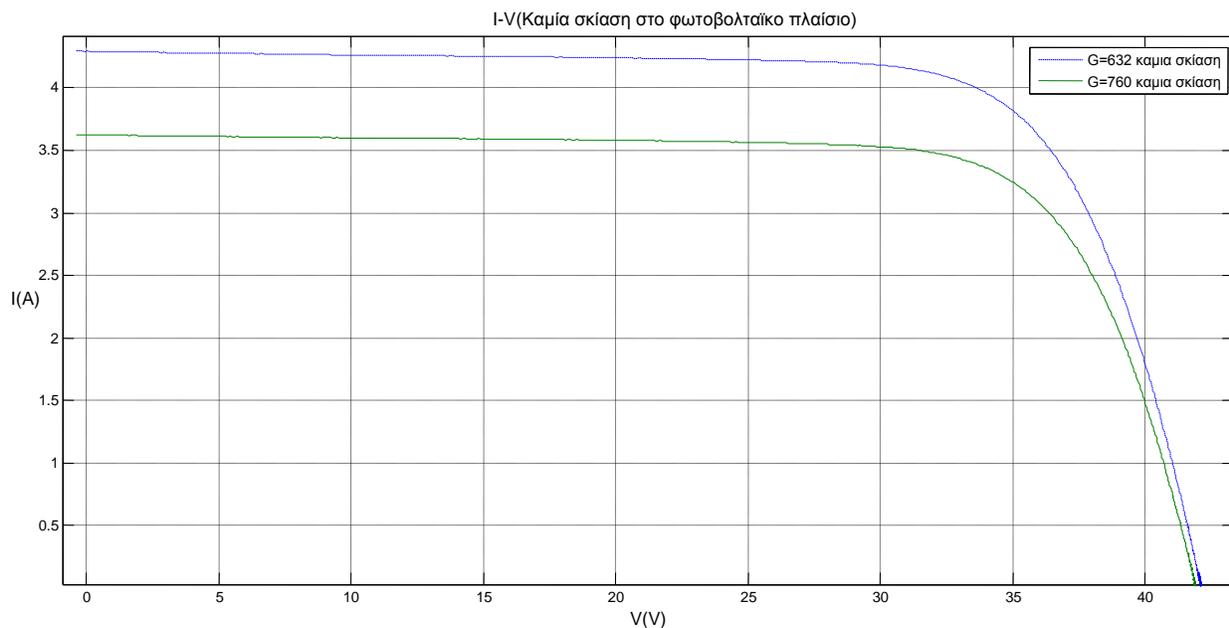
Διάγραμμα 4.20: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου χωρίς σκίαση

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 632 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 114.29 W, V_{mp} : 34.46 V, I_{mp} : 3.316 A, V_{oc} : 41.93 V, I_{sc} : 3.625 A, FF: 75.2 %, T: 38.8 °C



Διάγραμμα 4.21: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου χωρίς σκίαση

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 760 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 134.75 W, V_{mp} : 33.97 V, I_{mp} : 3.967 A, V_{oc} : 42.13 V, I_{sc} : 4.292 A, FF: 74.5 %, T: 37.0 °C



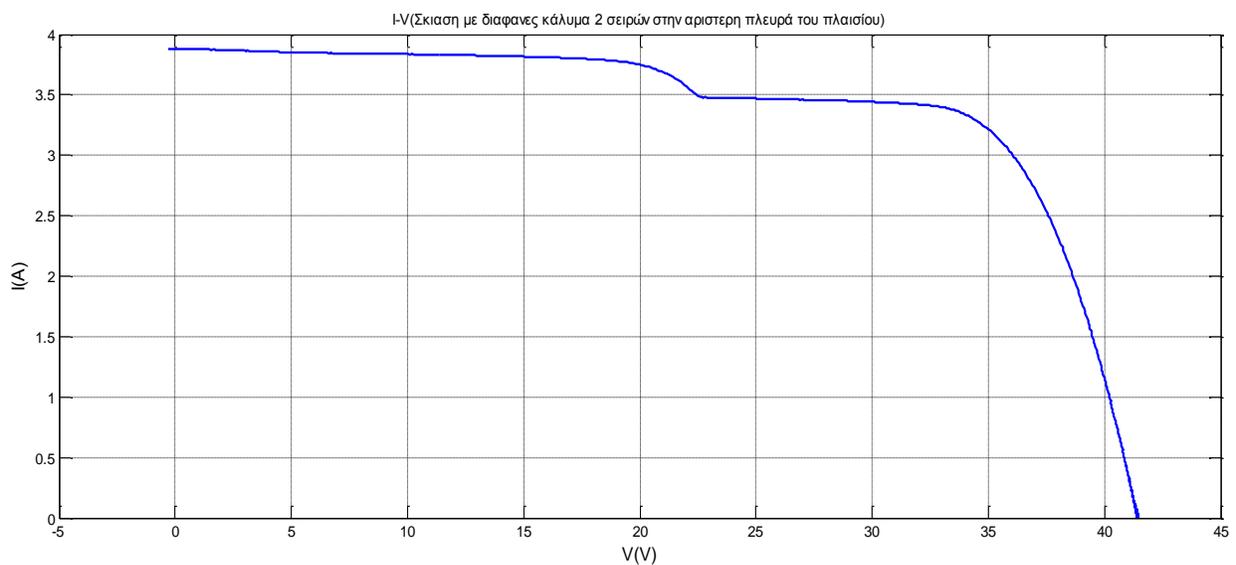
Διάγραμμα 4.22: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου χωρίς σκίαση με διαφορετικές εντάσεις ακτινοβολίας

Στο διάγραμμα 4.22 παρατηρούμε την μεταβολή των καμπυλών I-V σε ένα μη σκιαζόμενο πάνελ για διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας. Αυτή η μεταβολή οφείλεται στο ότι υπάρχει μια πολύ μικρή διαφορά στο ποσοστό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που έπεφτε στην επιφάνεια του φ/β πλαισίου.



Εικόνα 4.17: Φ/Β πλαίσιο με δύο σκιασμένες σειρές

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.17 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά δύο ολόκληρες σειρές και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποίησαμε το ημιδιαφανές νάιλον. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



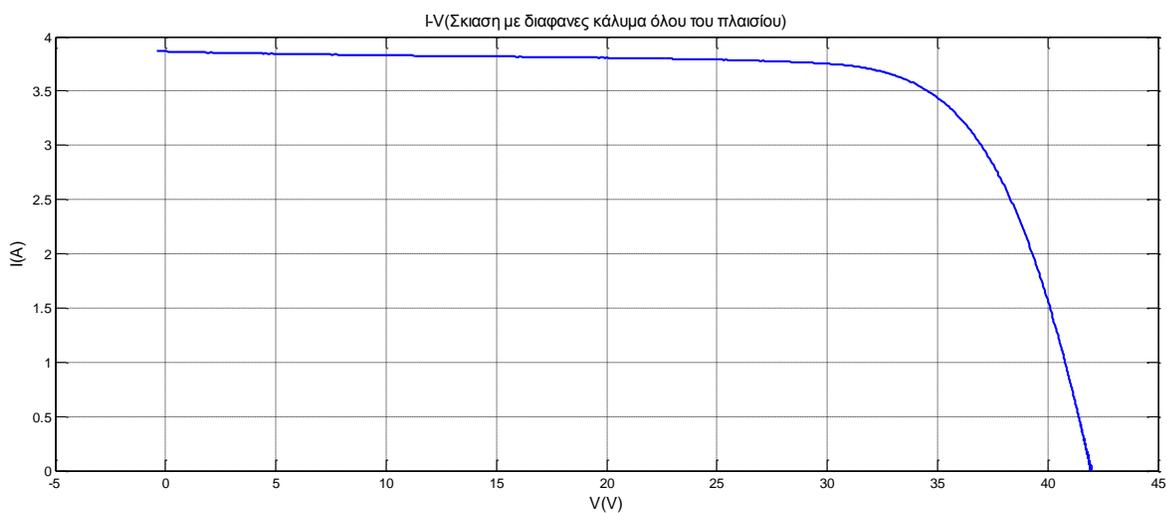
Διάγραμμα 4.23: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με δύο σειρές σκιασμένες

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 634 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 113.62 W, V_{mp} : 33.93 V, I_{mp} : 3.349 A, V_{oc} : 41.41 V, I_{sc} : 3.883 A, FF: 70.7 %, T: 43.7 °C



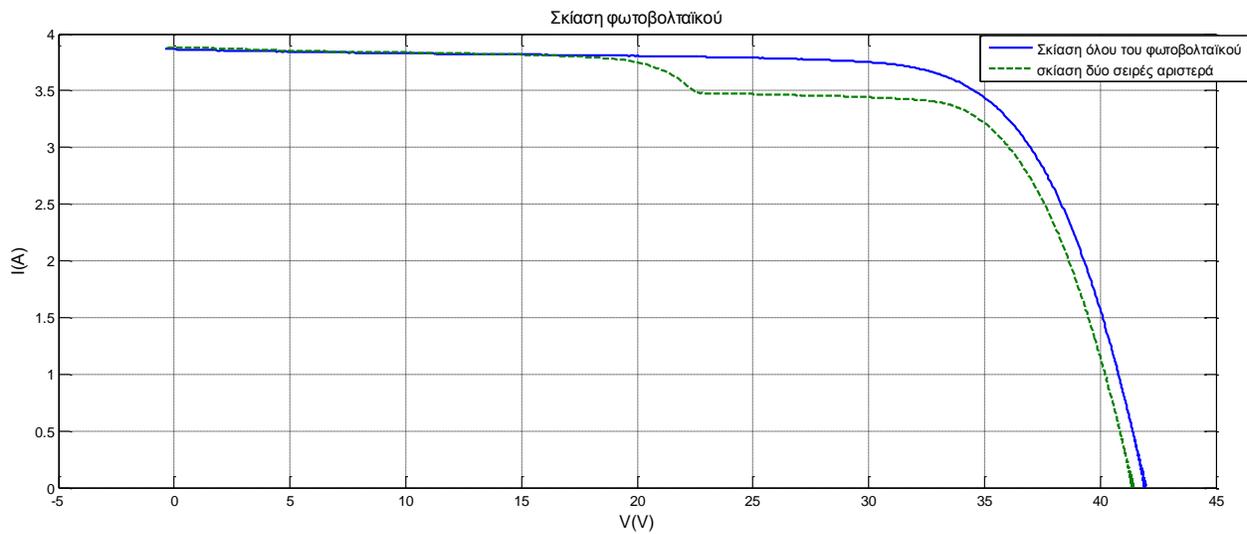
Εικόνα 4.18: Φ/Β πλαίσιο σκιασμένο σε όλη του την επιφάνεια

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.18 κατά την πειραματική διαδικασία σκίασαμε το πάνελ σε όλη του την επιφάνεια και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το ημιδιαφανές νάιλον. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.24: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με ολόκληρη την επιφάνεια του σκιασμένη

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 800 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mp} : 121.28 W, V_{mp} : 33.90 V, I_{mp} : 3.578 A, V_{oc} : 41.94 V, I_{sc} : 3.866 A, FF: 74.8 %, T : 38.5 °C



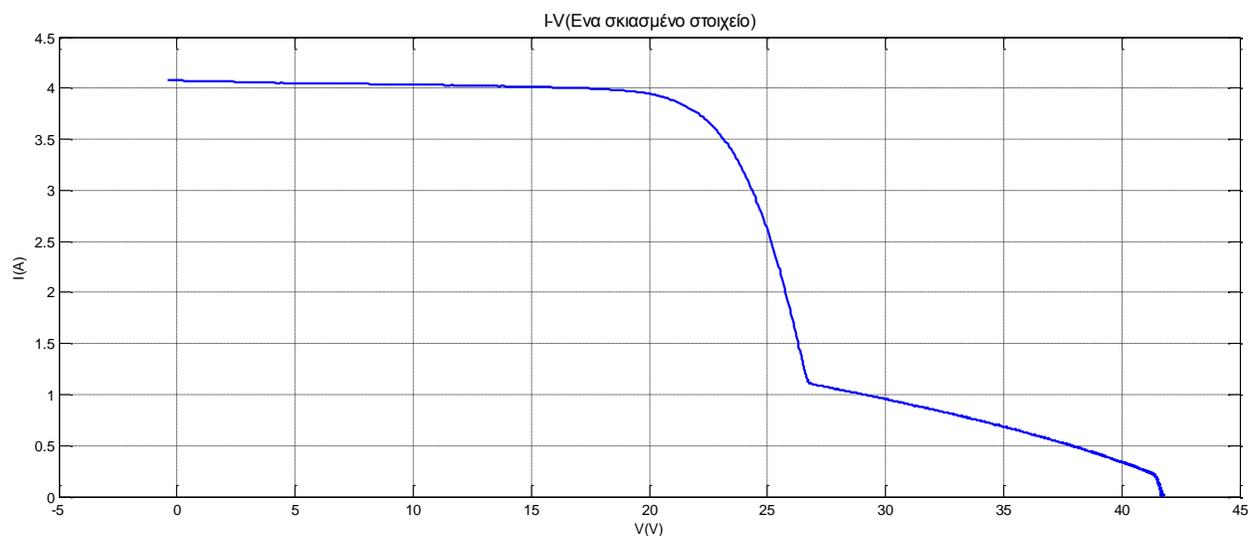
Διάγραμμα 4.25: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου και με τους δύο παραπάνω τρόπους σκίασης

Στο διάγραμμα 4.25 βλέπουμε πως μεταβάλλονται οι καμπύλες I-V για τους δύο παραπάνω τρόπους σκίασης.



Εικόνα 4.19: Φ/Β πλαίσιο με ένα στοιχείο σκιασμένο

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.19 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά ένα στοιχείο το οποίο βρίσκεται στην πρώτη σειρά, στην πρώτη θέση από κάτω και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



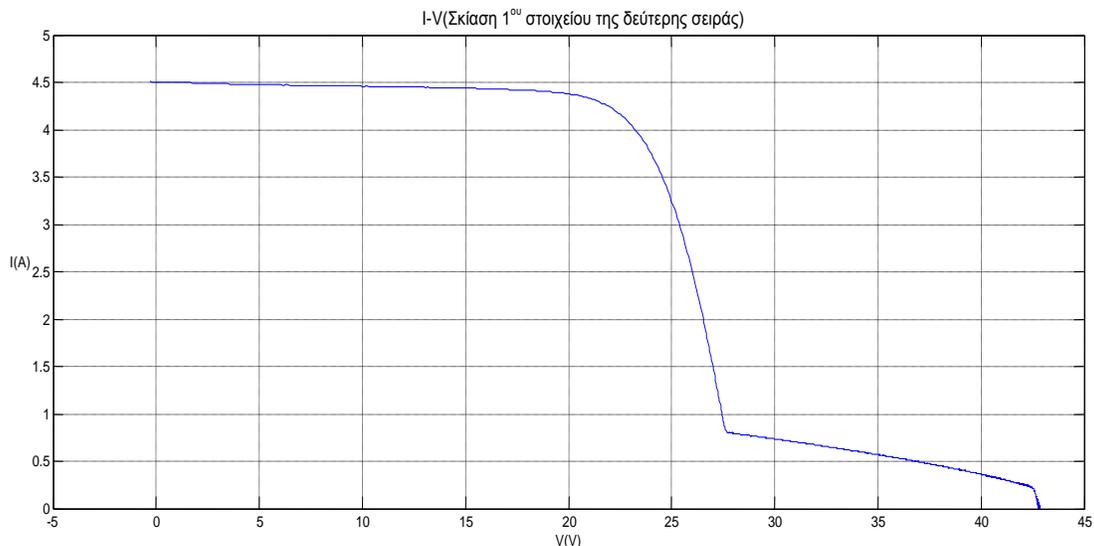
Διάγραμμα 4.26: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με ένα στοιχείο σκιασμένο

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 720 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 82.84 W, V_{mpp} : 22.27 V, I_{mpp} : 3.720 A, V_{oc} : 41.72 V, I_{sc} : 4.076 A, FF: 48.7 %, T: 39.0 °C



Εικόνα 4.19: Φ/B πλαίσιο με ένα στοιχείο σκιασμένο

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.19 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά ένα στοιχείο το οποίο βρίσκεται στην δεύτερη σειρά, στην πρώτη θέση από κάτω και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



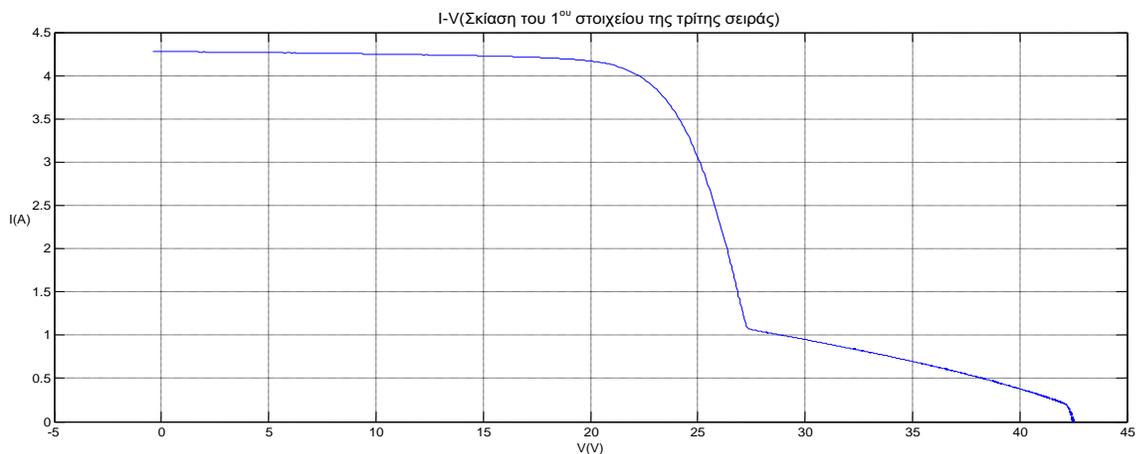
Διάγραμμα 4.27: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με ένα στοιχείο σκιασμένο

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 795 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 93.68 W, V_{mpp} : 22.53 V, I_{mpp} : 4.158 A, V_{oc} : 42.82 V, I_{sc} : 4.505 A, FF: 48.6 %, T: 33.7 °C



Εικόνα 4.20: Φ/Β πλαίσιο με ένα στοιχείο σκιασμένο

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.20 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά ένα στοιχείο το οποίο βρίσκεται στην τρίτη σειρά, στην πρώτη θέση από κάτω και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



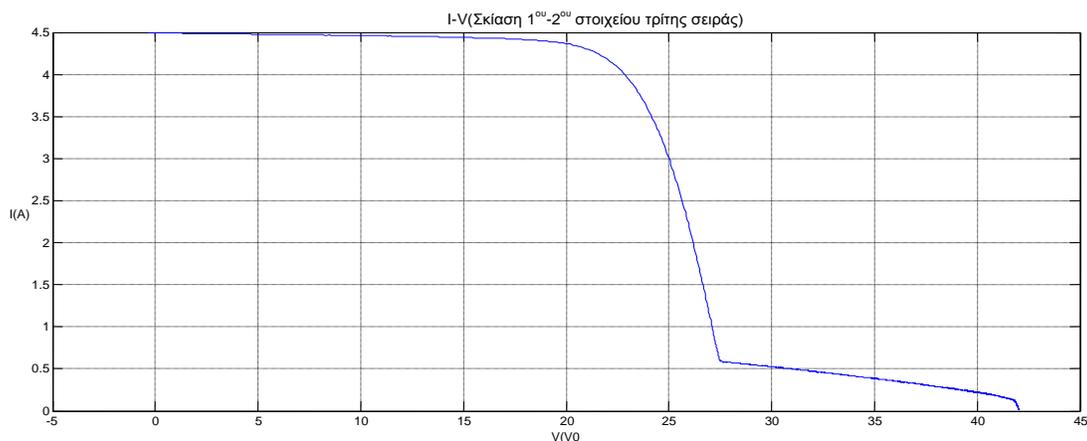
Διάγραμμα 4.28: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαίσιο με ένα στοιχείο σκιασμένο

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 757 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: $P_{mpp}: 89.03 \text{ W}$, $V_{mpp}: 22.46 \text{ V}$, $I_{mpp}: 3.964 \text{ A}$, $V_{oc}: 42.48 \text{ V}$, $I_{sc}: 4.279 \text{ A}$, $FF: 49.0 \%$, $T: 35.5 \text{ }^\circ\text{C}$



Εικόνα 4.21: Φ/B πλαίσιο με δύο στοιχεία σκιασμένα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.21 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά δύο στοιχεία τα οποία βρίσκονται στην τρίτη σειρά, στην πρώτη και στην δεύτερη θέση από κάτω και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποίησαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



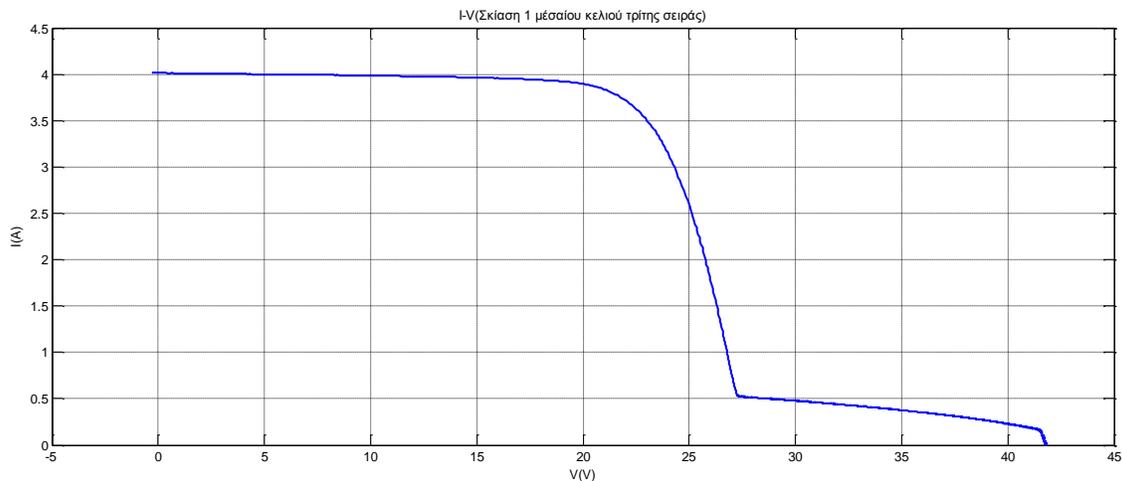
Διάγραμμα 4.29: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με δύο στοιχεία σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 792 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: $P_{mpp}: 92.06 \text{ W}$, $V_{mpp}: 22.35 \text{ V}$, $I_{mpp}: 4.119 \text{ A}$, $V_{oc}: 42.03 \text{ V}$, $I_{sc}: 4.496 \text{ A}$, $FF: 48.7 \%$, $T: 38.7 \text{ }^\circ\text{C}$



Εικόνα 4.22: Φ/B πλαίσιο με ένα σκιασμένο στοιχείο

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.22 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά ένα στοιχείο το οποίο βρίσκεται στην τρίτη σειρά, στην πρώτη και στην έκτη θέση από κάτω και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



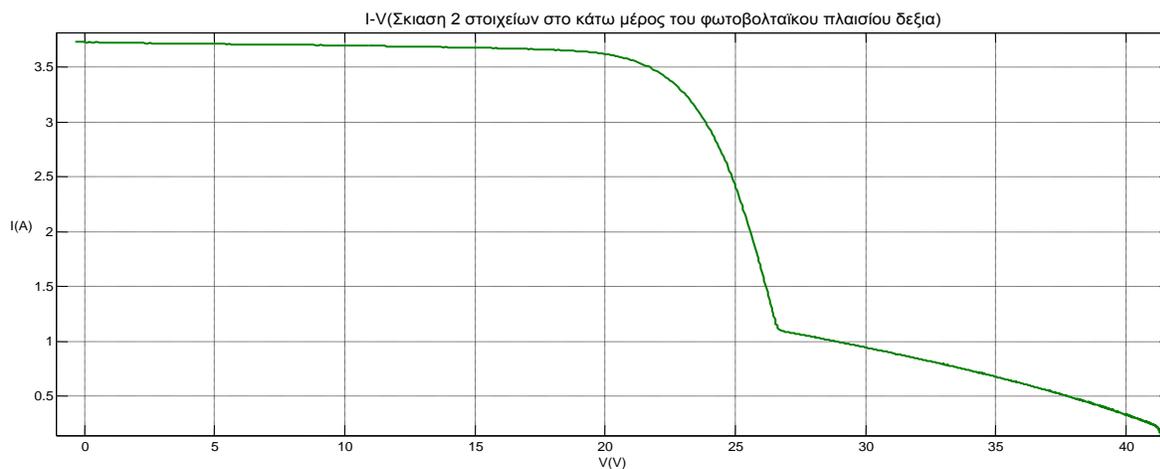
Διάγραμμα 4.30: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαίσιο με ένα στοιχείο σκιασμένο

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 712 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 81.84 W, V_{mpp} : 22.05 V, I_{mpp} : 3.712 A, V_{oc} : 41.77 V, I_{sc} : 4.014 A, FF: 48.8 %, T: 38.7 °C



Εικόνα 4.23: Φ/B πλαίσιο με δύο στοιχεία σκιασμένα

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.23 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ κατά δύο στοιχεία τα οποία βρίσκονται στην πέμπτη και έκτη σειρά, στην πρώτη θέση από κάτω και σαν υλικό σκίασης χρησιμοποιήσαμε το μαύρο χαρτόνι. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



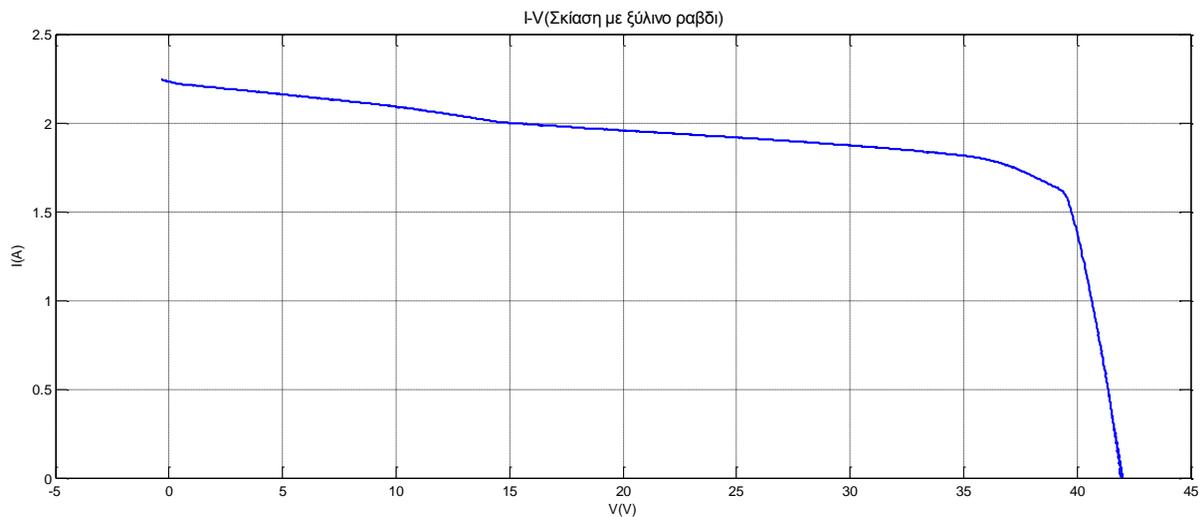
Διάγραμμα 4.31: Χαρακτηριστική I-V Φ/Β πλαισίου με δύο στοιχεία σκιασμένα

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 646 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: $P_{mpp}: 75.68 \text{ W}$, $V_{mpp}: 22.11 \text{ V}$, $I_{mpp}: 3.423 \text{ A}$, $V_{oc}: 41.52 \text{ V}$, $I_{sc}: 3.697 \text{ A}$, $FF: 49.3 \%$, $T: 41.2 \text{ }^\circ\text{C}$



Εικόνα 4.24: Φ/Β πλαίσιο σκιασμένο με ξύλινο ράβδο

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.24 κατά την πειραματική διαδικασία σκιάσαμε το πάνελ με την βοήθεια ενός ξύλινου ράβδου έτσι ώστε να προκαλέσουμε μια διαγώνια σκίαση πάνω σε αυτό. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.32: Χαρακτηριστική I-V Φ/B πλαισίου με μια διαγώνια σειρά σκιασμένη

Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 623 W/m^2 , στο κεκλιμένο επίπεδο του πάνελ. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν είναι: P_{mpp} : 65.11 W, V_{mpp} : 36.92 V, I_{mpp} : 1.764 A, V_{oc} : 41.96 V, I_{sc} : 2.232 A, FF: 69.5 %, T: 35.6 °C

PVK 5.07

15/12/2014

1:01:52 ì

Name bio

PV-KLA SN 09-0031

[Settings]

V range	I range	Scan Rate	No. Points	Serial no.	Comment
1	3	10000	5000	bio2	bio2

Measurement Mode Reference Module Pmpp,ref in W, Impp,ref in A, Isc,ref in A,
TC Uoc in 1/KTC Isc in 1/K TC Pmpp in 1/K Pmpp correction Isc correction Isc
correction

General	---	0.00	0.000	0.000	-0.00340000	0.00035000	-0.00510000
	1.00000000	1.00000000	1.00000000				

[Parameter]

Pmpp: 134.75 W, Vmpp: 33.97 V, Impp: 3.967 A, Voc: 42.13 V, Isc: 4.292 A, FF: 74.5 %,
G: 623.0 W/m², T: 37.0 °C

[Parameter STC]

Pmpp,stc in W	Vmpp,stc in V	Impp,stc in A	Voc,stc in V	Isc,stc in A	FF,stc in %	G in W/m ²	T in °C
230.40	---	---	43.93	6.860	76.5	1000.0	25.0

[Curve Data]

V in V	I in A	G in W/m ²
-0.3998	4.2953	623.0351
-0.2958	4.2939	623.0649
-0.1684	4.2917	623.0649
-0.0659	4.2912	623.0947
0.0425	4.2915	623.1543

PVK 5.07

15/12/2014

1:38:23 ì

Name bio

PV-KLA SN 09-0031

[Settings]

V range	I range	Scan Rate	No. Points	Serial no.	Comment
1	3	10000	5000	bio11-shaded5rows	bio11-shaded5rows

Measurement Mode	Reference Module	Pmpp,ref in W	Impp,ref in A	Isc,ref in A	TC Uoc in 1/K	TC Isc in 1/K	TC Pmpp in 1/K	Pmpp correction	Isc correction	TC Isc correction
------------------	------------------	---------------	---------------	--------------	---------------	---------------	----------------	-----------------	----------------	-------------------

General	---	0.00	0.000	0.000	-0.00340000	0.00035000	-0.00510000			
	1.00000000	1.00000000	1.00000000							

[Parameter]

Pmpp: 0.50 W, Vmpp: 7.69 V, Impp: 0.065 A, Voc: 7.78 V, Isc: 0.107 A, FF: 60.0 %, G: 532.7 W/m², T: 33.1 °C

[Parameter STC]

Pmpp,stc in W	Vmpp,stc in V	Impp,stc in A	Voc,stc in V	Isc,stc in A	FF,stc in %	G in W/m ²	T in °C
0.97	---	---	8.00	0.199	61.0	1000.0	25.0

[Curve Data]

V in V	I in A	G in W/m ²
-0.3017	0.1056	532.5451
-0.2768	0.1072	532.5451
-0.2958	0.1064	532.5153
-0.2870	0.1056	532.4557
-0.2636	0.1067	532.5153

PVK 5.07

15/12/2014

2:25:50 ì

Name bio

PV-KLA SN 09-0031

[Settings]

V range	I range	Scan Rate	No. Points	Serial no.	Comment
1	3	10000	5000	bio28	bio28

Measurement Mode	Reference Module	Pmpp,ref in W	Impp,ref in A	Isc,ref in A	TC Uoc in 1/K	Isc in 1/K	TC Pmpp in 1/K	Pmpp correction	Isc correction
------------------	------------------	---------------	---------------	--------------	---------------	------------	----------------	-----------------	----------------

General	---	0.00	0.000	0.000	-0.00340000	0.00035000	-0.00510000		
	1.00000000	1.00000000	1.00000000						

[Parameter]

Pmpp: 121.28 W, Vmpp: 33.90 V, Impp: 3.578 A, Voc: 41.94 V, Isc: 3.866 A, FF: 74.8 %, G: 620.7 W/m², T: 38.5 °C

[Parameter STC]

Pmpp,STC in W	Vmpp,STC in V	Impp,STC in A	Voc,STC in V	Isc,STC in A	FF,STC in %	G in W/m ²
209.84	---	---	43.96	6.198	77.0	1000.0 25.0

[Curve Data]

V in V	I in A	G in W/m ²
-0.3734	3.8673	621.7543
-0.2709	3.8682	621.7245
-0.1772	3.8665	621.7245
-0.0615	3.8652	621.7245
0.0425	3.8668	621.7245

4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (P-V CELLS)

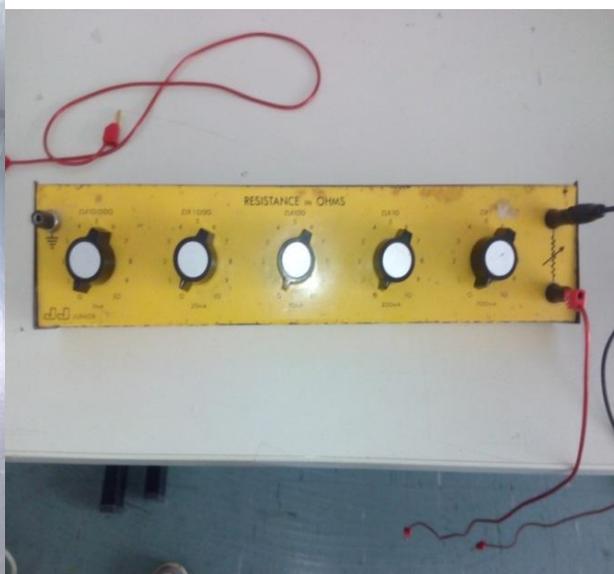
Χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός

Για την εκπόνηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω:

- Πλαίσο τέσσερα (4) μονοκρυσταλλικών Φ/Β στοιχείων $U : 2 \times 1V$, $I_{MAX} : 25A$
- Καλώδια συνδέσεως
- Ποτενσιόμετρο
- Προβολέας αλλογόνου
- Ανεμιστηράκι
- Ψηφιακό θερμόμετρο με laser TROTEC
- Ψηφιακό πολύμετρο



Εικόνα 4.25: Συστοιχία στοιχείων



Εικόνα 4.26: Ποτενσιόμετρο



Εικόνα 4.27: Προβολέας αλλογόνου



Εικόνα 4.28: Ανεμιστηράκι



Εικόνα 4.29: Ψηφιακό θερμόμετρο με laser TROTEC



Εικόνα 4.30: Ψηφιακό πολύμετρο EXTECH

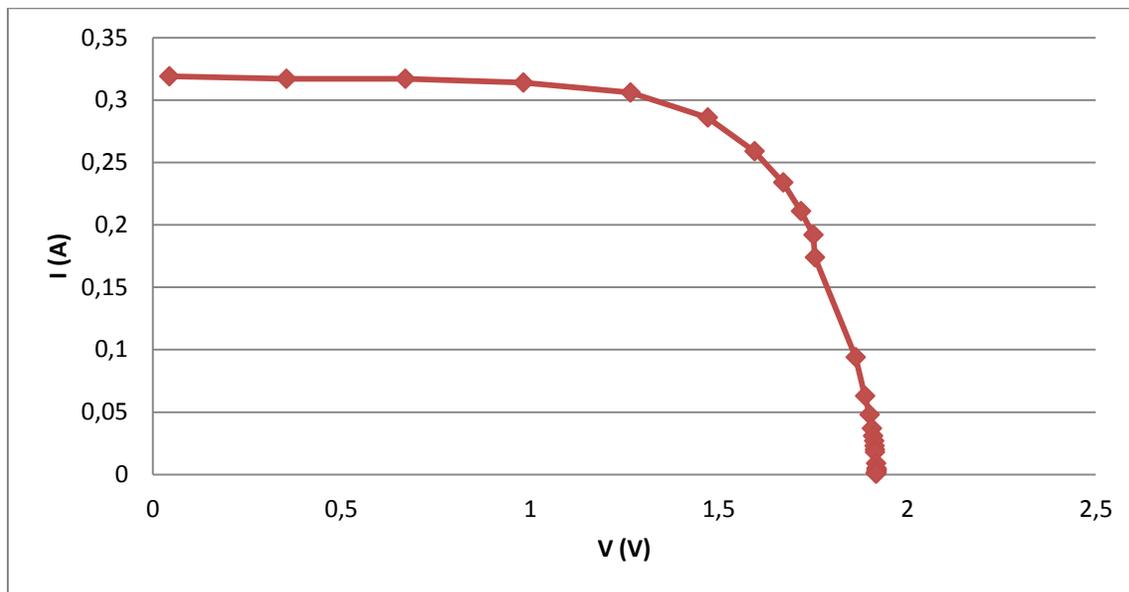
Οι μετρήσεις έγιναν σε κλειστό χώρο, στο εργαστήριο των Α.Π.Ε μέσα σε αίθουσα όπου βρισκόταν ο εξοπλισμός μετρήσεων. Στην αίθουσα βρίσκεται ο προβολέας εξομοίωσης ηλιακού φωτός, όπου με την βοήθειά του θα γίνει η πειραματική διαδικασία. Ο προβολέας αυτός έχει την δυνατότητα να προσομοιώνει σε μεγάλο βαθμό το φως του ήλιου και είναι ιδανικός για πειράματα που χρίζουν διεξαγωγή σε κλειστό χώρο. Τοποθετήσαμε τον προβολέα πάνω σε ξύλινο πλαίσιο σε σταθερή απόσταση από τα cells ίση με 113.5 cm, ώστε η ακτινοβολία που θα πέφτει πάνω τους να είναι ίση με 460 W/M^2 . Ταυτόχρονα, συνδέσαμε τα cell με καλώδια στον ροοστάτη ή αλλιώς μεταβλητή αντίσταση. Αφού έγινε σωστή τοποθέτηση και με προσοχή ώστε να μην αλλάξει ούτε κατά χιλιοστό η απόσταση μεταξύ προβολέα και cell. Το πρώτο πράγμα που κάναμε ήταν να ανάψουμε τον προβολέα και αφού πέρασαν πέντε λεπτά, για να μπορέσει ο προβολέας να λειτουργεί κανονικά. Αφού πέρασαν τα πρώτα πέντε λεπτά από την αρχική ενεργοποίηση του προβολέα, συνεχίσαμε στο κυρίως μέρος του πειράματος.

Αφού βεβαιωθήκαμε ότι ο προβολέας είναι έτοιμος, μετρήσαμε την θερμοκρασία του cell με θερμόμετρο laser. Μόλις πήραμε την θερμοκρασία, τότε μετρήσαμε αρχικά την τάση ανοιχτού κυκλώματος και το ρεύμα βραχυκυκλώματος. Έπειτα συνεχίσαμε με διάφορες μετρήσεις τάσης και ρεύματος βάση διαφορετικής αντίστασης ώστε να μπορέσουμε να εξάγουμε αποτελέσματα σε χαρακτηριστική καμπύλη. Επαναλάβουμε ακριβώς την ίδια διαδικασία για διάφορους τρόπους σκίασης του συγκεκριμένου φ/β στοιχείου. Στην αρχή, τοποθετήσαμε μαύρο αδιάφανο χαρτόνι, στην μισή επιφάνεια του cell, έπειτα σε ολόκληρη την επιφάνεια του ενός cell. Μετά πήραμε μετρήσεις με τον εξής τρόπο. Σκιάσαμε δύο, τρία μαζί φ/β στοιχεία και επίσης σκιάσαμε και δύο cell μαζί αλλά τις μισές τους επιφάνειες. Κάθε φορά παίρναμε τις μετρήσεις που πήραμε και χωρίς τρόπο σκίασης και κάθε φορά μετρούσαμε την θερμοκρασία του φ/β στοιχείου με το ειδικό θερμόμετρο, αρχική και τελική θερμοκρασία. Σε κάθε είδος σκίασης, μετράγαμε ρεύμα και τάση και μάλιστα, αλλάζαμε την αντίσταση για να λάβουμε διάφορες τιμές.



Εικόνα 4.31: Πλαίσιο τεσσάρων στοιχείων χωρίς σκίαση

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.31 η συστοιχία των στοιχείων δεν σκιάζεται. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα τα οποία τα εισάγαμε στο πρόγραμμα excel, προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.



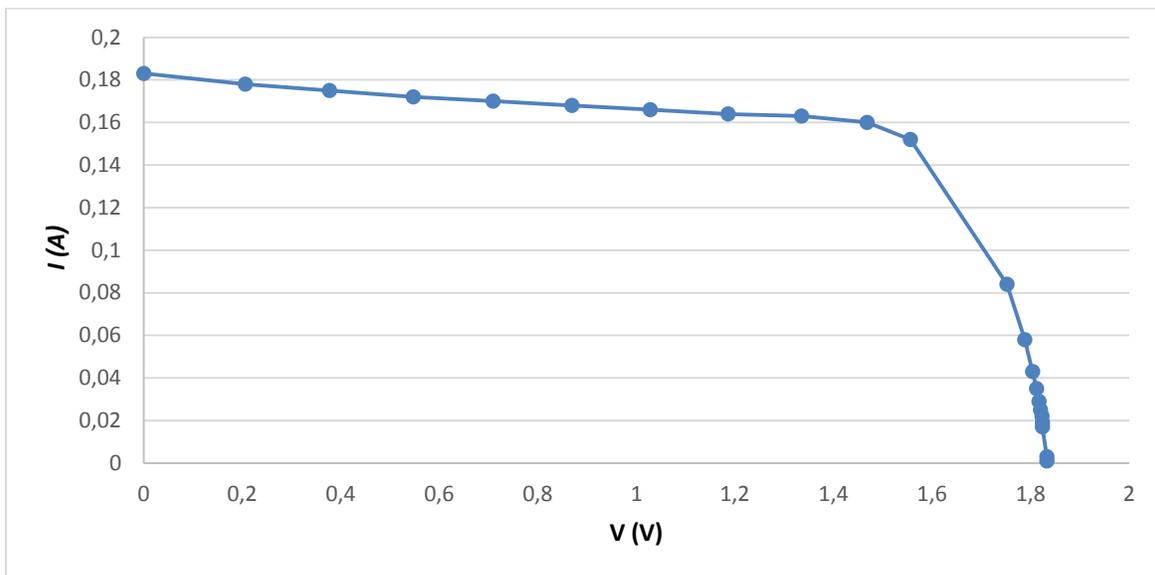
Διάγραμμα 4.33: Χαρακτηριστική I-V χωρίς σκίαση

V_{oc} : 1,963 V, I_{sc} : 0,321A, T_c : 36 °C



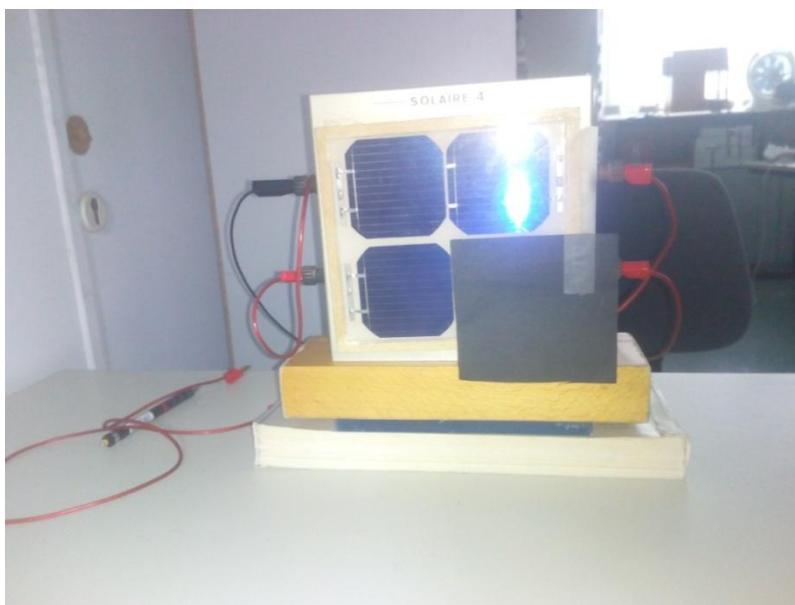
Εικόνα 4.32: Πλαίσιο τεσσάρων στοιχείων με σκίαση στην μισή επιφάνεια του ενός.

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.32 η συστοιχία των στοιχείων σκιάζεται στην μισή επιφάνεια του στοιχείου που βρίσκεται κάτω δεξιά. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.



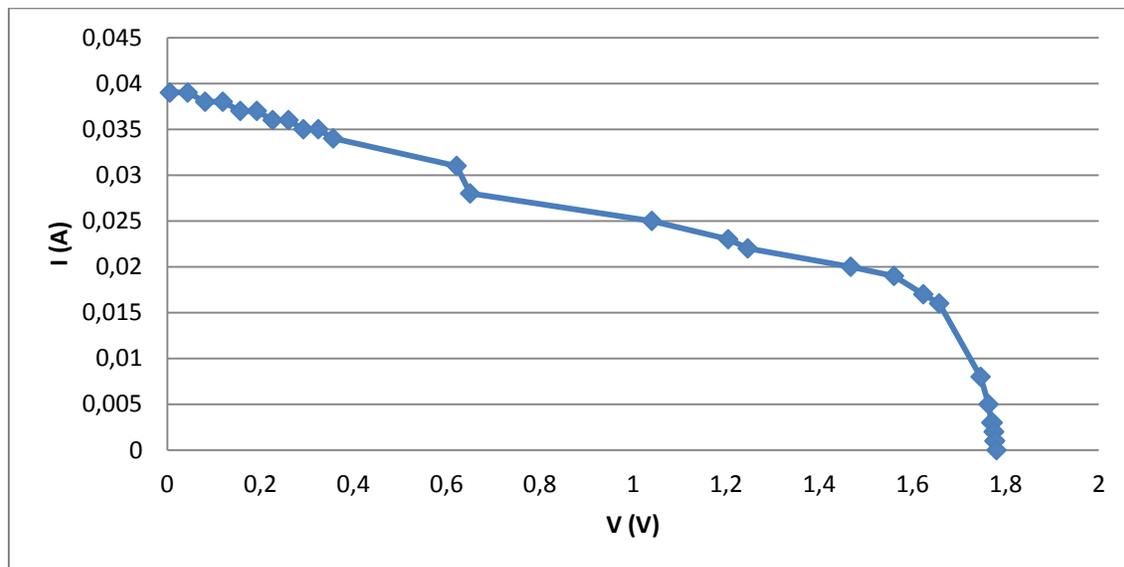
Διάγραμμα 4.34: Χαρακτηριστική I-V με μισό στοιχείο σκιασμένο

V_{oc} : 1,871 V, I_{sc} : 0,183A, T_c : 36.8 °C



Εικόνα 4.33: Πλαίσιο τεσσάρων στοιχείων με σκίαση στο ένα στοιχείο

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.33 η συστοιχία των στοιχείων σκιάζεται στο ένα στοιχείο που βρίσκεται κάτω δεξιά. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.



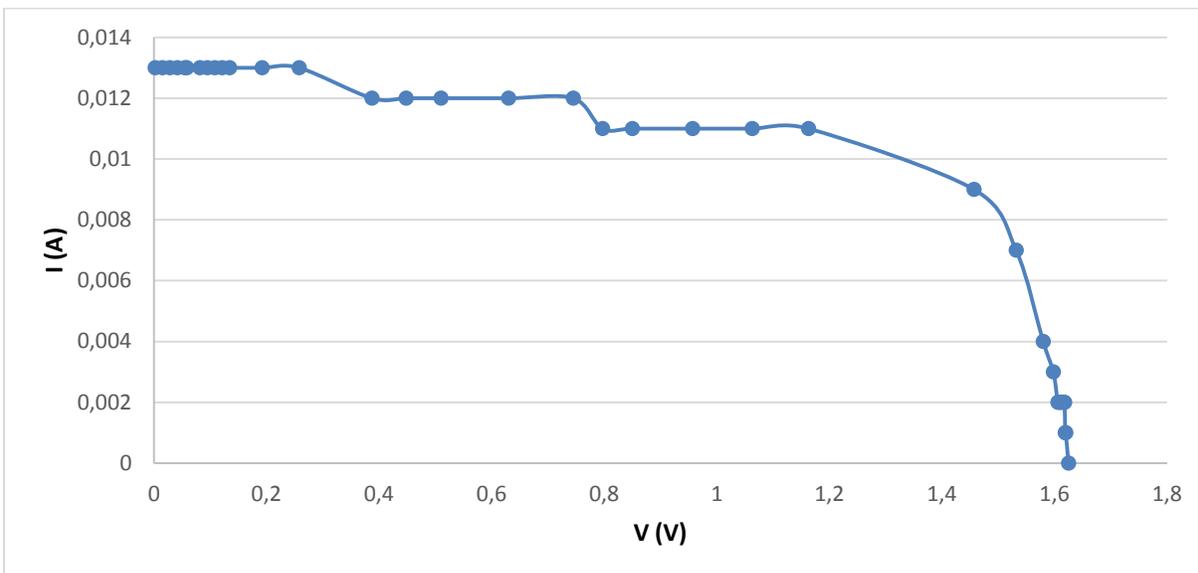
Διάγραμμα 4.35: Χαρακτηριστική I-V με ένα στοιχείο σκιασμένο

V_{oc} : 1,806 V, I_{sc} : 0,04A, T_c : 37.2 °C



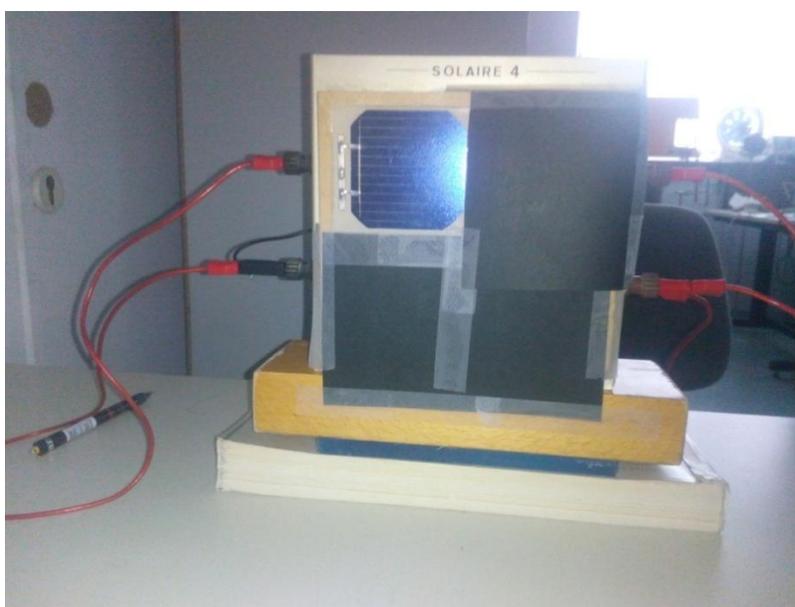
Εικόνα 4.34: Πλαίσιο τεσσάρων στοιχείων με σκίαση στα δύο στοιχεία

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.34 η συστοιχία των στοιχείων σκιάζεται στα δύο στοιχεία που βρίσκονται στο κάτω μέρος. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.



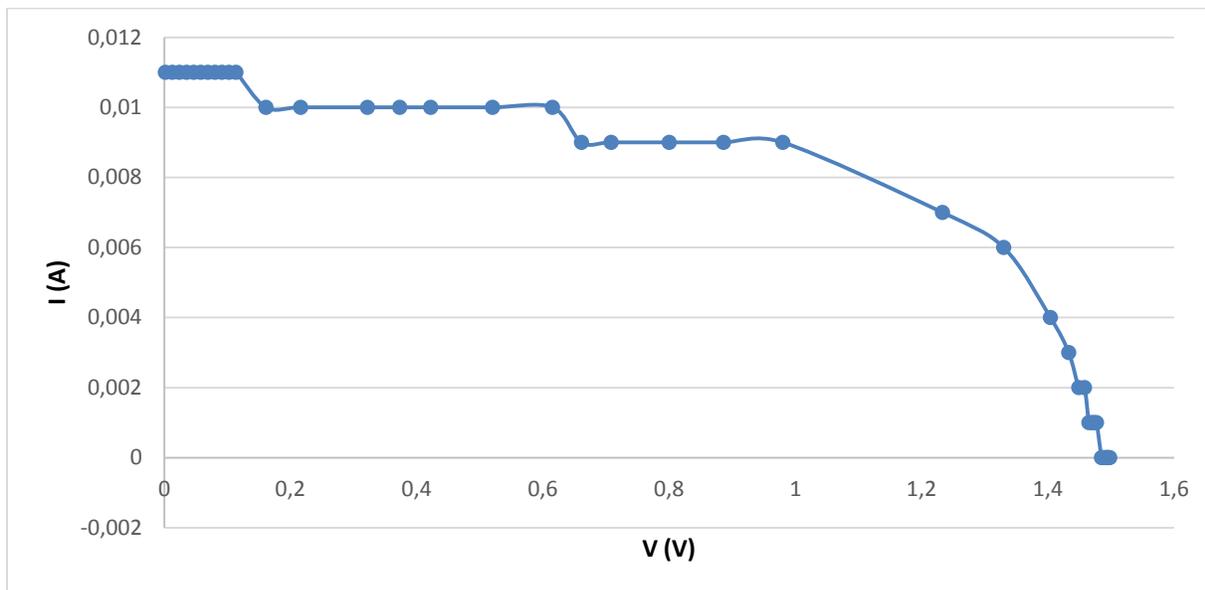
Διάγραμμα 4.36: Χαρακτηριστική I-V με δύο στοιχεία σκιασμένα

V_{oc} : 1,700 V, I_{sc} : 0,012A, T_c : 38.3 °C



Εικόνα 4.35: Πλαίσιο τεσσάρων στοιχείων με σκίαση στα τρία στοιχεία

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.35 η συστοιχία των στοιχείων σκιάζεται στα δύο στοιχεία που βρίσκονται στο κάτω μέρος και στο πάνω δεξιά στοιχείο. Μετρήσαμε με κατάλληλα όργανα και από τα δεδομένα, προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.



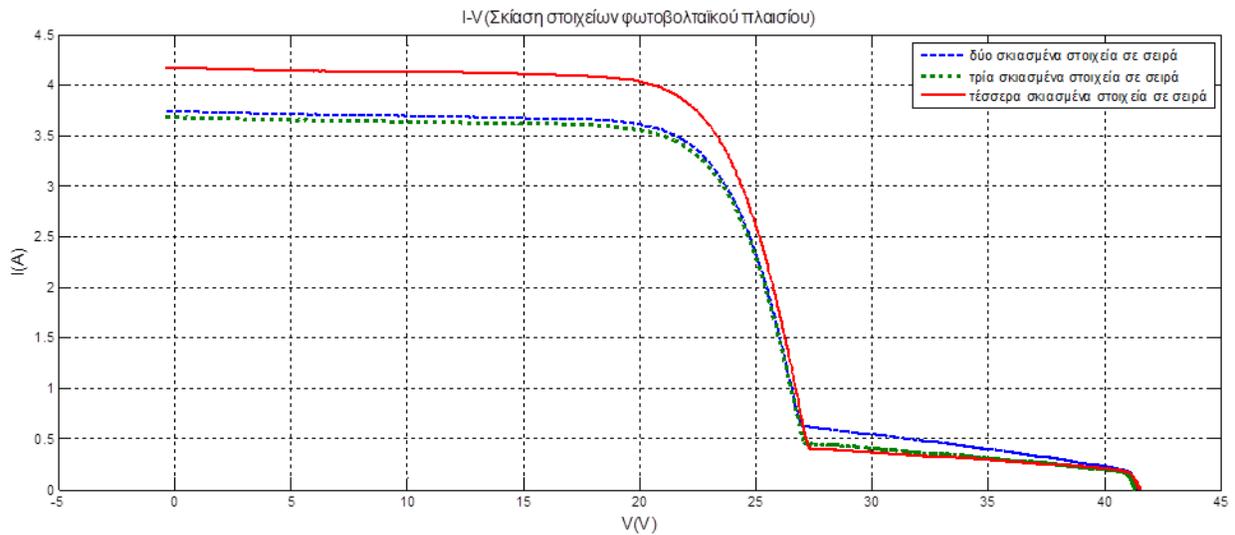
Διάγραμμα 4.37

V_{oc} : 1,543 V, I_{sc} : 0,011A, T_c : 38.5 °C

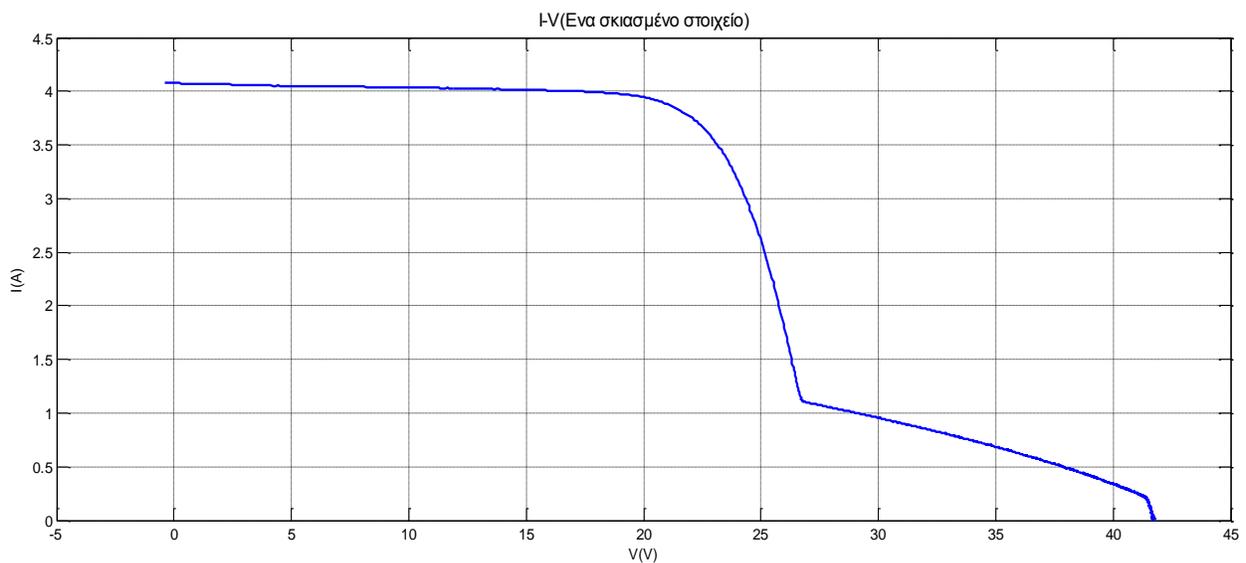
5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το στάδιο της εργασίας μας θα γίνει η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τρόπων σκίασης για το πλαίσιο και για τα στοιχεία με κριτήριο το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} .

Σαν πρώτη ενότητα συγκρίσεων και αποτελεσμάτων θα παραθέσουμε τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας με το πάνελ:

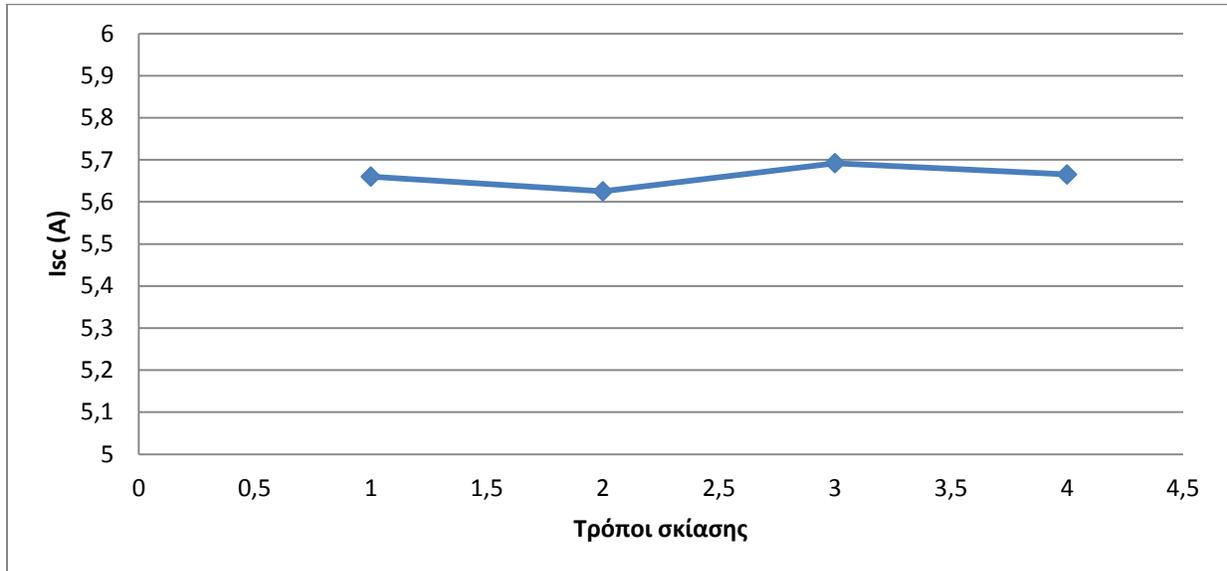


Διάγραμμα 5.1



Διάγραμμα 5.2

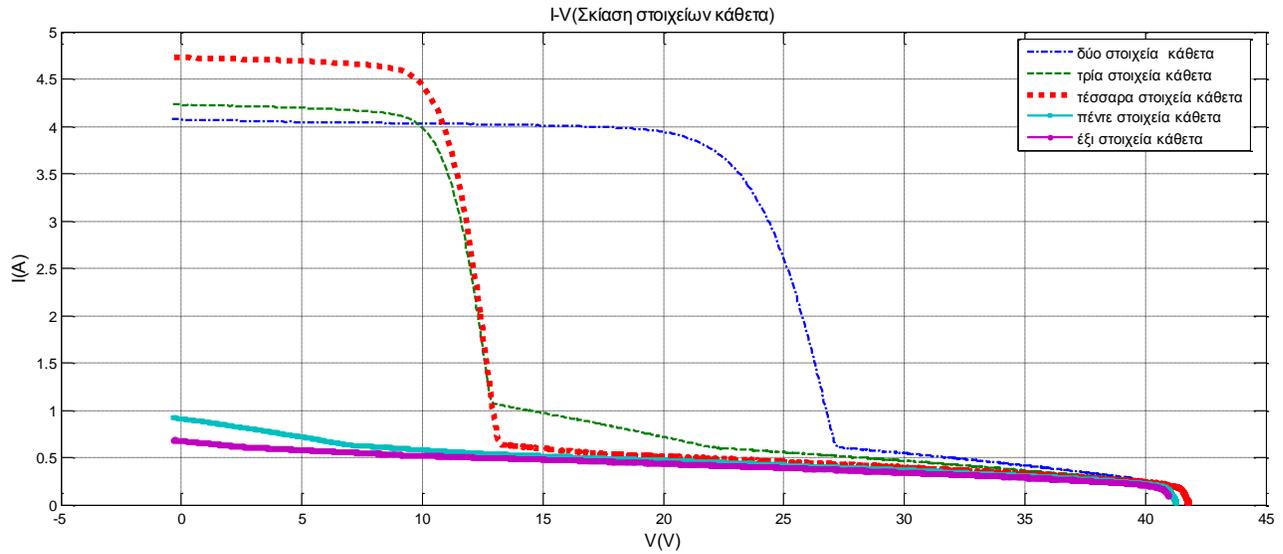
Στα δύο παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε πως κυμαίνονται οι καμπύλες I-V για διαφορετικούς τρόπους σκίασης τους οποίους θα τους δούμε στο διάγραμμα που ακολουθεί καθώς και πως αλλάζει η τιμή του I_{sc} .



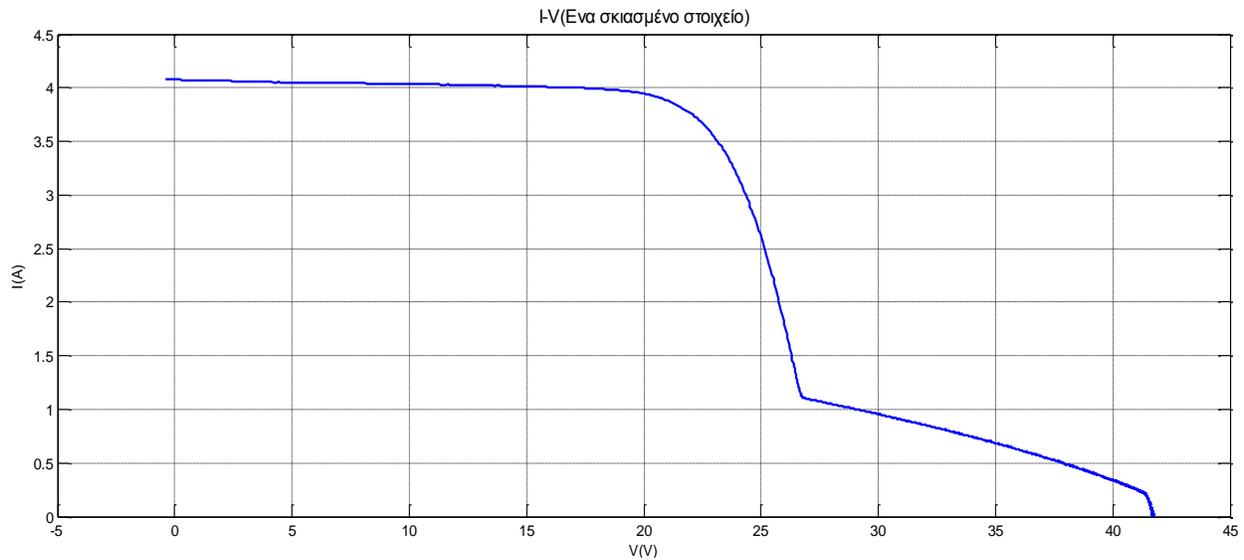
Διάγραμμα 5.3

- 1→ Σκιασμένο ένα στοιχείο στο κάτω μέρος της πρώτης σειράς
- 2→ Σκιασμένα δύο στοιχεία στο κάτω μέρος της πρώτης σειράς
- 3→ Σκιασμένα τρία στοιχεία στο κάτω μέρος της πρώτης σειράς
- 4→ Σκιασμένα τέσσερα στοιχεία στο κάτω μέρος της πρώτης σειράς

Στο διάγραμμα 5.3 παρατηρούμε την πολύ μικρή αυξομείωση του ρεύματος I_{sc} καθώς αλλάζουμε την θέση του μαύρου χαρτονιού και σταδιακά αυξάνουμε την σκίαση του πάνελ. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι η σκίαση λαμβάνει μέρος σε στοιχεία του πάνελ τα οποία είναι σε σειρά συνδεδεμένα μεταξύ τους οπότε δεν έχουμε μεγάλη απώλεια ισχύος. Για αυτό το λόγο στα διαγράμματα 5.1 και 5.2 η καμπύλη I-V δεν έχει σημαντικές διαφορές παρά μόνο μικρές αυξομειώσεις στο ρεύμα βραχυκυκλώσεως λόγω του ότι το πείραμα έγινε σε πραγματικές συνθήκες και έχουμε πολύ μικρή διαφορά στο ποσοστό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία έπεφτε στην επιφάνεια του φ/β πλαισίου.

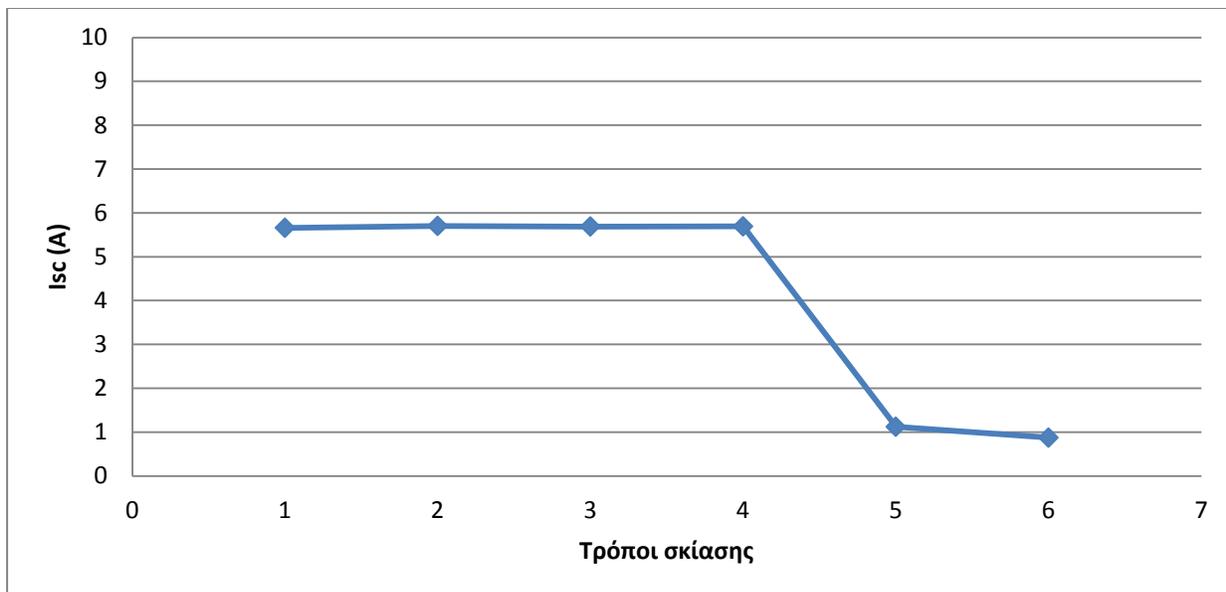


Διάγραμμα 5.4



Διάγραμμα 5.5

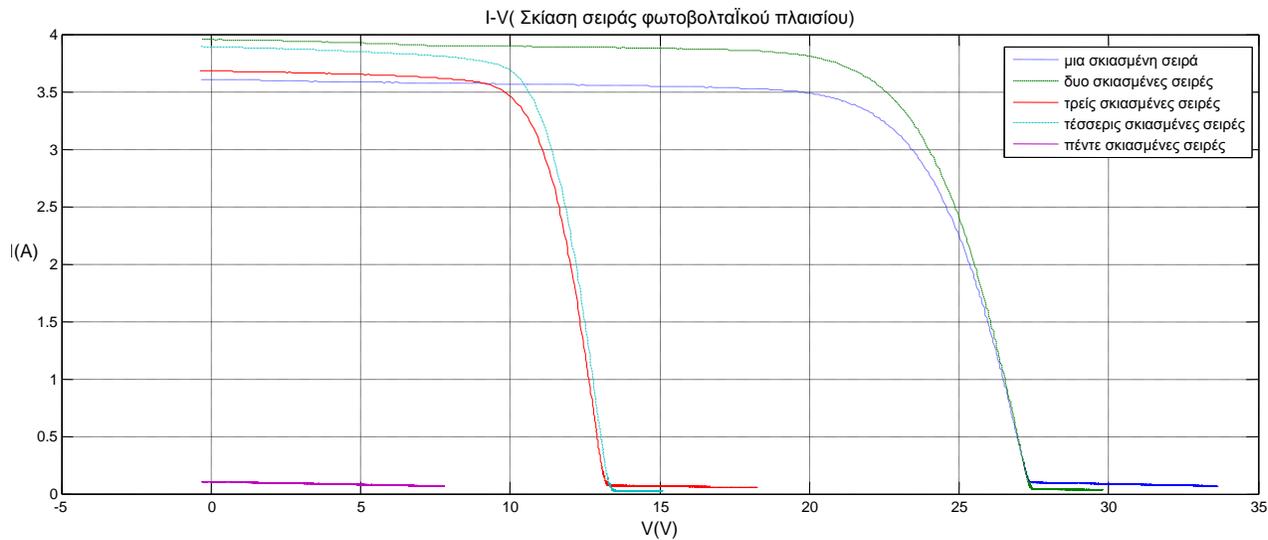
Στα δύο παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε πως κυμαίνονται οι καμπύλες I-V για διαφορετικούς τρόπους σκίασης τους οποίους θα τους δούμε στο διάγραμμα που ακολουθεί καθώς και πως αλλάζει η τιμή του I_{sc} .



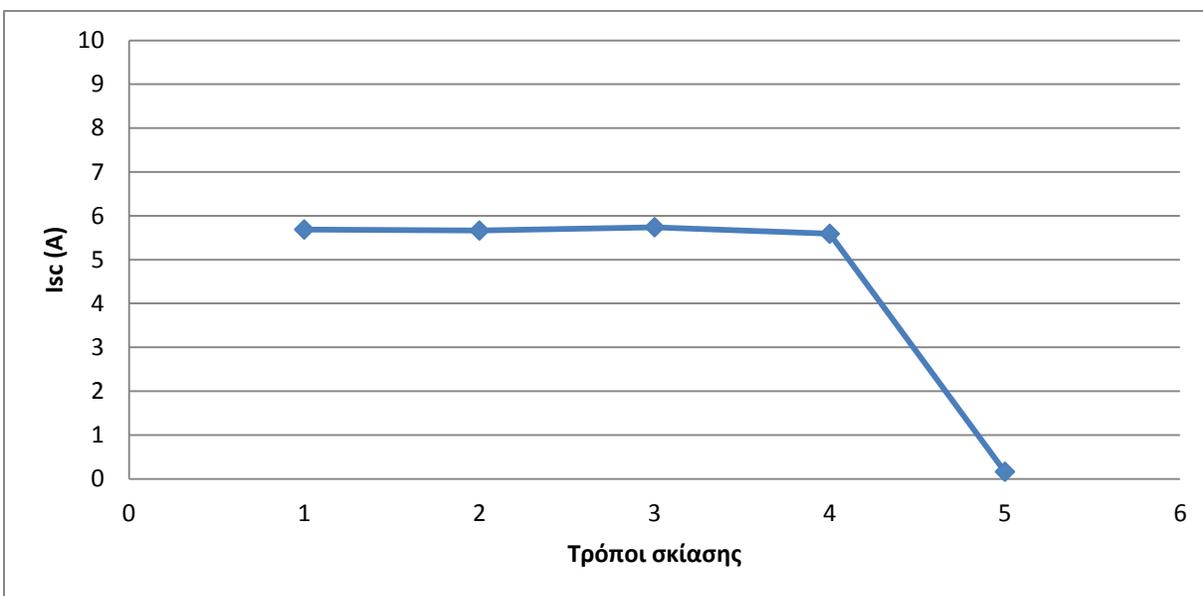
Διάγραμμα 5.6

- 1→ Σκιασμένο ένα στοιχείο στο κάτω μέρος της πρώτης σειράς
- 2→ Σκιασμένα δύο στοιχεία οριζόντια στο κάτω μέρος του πάνελ
- 3→ Σκιασμένα τρία στοιχεία οριζόντια στο κάτω μέρος του πάνελ
- 4→ Σκιασμένα τέσσερα στοιχεία οριζόντια στο κάτω μέρος του πάνελ
- 5→ Σκιασμένα πέντε στοιχεία οριζόντια στο κάτω μέρος του πάνελ
- 6→ Σκιασμένα έξι στοιχεία οριζόντια στο κάτω μέρος του πάνελ

Στο διάγραμμα 5.6 παρατηρούμε πως το ρεύμα I_{sc} έχει διακυμάνσεις αλλά όχι μεγάλες (με μικρές αυξομειώσεις όπως και στην προηγούμενη σύγκριση ,για οποίο όπως αναφέραμε, το πείραμα έγινε σε πραγματικές συνθήκες και έχουμε πολύ μικρή διαφορά στο ποσοστό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία έπεφτε στην επιφάνεια του πάνελ.) μέχρι να σκιάσουμε και το πέμπτο στοιχείο όπου εκεί παρατηρούμε μια μεγάλη πτώση του. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν σκιάζονται στοιχεία του πάνελ τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους, έχουμε μεγάλη πτώση ισχύος και τάσεως. Εδώ όμως το ρεύμα βραχυκύκλωσης έχει μεγαλύτερη επίδραση από αυτό το είδος σκίασης καθώς τα στοιχεία που σκιάζονται δεν είναι σε τυχαία θέση αλλά στο κάτω μέρος του πάνελ. Αυτό παίζει μεγάλο ρόλο καθώς τα τελευταία από τις σειρές φ/β στοιχεία σε ένα φ/β πάνελ έχουν ρόλο «αντιπρόσωπου» θα λέγαμε στην κάθε σειρά. Τα φ/β στοιχεία που σκιάζονται πλέον έχουν ρόλο καταναλωτή και όχι παραγωγού ενέργειας με αποτέλεσμα να παρατηρούμε αυτή την αρκετά μεγάλη διαφορά στα διαγράμματα.



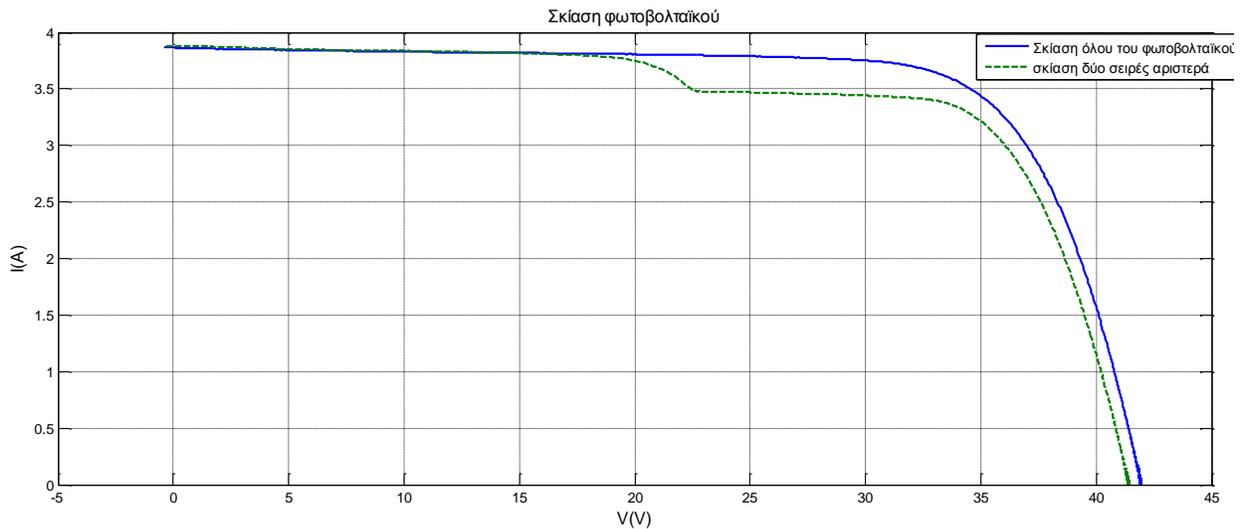
Διάγραμμα 5.7



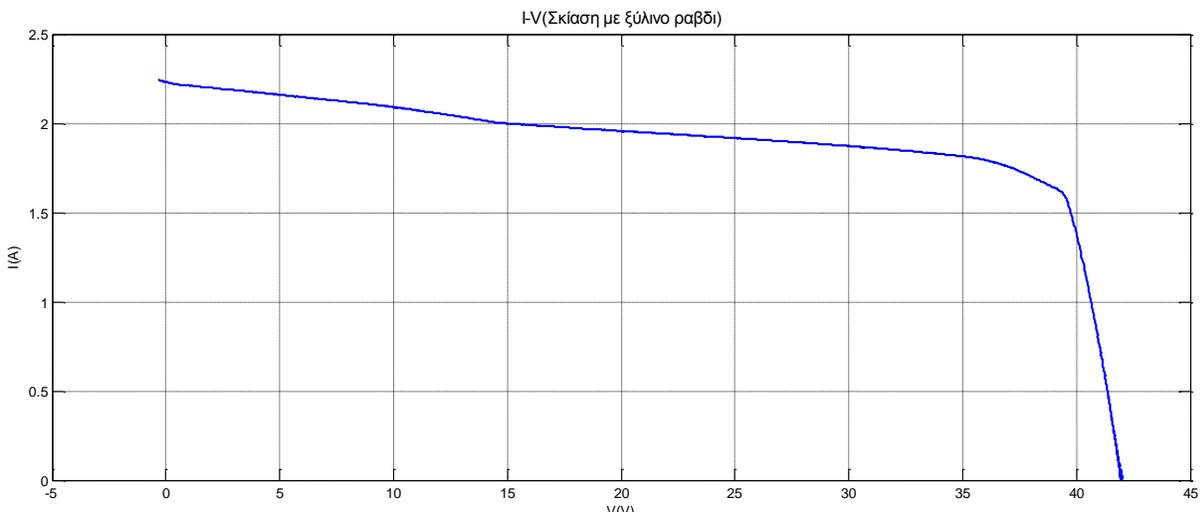
Διάγραμμα 5.8

- 1 → Σκιασμένη ολόκληρη η πρώτη σειρά
- 2 → Σκιασμένες οι δύο πρώτες σειρές
- 3 → Σκιασμένες οι τρεις πρώτες σειρές
- 4 → Σκιασμένες οι τέσσερις πρώτες σειρές
- 5 → Σκιασμένες οι πέντε πρώτες σειρές

Στο διάγραμμα 5.8 παρατηρούμε πως το ρεύμα I_{sc} έχει διακυμάνσεις αλλά όχι μεγάλες (σχεδόν τις ίδιες με την προηγούμενη σύγκριση) μέχρι να σκιάσουμε και το πέμπτο στοιχείο όπου εκεί παρατηρούμε μια μεγάλη πτώση του. Αυτό συμβαίνει για τον ίδιο λόγο που προαναφέραμε. Εκτός ότι και εδώ ισχύει πως όταν σκιάζονται στοιχεία του πάνελ τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους, έχουμε μεγάλη πτώση ισχύος και τάσεως, συμβαίνει και κάτι ακόμα. Τα φ/β στοιχεία που σκιάζονται είπαμε πως δεν είναι σε τυχαία θέση αλλά στο κάτω μέρος του πάνελ. Κάθε φ/β στοιχείο στο άκρο μιας σειράς, εκφράζει ενεργειακά και ηλεκτρικά, όλη την σειρά. Για αυτό το λόγο ενώ έχουμε σκιάσει πολλά περισσότερα στοιχεία, συμβαίνει στο διάγραμμα να μην έχουμε σημαντικές αλλαγές, παρά μόνο τις κοινές διακυμάνσεις του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

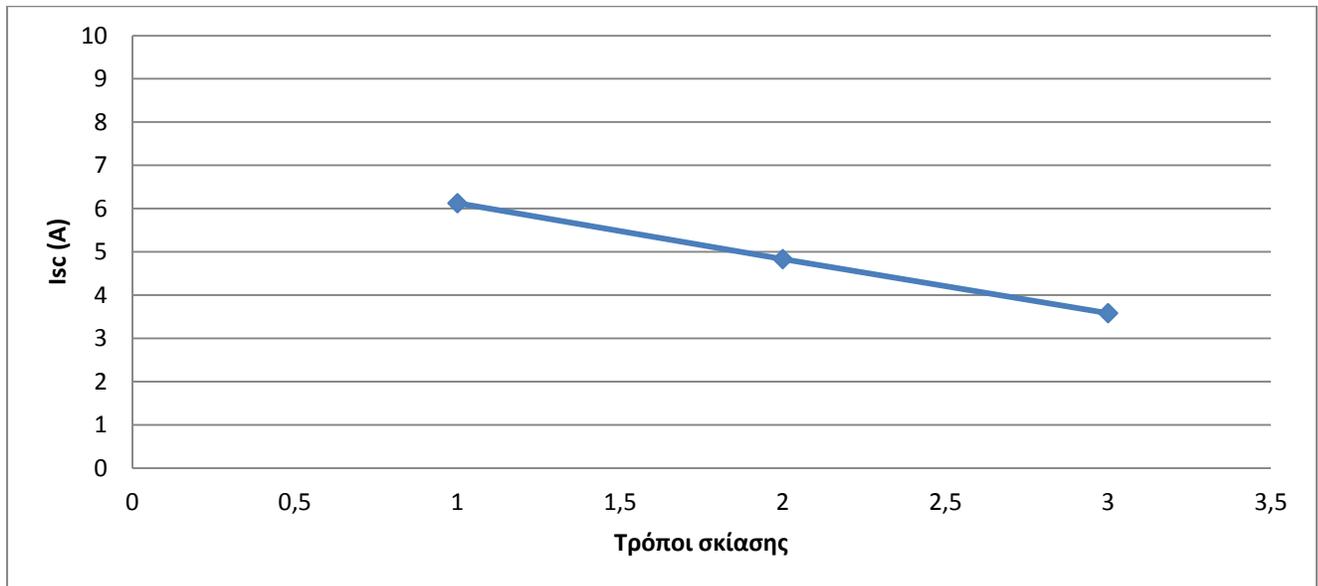


Διάγραμμα 5.11



Διάγραμμα 5.12

Στα δύο παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε πως κυμαίνονται οι καμπύλες I-V με την χρήση ενός ημιδιάφανου νάιλον και με την χρήση ενός ξύλινου ραβδιού (σανίδας) και στο διάγραμμα που ακολουθεί θα δούμε πως αλλάζει η τιμή του I_{sc} για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις.

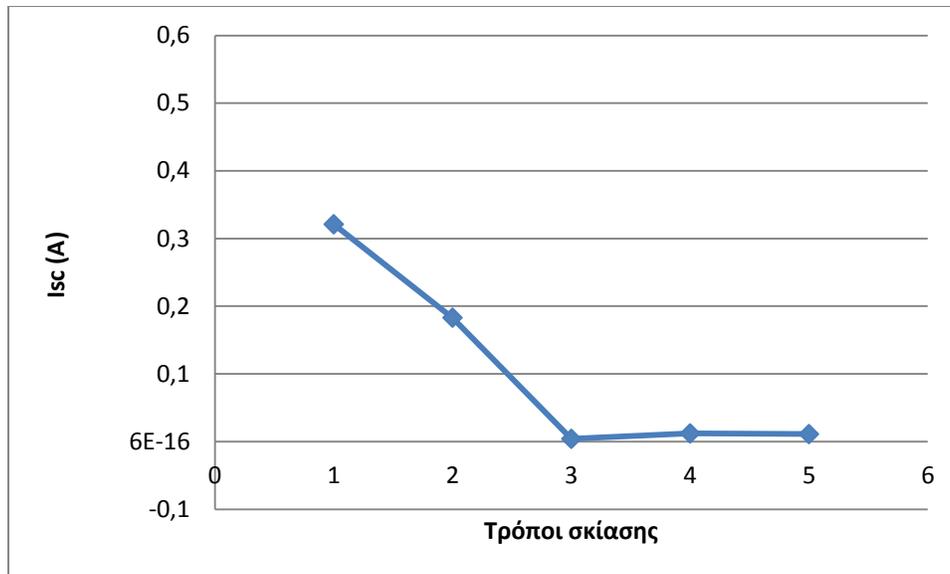


Διάγραμμα 5.13

- 1 → Σκιασμένες οι δύο πρώτες σειρές με την χρήση του ημιδιάφανου νάιλον
- 2 → Σκιασμένο ολόκληρο το πλαίσιο με την χρήση του ημιδιάφανου νάιλον
- 3 → Σκιασμένο οριζόντια με την χρήση μιας ξύλινης ράβδου

Στο διάγραμμα 5.13 παρατηρούμε πως το ρεύμα I_{sc} έχει μεγαλύτερη τιμή όταν σκιάσαμε το πλαίσιο κατά δύο σειρές με το νάιλον, έπειτα όταν το σκιάσαμε ολόκληρο υπήρξε μια μικρή πτώση του και τέλος όταν το σκιάσαμε κατά μήκος με την ξύλινη ράβδο παρατηρήσαμε μια ακόμα μεγαλύτερη πτώση του ρεύματος I_{sc} . Γιατί όμως συμβαίνει αυτό με το νάιλον; Όπως αναφέραμε και στο θεωρητικό σκέλος της εργασίας μας, η απαλή σκίαση, ή η θόλωση, ή η σκόνη και οτιδήποτε προκαλεί μερική σκίαση σε ένα φ/β στοιχείο, ενεργειακά και αποδοτικά είναι πολύ χειρότερη από κανονική σκίαση. Σε ολόκληρη, θα λέγαμε, σκίαση, το φ/β στοιχείο πολώνεται και απλά λειτουργεί ως καταναλωτής αλλά με μακροχρόνιες επιπτώσεις. Στην μερική σκίαση έχουμε συμβολή και των δύο φαινομένων. Το φ/β στοιχείο, καταναλώνει και παράγει θα λέγαμε ρεύμα ταυτόχρονα με συνέπειες πολύ πιο βραχυχρόνιες από ότι στην εξ ολοκλήρου σκίαση.

Σε αυτό το σημείο έχουμε το διάγραμμα σύγκρισης της πειραματικής διαδικασίας στα στοιχεία (cell).



Διάγραμμα 5.14

- 1→ Στοιχείο χωρίς σκίαση
- 2→ Σκιασμένο το μισό κάτω δεξιά στοιχείο
- 3→ Σκιασμένο ολόκληρο το κάτω δεξιά στοιχείο
- 4→ Σκιασμένα τα δύο κάτω στοιχεία
- 5→ Σκιασμένα τα δύο κάτω και το πάνω δεξιά στοιχείο

Στο διάγραμμα 5.14 παρατηρούμε πως το ρεύμα I_{sc} υφίσταται μια μεγάλη πτώση από την στιγμή που σκιάσουμε το μισό κάτω δεξιά στοιχείο. Η πτώση του ρεύματος συνεχίζει να είναι μεγάλη και όταν σκιάσουμε ολόκληρο και το κάτω δεξιά στοιχείο. Η τιμή του ρεύματος I_{sc} για τις υπόλοιπες μορφές σκίασης δεν υφίσταται μεγάλες διακυμάνσεις. Και πάλι όμως παίζει σημαντικό ρόλο η σύνδεση των φ/β στοιχείων καθώς σκιάζονται. Άλλη συμπεριφορά έχει ένα φ/β στοιχείο που είναι σε σειρά και σκιάζεται, και άλλο ένα στοιχείο όπου είναι σκιασμένο ενώ είναι παράλληλα συνδεδεμένο.

Συγκεντρωτικά σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε τα εξής σημαντικά πράγματα που αποκομίσαμε από την παρούσα εργασία και να προτείνουμε τρόπους για περαιτέρω μελέτη. Καταρχάς πρέπει να αναφέρουμε ότι οι μικρές διακυμάνσεις στις καμπύλες ρεύματος-τάσης, είναι καθαρή απόρρα των πραγματικών συνθηκών του πειράματος. Η ακτινοβολία παίζει μέγιστο ρόλο σε αυτό. Έπειτα, κατανοήσαμε και ασχοληθήκαμε πολύ με την διαφορά στα διαγράμματα όπου έχουμε στοιχεία σκιασμένα ενώ είναι σε σειρά, και στοιχεία σκιασμένα που μεταξύ τους υπάρχει παράλληλη σύνδεση. Όντως ισχύει πως όσα περισσότερα στοιχεία σε σειρά σκιάζονται έχουμε μικρές διαφορές στο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Όσα περισσότερα στοιχεία παράλληλα

σκιάζονται, έχουμε θα λέγαμε γεωμετρική πτώση της ισχύος και το είδαμε από την αντίστοιχη καμπύλη. Παρατηρήσαμε πόσο σημαντικό ρόλο παίζει η θέση του φ/β στοιχείου καθώς όσα στοιχεία είναι στα άκρα, είναι στην ουσία τα στοιχεία όπου μια ολόκληρη σειρά, εξαρτάται από αυτά.

Σαν περαιτέρω έρευνα μπορούν να μελετηθούν διάφορα σενάρια σκίασης και – γιατί όχι – θόλωσης στον ουράνιο θόλο. Επίσης μπορεί να μελετηθεί η περίπτωση της μερικής σκίασεως των φ/β στοιχείων ενός πάνελ και να αναλυθούν τα δεδομένα γραφικά σε εξειδικευμένο προγραμματιστικό πακέτο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σ. Καπλάνης, Ηλιακή μηχανική, 2004

Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009

Μελέτη των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών και θερμικών ηλιακών συλλεκτών, Π. Γεωργοστάθης, 2010

Σ. Δ. Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007

Σύνθεση και μελέτη υβριδικών φωτοβολταϊκών κυττάρων: Νέα πρόκληση για το περιβάλλον και τα κτίρια», Τρυπαναγνωστοπούλου, 2010

Διείδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κατοικία διασυνδεδεμένη, Σ. Νομπιλάκης, 2011

Μελέτη Αυτόνομου Φ/Β Συστήματος υψηλής τεχνολογίας, Πιακαρέας, 2011

Θ. Μακρής, Συνδυασμένη χρήση ηλιακής και Αιολικής ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών των κτιρίων, 2009

ΤΟΤΕΕ 20701-5/2012

Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης

Λειτουργική και αισθητική εφαρμογή φωτοβολταϊκών, Συγκριδου Μ. Δημητρα, Πατρα 2013

Παραμετρική μελέτη μηδενισμού σκίασης ηλιακών Συλλεκτών – κωδικας – εφαρμογες, Σταμάτιος Κοιλιάκος, Αθήνα 2010

Μοντελοποίηση, προσομοίωση και μελέτη σκίασης φωτοβολταϊκής συστοιχίας στο λογισμικό, Matlab, Γαλανακης Γεώργιος, Βερσιος Παναγιώτης, Χανιά, 2009

- ¹ Συνθήκη του Κιότο 2005
- ² (<http://www.econews.gr/2010/07/22/news-ethniko-sxedio-drasis-ape/>)
- ³ (Ηλιακή Μηχανική, Σωκράτης Καπλάνης, τόμος Β)
- ⁴ (portal.tee.gr)*
- ⁵⁵ (pvgis)
- ⁶ . (Σ. Καπλάνης, Ηλιακή μηχανική, 2004, σελ. 42)
- ⁷ (Ηλιακή Μηχανική, Σωκράτης Καπλάνης, τόμος Β)
- ⁸ (Ηλιακή Μηχανική Τόμος Β Σωκράτης Καπλάνης)
- ⁹ (Σ. Δ. Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 184)
- ¹⁰ (Ηλιακή Μηχανική, Σωκράτης Καπλάνης, Τόμος Β)
- ¹¹ (Σ. Δ. Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 45-46)
- ¹² (Ηλιακή Μηχανική, Σωκράτης Καπλάνης, Τόμος Β)
- ¹³ (www.heliergia-photovoltaic.gr/)
- ¹⁴ (τμήμα των Α.Π.Ε. του Τ.Ε.Ι. δυτικής Ελλάδος).
- ¹⁵ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 173).
- ¹⁶ (από το τμήμα των Α.Π.Ε. του Τ.Ε.Ι. δυτικής Ελλάδος).
- ¹⁷ από το τμήμα των Α.Π.Ε. του Τ.Ε.Ι. δυτικής Ελλάδος
- ¹⁸ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 175)
- ¹⁹ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 175).
- ²⁰ (http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/88687.asp#photo8)
- ²¹ (βλ. www.elke.teicrete.gr/LinkClick.aspx?fileticket=M_PN6BSc9QY%3D&tabid=670)
- ²² (Μελέτη συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών / θερμικών ηλιακών συλλεκτών, Π. Γεωργοστάθης, 2010, σελ. 35)
- ²³ (βλ. www.heliergia-photovoltaic.gr/)²³
- ²⁴ (Μελέτη των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών και θερμικών ηλιακών συλλεκτών, Π. Γεωργοστάθης, 2010, σελ. 37)
- ²⁵ (Μελέτη συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών / θερμικών ηλιακών συλλεκτών, Π. Γεωργοστάθης, 2010, σελ. 37-38)
- ²⁶ (Σύνθεση και μελέτη υβριδικών φωτοβολταϊκών κυττάρων: Νέα πρόκληση για το περιβάλλον και τα κτίρια», Τρυπαναγνωστοπούλου, 2010, Σελ. 50) .
- ²⁷ (Μελέτη συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών / θερμικών ηλιακών συλλεκτών, Π. Γεωργοστάθης, 2010, σελ. 41)
- ²⁸ . (Διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κατοικία διασυνδεδεμένη, Σ. Νομπιλιάκης, 2011, σελ. 157) .
- ²⁹ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 169).
- ³⁰ (<http://polytechnika.gr/WP3/?p=20653>)
- ³¹ (Μελέτη Αυτόνομου Φ/Β Συστήματος υψηλής τεχνολογίας, Πιακαρέας, 2011, σελ 24)
- ³² (Θ. Μακρής, Συνδυασμένη χρήση ηλιακής και Αιολικής ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών των κτιρίων, 2009, σελ. 4)
- ³³ (Ηλιακή Μηχανική τόμος Β, Σωκράτης Καπλάνης)
- ³⁴ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ.95)
- ³⁵ «Ηλιακή Μηχανική» του Σ. Καπλάνη σελ 66-67.
- ³⁶ (Σ. Καπλάνης, Ηλιακή μηχανική, 2004, σελ. 66-67)
- ³⁷ (TOTEE 20701-5/2012, σελ 32-34)
- ³⁸ (Σ. Δ. Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 56-57)
- ³⁹ (Μηχανική των Φ/Β Συστημάτων, Σ. Καπλάνης, 2004, Σελ 116)
- ⁴⁰ (<http://sinovoltaics.com/solar-basics/comparing-major-solar-panel-testing-conditions/>)
- ⁴¹ (Ηλιακή Μηχανική τόμος Β, Σωκράτης Καπλάνης)
- ⁴² (Εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας)
- ⁴³ (Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Σωκράτης Καπλάνης, τόμος Γ)
- ⁴⁴ (Σ. Δ. Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 59-60)
- ⁴⁵ (Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης)
- ⁴⁶ (Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης)
- ⁴⁷ (Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης)
- ⁴⁸ (Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης)
- ⁴⁹ (Ηλιακή Μηχανική τόμος β, Σωκράτης Καπλάνης).

⁵⁰ (<http://www.ntua.gr/arch/geometry/postgrad/Geometry6GR.pdf>)

⁵¹ (Ηλιακή Μηχανική τόμος β, Σωκράτης Καπλάνης).

⁵² (Ηλιακή Μηχανική τόμος β, Σωκράτης Καπλάνης).

⁵³ (<http://www.ntua.gr/arch/geometry/postgrad/Geometry6GR.pdf>)

⁵⁴ (Εργαστήριο ΑΠΕ τει δυτικής Ελλάδας)

⁵⁵ Παραμετρική μελέτη μηδενισμού σκίασης ηλιακών Συλλεκτών – κωδικας – εφαρμογες, Σταμάτιος Κοιλάκος, Αθήνα 2010

⁵⁶ Παραμετρική μελέτη μηδενισμού σκίασης ηλιακών Συλλεκτών – κωδικας – εφαρμογες, Σταμάτιος Κοιλάκος, Αθήνα 2010

⁵⁷ (από φ/β πλαίσιο στο εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ δυτικής Ελλάδος)

⁵⁸ Παραμετρική μελέτη μηδενισμού σκίασης ηλιακών Συλλεκτών – κωδικας – εφαρμογες, Σταμάτιος Κοιλάκος, Αθήνα 2010

⁵⁹ (<http://www.oravia-energy.com/en/context.cfm>)
